



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA

**ENSILAJE DE PENCAS DE NOPAL TUNERO CON  
EXCRETAS PECUARIAS**

JOSE ISIDRO ALEJOS DE LA FUENTE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

2013

La presente tesis, titulada: **Ensilaje de pencas de nopal tunero con excretas pecuarias**, realizada por el alumno: **José Isidro Alejos de la Fuente**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

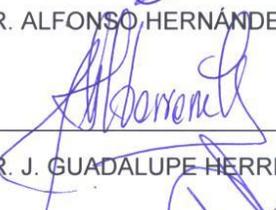
DOCTOR EN CIENCIAS

GANADERIA

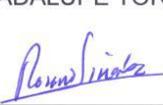
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DRA. MARÍA ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR:   
DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY

ASESOR:   
DR. J. GUADALUPE HERRERA HARO

ASESOR:   
DRA. MARÍA GUADALUPE TORRES CARDONA

ASESOR:   
DRA. MARÍA DEL ROSARIO JIMÉNEZ BADILLO

ASESOR:   
DR. JAVIER PILONI MARTINI

Montecillo, Texcoco, México, junio de 2013

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>2.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
	<i>2.1 Entorno alimenticio de la ganadería semi-especializada</i>	4
	<i>2.2 Residuos agropecuarios útiles en la alimentación del ganado</i>	5
	<i>2.3 El proceso de ensilaje</i>	9
	<i>2.3.1 Generalidades</i>	9
	<i>2.3.2 Procesos Bioquímicos del ensilaje</i>	11
	<i>2.3.3 Procesos microbiológicos del ensilaje</i>	13
	<i>2.4 Indicadores de la calidad del ensilaje</i>	16
	<i>2.5 Factores que afectan la calidad del ensilaje</i>	18
	<i>2.5.1 Contenido de materia seca</i>	18
	<i>2.5.2 Contenido de carbohidratos solubles</i>	19
	<i>2.5.3 Capacidad amortiguadora del material ensilado</i>	19
	<i>2.5.4 Estado de madurez del forraje</i>	20
	<i>2.5.5 Tamaño de las partículas del forraje</i>	21
	<i>2.6 Prácticas recomendadas para un buen ensilaje</i>	22
	<i>2.6.1 Llenado del silo</i>	22
	<i>2.6.2 Apisonado</i>	23
	<i>2.6.3 Cierre del silo</i>	23
	<i>2.6.4 Uso de aditivos</i>	24
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	27

<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	27
	4.1 <i>General</i>	27
	4.2 <i>Específicos</i>	27
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	28
	5.1 <i>Localización</i>	28
	5.2 <i>Materiales y Equipo</i>	29
	5.3 <i>Unidades experimentales</i>	30
	5.4 <i>Variables de respuesta</i>	30
	5.5 <i>Diseño experimental</i>	31
	5.6 <i>Elaboración de los microensilados</i>	31
	5.7 <i>Obtención de las muestras de los microensilados</i>	33
<b>6.</b>	<b><i>EXPERIMENTO 1. Ensilaje de pencas de nopal tunero con cuatro tiempos de fermentación y cuatro concentraciones de pollinaza</i></b>	34
<b>7.</b>	<b><i>EXPERIMENTO 2. Ensilaje de pencas de nopal tunero con cuatro tiempos de fermentación y cuatro concentraciones de estiércol bovino</i></b>	59
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	80
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b>	91

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	<i>Composición química y nutricional de las excretas de aves según nivel de cama utilizado.</i>	36
<b>Cuadro 2.</b>	<i>Ingredientes y tiempos de ensilaje de los tratamientos evaluados con pollinaza.</i>	37
<b>Cuadro 3.</b>	<i>Valores promedio de variables bromatológicas de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.</i>	43
<b>Cuadro 4.</b>	<i>Valores promedio de variables fermentativas medidas durante el proceso de ensilaje de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.</i>	44
<b>Cuadro 5.</b>	<i>Digestibilidad in vitro a 72 h; producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales, de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.</i>	48
<b>Cuadro 6.</b>	<i>Ingredientes y tiempos de ensilaje de los tratamientos evaluados con estiércol bovino.</i>	61
<b>Cuadro 7.</b>	<i>Valores promedio de variables bromatológicas de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino.</i>	63

<b>Cuadro 8.</b>	<i>Valores promedio de variables fermentativas medidas durante el proceso de ensilaje de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino.</i>	67
<b>Cuadro 9.</b>	<i>Digestibilidad in vitro a 72 h; producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol.</i>	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	<i>Valores de pH como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	51
<b>Figura 2.</b>	<i>Porcentaje de materia seca (MS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	52
<b>Figura 3.</b>	<i>Porcentaje de proteína cruda (PC) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	53
<b>Figura 4.</b>	<i>Concentración de Energía metabolizable (EM Mcal kg<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	54
<b>Figura 5.</b>	<i>Porcentaje de digestibilidad in vitro de materia seca (%DIVMS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	55
<b>Figura 6.</b>	<i>Conteo bacteriano (UFC ml<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	56
<b>Figura 7.</b>	<i>Valores de pH como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	71

<b>Figura 8.</b>	<i>Porcentaje de materia seca (MS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	72
<b>Figura 9.</b>	<i>Porcentaje de proteína cruda (PC) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	73
<b>Figura 10.</b>	<i>Concentración de energía metabolizable (EM) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	74
<b>Figura 11.</b>	<i>Porcentaje de digestibilidad in vitro de materia seca (%DIVMS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	75
<b>Figura 12.</b>	<i>Conteo bacteriano (UFC ml<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.</i>	76

# ENSILAJE DE PENCAS DE NOPAL TUNERO CON EXCRETAS PECUARIAS

José Isidro Alejos de la Fuente, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

Con el objetivo de evaluar las características químicas de ensilados de pencas de nopal tunero y excretas pecuarias (pollinaza y estiércol bovino), se realizaron 2 experimentos con arreglos factoriales de tratamientos 4 x 4 en diseños experimentales completamente al azar; las unidades experimentales fueron 64 microensilados (16 tratamientos con 4 repeticiones), para cada experimento; con 6 kg de una mezcla compuesta con pencas de nopal, rastrojo de maíz molido, excretas pecuarias y melaza; ensilados en 4 tiempos: 0, 30, 60 y 90 días (Factor A), con 4 concentraciones de excretas pecuarias: 0, 20, 30 y 50% (Factor B). Al incrementar el tiempo de ensilaje, aumentaron ( $P < 0.0001$ ) la PC, carbohidratos no fibrosos (CNF), cenizas (C), EM (Mcal/kg), ácido láctico, acético, propiónico, y la DIVMS; y disminuyeron ( $P < 0.0001$ ) el pH, MS, FDN y la cantidad de bacterias. Al incrementar la concentración de excretas pecuarias, se incrementaron ( $P < 0.0001$ ) el pH, MS, PC, C, EM (Mcal/kg) y la concentración de bacterias; y disminuyeron ( $P < 0.0001$ ) la FDN, FDA y CNF. Al incrementar la concentración de excretas pecuarias y disminuir el tiempo de ensilaje, la MS aumentó y los CNF disminuyeron. Los mejores tratamientos encontrados, fueron los ensilados con 20 y 30% de pollinaza.

**Palabras clave:** Ensilaje, nopal, excretas pecuarias, características químicas.

## PRICKLY PEAR CLADODES ENSILED WITH LIVESTOCK MANURE

José Isidro Alejos de la Fuente, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

The objective of this study was to evaluate the chemical characteristics of prickly pear cladodes ensiled with livestock manure (poultry litter or cattle manure). Two experiments were conducted to evaluate 16 treatments (n=4) using 64 micro silages (6 kg of a mixture made with prickly pear cladodes, ground corn stover, livestock manure and molasses) ensiled at different times (0, 30, 60 and 90 days), and four livestock manure concentration, either poultry litter or cattle manure (0, 20, 30 y 50%) for each experiment. A factorial arrangement 4 x 4 was used for a completely randomized design. As ensiling time increased PC, non-fibrous carbohydrates (NFC), ash (C), ME (Mcal kg<sup>-1</sup>), lactic, acetic, propionic acid and IVDMD increased (P <0.0001), but pH, DM, NDF and amount of bacteria decreased (P <0.0001). By increasing livestock manure concentration, pH, MS, PC, C, ME (Mcal kg<sup>-1</sup>) and the amount of bacteria increased (P <0.0001); and decreased (P <0.0001) NDF, ADF and NFC. By increasing the amount of livestock manure in the silage and reducing the ensiling time, DM increased and NFC decreased. The best treatments were those ensiled with 20 and 30% of poultry litter.

**Keywords:** Silage, prickly pear cladodes, poultry litter, cattle manure, chemical characteristics.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de postgrado. Número de Becario: 94205

Al **Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT- Gobierno del Estado de Hidalgo**, por el financiamiento otorgado para la realización del presente proyecto de investigación (Clave del proyecto: 98225)

Al **Colegio de Postgraduados y a la comunidad científica**, por su noble labor en la enseñanza e investigación en las ciencias agrícolas.

A la línea 11. **Sistemas de producción agrícola, pecuaria, forestal, acuícola y pesquera**, por el apoyo otorgado.

**Dr. Humberto vaquera Huerta**, por su invaluable amistad y siempre firme disposición para apoyarme en todo momento; por su valioso tiempo destinado para la realización del diseño experimental en la presente investigación.

**Dra. María Esther Ortega Cerrilla**, profesora consejera que influyo de manera determinante para que fuera posible la culminación de esta importante etapa en mi formación académica.

**Dr. Alfonso Hernández Garay**, por su amistad y compañía durante 13 largos años.

A los miembros de mi consejo particular: **Dr. Javier Piloni Martini**, **Dra. María del Rosario Jiménez Badillo**. Gracias por su amistad y por el trabajo en equipo, que hicieron posible la culminación del presente proyecto de investigación que juntos iniciamos en el ICAP... muchas gracias...

Muy especialmente al **Dr. José G. Herrera Haro**, gran catedrático y amigo, por su apoyo oportuno en los momentos difíciles durante esta etapa de mi formación.

**Dra. María Guadalupe Torres Cardona**, por la incansable lucha que ha emprendido en bien de mi superación... muchas gracias...

**Dr. Adrian Raymundo Quero Carrillo**, como ejemplo de trabajo, lucha y calidez humana.

**Dr. Miguel Ángel Mata Espinoza**, por todo el apoyo técnico brindado en la parte microbiológica de esta investigación.

**M. en C. Jorge Alvarado López**, por sus atinadas sugerencias en la redacción de la presente investigación.

Al personal del Colegio de Postgraduados: **Anita, Lety, Lupita, Celsa, Vero, Luis, Jacinto, Alfredo, Hugo, Ray, Remedios, M.C. Cordero, etc, etc....** muchas gracias por su apoyo durante todo el tiempo que estuve estudiando en el CP...

A mis compañeros de clases: **Iban, Rafa, Miguel, Said, Mariana, Liliana, Hebert, Gabriel, Miriam, Eva.....** a todos, muchas gracias por su amistad....

Quiero agradecer ampliamente a mis ex-alumnas: **Rosario y Laura**, que con su esfuerzo y dedicación, contribuyeron en gran medida a la realización de la presente investigación... les deseo mucho éxito...

## *DEDICATORIA*

*A Dios, Divino Maestro que se mantiene siempre a mi lado y es quien me levanta cuando mis fuerzas se agotan...*

*A la memoria de mis padres: Sra. Ma. Dolores de la Fuente y Sr. Isidro Alejos... quienes fueron los primeros maestros que Dios me envió... Gracias por sus enseñanzas, han sido los conocimientos más significativos en mi vida...*

*A mis Hijas: Elisa Guadalupe y María José, quienes iluminan mi vida y mi camino...*

*Especialmente a ti Lupita, porque con tu apoyo y paciencia, has hecho posible la realización de todos mis estudios de postgrado...*

*A todos mis hermanos... por su amor y apoyo incondicional...*

*A mis sobrinos David E., Manuel F. y José M., especialmente a David Emilio, con quien he compartido grandes y difíciles momentos en nuestras vidas*

## **1. INTRODUCCION**

La producción de alimentos para animales es un fenómeno cada vez más global; Asia es la principal región productora de alimentos, con 305 millones de toneladas anuales; China es el país líder, con 175.4 millones; Europa sigue a Asia, con 200 millones; y Norteamérica, Latinoamérica y Medio Oriente completan la lista, con 185, 125 y 47 millones, respectivamente (Alltech Global Feed Consulting, 2012). La utilización de residuos agrícolas y agroindustriales ha adquirido gran importancia en la alimentación animal debido, principalmente, al considerable incremento de los precios de los granos y la competencia por los ingredientes alimenticios, entre los humanos y los animales.

En el mundo se generan volúmenes importantes de residuos agrícolas y agroindustriales y su estacionalidad puede ocasionar desequilibrios en los sistemas ecológicos, mayormente cuando estos residuos se incineran para su eliminación. En México, hay diversos residuos agrícolas, como rastrojo de maíz, sorgo y trigo, así como bagazo de caña de azúcar, por mencionar algunos, que pueden utilizarse de diferente forma. Para ello se han desarrollado las tecnologías, para permitir el aprovechamiento de la biomasa, ya sea como fuente de energía, consumo animal, uso industrial, etc. Dentro de los principales productos investigados, algunos de ellos ya en operación, están el bagazo de caña de azúcar, los residuos orgánicos, la vinaza (desechos de la

destilación del alcohol), los desechos de frutas y verduras, la basura producida en áreas urbanas, la pasta de copra, la cáscara de café, el rastrojo de maíz, la paja de sorgo, los estiércoles, los lodos orgánicos y el lirio acuático (Viniestra *et al.*, 1980; Castrillo y Gasa, 1990; Meneses, 1998; Aranda, 2000; Ojeda y Cáceres, 2002). Algunos subproductos se utilizan como sustratos sólidos para la alimentación del ganado, sin embargo, es posible mejorar el valor nutricional de dichos subproductos agrícolas, lo cual significa una alternativa importante para la agricultura nacional y la alimentación de algunas especies de ganado.

La creciente demanda de alimentos para el hombre exige hacer cada vez más eficientes los sistemas productivos. La producción animal es responsable de la principal fuente de proteínas de consumo humano, sin embargo, en la mayoría de los casos, se utilizan ingredientes que el hombre puede consumir directamente, con lo cual se genera una competencia directa entre ambos por el alimento. Por lo general, aunado a lo anterior, se deteriora el entorno ecológico al intentar forzar áreas pobres o degradadas agroecológicamente a mantener, o incluso a incrementar, los niveles de producción animal (pastoreo). Esto ocasiona, finalmente, áreas improductivas que reflejan la degradación que el entorno ecológico está teniendo. Por lo anterior, es primordial optimizar los recursos y buscar nuevas fuentes alimenticias, y aprovechar al máximo los residuos derivados de las actividades agroindustriales, evitando que se conviertan en contaminantes potenciales buscando, el equilibrio armónico entre las actividades productivas y el ambiente, en bien de todos los que habitamos el planeta.

El nopal puede adaptarse a la mayoría de las condiciones ecológicas de nuestro país; abarca cerca de 30 millones de hectáreas, ubicadas principalmente en la región centro y norte, donde la producción agropecuaria enfrenta severas restricciones, tanto climáticas como edáficas. Existen alrededor de 300 especies del género *Opuntia*, de las cuales encontramos más de 100 en México (Ríos y Quintana, 2004). A nivel mundial, las diferentes variedades de nopal son recursos apreciados por los aspectos ecológicos y productivos del agostadero, ya que son fuentes atractivas de alimento para el ganado, por la eficiencia productiva que tienen en condiciones adversas. La poda es una práctica común en el manejo de los huertos de nopal, pero genera residuos vegetativos que representan altos costos al removerlos (Martínez *et al.*, 2001). Se estima, que en la poda de los huertos de nopal, se producen cerca de 10 t ha<sup>-1</sup> de materia verde al año, que los productores deben remover del huerto, para lo cual se requiere de mayor cantidad de jornales, lo que incrementa el costo de esta práctica (Aranda *et al.*, 2010). Por lo tanto, generalmente, se dejan en la huerta para que se incorporen como abono orgánico al suelo, pero antes de que esto ocurra tales residuos sirven como hospederos de plagas y patógenos que generan riesgos de contaminación para los huertos. Se requiere buscar otras alternativas de utilización de los residuos vegetales generados en la poda de los huertos de nopal. En el presente estudio se utilizaron los residuos de la poda de nopal para la elaboración de microensilados.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Entorno alimenticio de la ganadería semi-especializada

En las regiones semiáridas subtropicales y tropicales del mundo, los pequeños rumiantes dependen de forrajes altamente lignificados para satisfacer sus requerimientos nutricionales (Khan *et al.*, 2012). Sin embargo, las variaciones estacionales en la calidad del forraje y su disponibilidad son reconocidas como causas del estrés nutricional que limita la producción animal (Abilleira *et al.*, 2010). Durante la época seca, el consumo inadecuado de forraje, que ocurre como resultado de la reducida disponibilidad en los agostaderos; el bajo nivel de proteína; el aumento en la lignificación de los pastos y el contenido de otros componentes de la fibra, pueden reducir el consumo de nutrientes requerido por los pequeños rumiantes para su crecimiento, gestación y lactancia (Chen *et al.*, 2002; Sawyer *et al.*, 2012).

En estas regiones, los pequeños rumiantes consumen alimentos fibrosos, como rastrojo, paja y pastura, de baja calidad, debido a su deficiencia en nitrógeno, energía, minerales y vitaminas (Tebot *et al.*, 2012), es necesario agregar fuentes económicas de nitrógeno y energía, como la melaza, que es una fuente de carbohidratos fácilmente fermentables (DeVries y Gill, 2012), los cuales favorecen el crecimiento de microorganismos en el rumen, para digerir los alimentos fibrosos (Sinclair *et al.*, 2012). Con una mayor digestión de la fibra se reduce el efecto restrictivo que esta tiene en el consumo de materia

seca, permitiendo el mantenimiento del animal y una mayor productividad (Kammes y Allen, 2012; Queiroz *et al.*, 2012).

En las zonas áridas, la ganadería extensiva se caracteriza por el pastoreo errático y estacional, determinado por las escasas lluvias y los períodos de sequía prolongados; la alimentación del ganado en estas regiones de México está condicionada a la disponibilidad de forrajes (Colunga *et al.*, 2005). Esta tiene frecuentes variaciones, relacionadas con las condiciones climáticas que ocurren año con año, de tal manera que es necesario contar con alternativas de alimentación factibles de utilizarse en las regiones áridas y semiáridas. El uso de especies nativas ha constituido una alternativa de alimentación de las especies animales de esas regiones, debido a su capacidad de adaptación a condiciones de humedad adversas (Arriaga-Jordán *et al.*, 2003).

## **2.2 Residuos agropecuarios útiles en la alimentación del ganado**

**Nopal.** El género *Opuntia* está presente en la mayoría de las condiciones ecológicas y, debido a su resistencia a la sequía y rusticidad, ofrece una opción productiva aceptable para más de 35 000 productores. El nopal (*Opuntia* spp) es una planta que crece en los ambientes más diversos y la mayoría de los ganaderos lo usan como forraje de emergencia. En el caso de los productores de leche, el nopal se usa para bajar los costos de la ración diaria y por la creencia de que se incrementa la calidad de la leche. El nopal se ha destacado como uno de los recursos naturales más importantes de varias regiones de

México, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, cuya extensión de 30 millones de hectáreas cubre casi 70% de la superficie nacional (Chávez-Moreno et al., 2011).

Por lo general, los sistemas de utilización del nopal forrajero son destructivos, ya que se corta hasta 95% de la planta; los métodos de cosecha más utilizados son: cosecha con espinas y animales en pie; cosecha en pie y con espinas, despuntando el ápice de los cladodios; chamuscado en pie *in-situ* y cosechado por los animales; cortado y chamuscado con leña *in-situ*, ofreciéndolo a los animales en el campo; cortado y trasladado al establo, donde se chamusca y ofrece al ganado en pequeños trozos. La mayoría de nopal cosechado como forraje proviene de nopaleras naturales sin algún método de manejo, utilización o rehabilitación. El consumo de nopal forrajero por el ganado menor fluctúa entre 5 y 12 kg; en ganado mayor varía de 15 a 95 kg d<sup>-1</sup>. Esta dieta debe acompañarse de paja o rastrojo, como fuente de materia seca (Urrutia et al., 2007).

La composición química del nopal varía con la especie, la edad y la época del año, presentando bajos niveles de materia seca y proteína cruda. Sin embargo, comparado con otros forrajes, es un recurso importante para los ambientes áridos, que se refleja en un ahorro económico (Guzmán-Maldonado et al., 2010). El nopal contiene cerca de 90% de agua, por lo que se adapta a largos periodos de sequía. Por ello, muchos nutriólogos consideran a esta característica como una limitante para su uso. En la región semiárida de Brasil

es común ver vacas comiendo más de 50% de nopal en su dieta, con producciones superiores a 19 kg de leche al día (Torres, 2010). El nopal también es importante fuente de macrominerales, por lo que puede ser una alternativa barata para abastecer algunos requerimientos minerales. Algunas investigaciones muestran que el nopal es una excelente fuente de ácido linoléico conjugado, el cual proporciona grasas benéficas para la salud, además de tener propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Chavez-Santoscoy *et al.*, 2009).

López (2007) y Torres-Sales (2010) reportan la composición químico-bromatológica de dos especies de nopal forrajero (*Opuntia ficus indica* y *Nopalea cochenillifera*), como a continuación se indica: materia seca, 10.40; proteína cruda, 4.20; fibra detergente neutra, 26.17; fibra detergente ácida, 20.05; carbohidratos totales, 87.96; carbohidratos no fibrosos, 61.79; carbohidratos no estructurales, 47.40; cenizas, 6.59.

Los cladodios de tuna, con y sin espinas, se utilizan para alimentar al ganado durante los frecuentes períodos de escasez de alimentos, en sequías de regiones áridas y semi-áridas. Los cladodios frescos sin espinas contienen cerca de 90 % de agua; un rumiante de 400 kg requiere consumir 4.4 kg de cactus seco, para satisfacer sus requerimientos nutricionales de mantenimiento. Esto significa que tendrá que consumir de 44 a 45 kg de cladodios frescos, sin embargo, los animales no consumen más de 40 kg de cactus al día (Mahouachi *et al.*, 2012).

Expertos de la FAO consideran que el nopal tiene el potencial para ser utilizado como alimento para ganado. Este organismo está promoviendo el uso del nopal como forraje estratégico para las zonas áridas y semiáridas, aunque la idea de utilizarlo para alimentar al ganado no es reciente. En el siglo XIX hubo un abundante comercio de este cactus en las zonas ganaderas de Texas, Estados Unidos; hoy se utilizan variedades silvestres y cultivadas en Túnez, México y Sudáfrica, como forraje de emergencia durante las sequías (Gizachew y Smith, 2012).

**Esquilmos agrícolas.** Contienen más de 30% de fibra, su proteína total es inferior a 7% y la digestibilidad es menor de 55%, por lo cual es muy baja la disponibilidad de los nutrimentos que contienen; la energía metabolizable (EM) es escasa (menor de 2 Mcal kg<sup>-1</sup> MS) o bien, si se expresa como nutrientes digestibles totales (TND), es inferior a 60%. La cantidad anual de esquilmos producidos en México oscila en alrededor de 45 millones de toneladas de materia seca, para los diez principales cultivos (maíz, sorgo, trigo, frijol, arroz, cebada, soya, algodón, cártamo y ajonjolí): el rastrojo y olote de maíz, 25 500 millones; la pajas de sorgo, 6 600 millones; y la paja de trigo 4 500 millones, representan poco más de 81% de los residuos de cultivos. El cultivo de maíz destaca por ocupar la mayor superficie en México, de él se obtiene el rastrojo, cuyo rendimiento oscila entre 3 y 5 t ha<sup>-1</sup>. Otro de los esquilmos utilizados es la cebada, cuya paja es el principal residuo que deja el cultivo y, al igual que los distintos esquilmos y residuos agrícolas, se deriva de las partes de las plantas que permanecen en el terreno, después de cosechar el grano o la semilla. Las

formas más comunes de utilización son la quema, la incorporación parcial al suelo y como alimento animal, ya sea proporcionándolos en los potreros o en pastoreo directo, después de la trilla, en particular por los pequeños y medianos productores, especialmente durante periodos de sequías prolongadas (Sagarpa, 2012a).

El uso de los esquilmos en la alimentación de rumiantes es muy antigua, sin embargo, este tipo de alimento tiene limitaciones; por su bajo contenido proteico, son sumamente fibrosos y la disponibilidad de su fibra es reducida, por su alto contenido de lignina (Stamm *et al.*, 2012). Sin embargo, esta limitación puede disminuirse mediante procesos de transformación, como los hidrotérmicos (Gullón *et al.*, 2009). Además, los hongos también tienen la capacidad para degradar materiales lignocelulósicos, y debido a su sistema enzimático altamente eficiente. Estos tienen dos tipos de sistemas enzimáticos extracelulares: el sistema hidrolítico, que produce hidrolasas responsables de la degradación del polisacárido y un sistema único ligninolítico oxidativo y extracelular, lo que degrada la lignina y abre los anillos de fenilo (Sánchez, 2009). Los esquilmos pueden enriquecerse con nitrógeno, para utilizarse como alimentos, o procesarse (De Gannes *et al.*, 2012).

## **2.3 El proceso de ensilaje**

### **2.3.1 Generalidades**

El ensilaje es un método de conservación de forrajes con alto contenido de humedad, que se fundamenta en la fermentación ácido láctica espontánea

del forraje bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias ácido lácticas (BAL), propias del material a ensilar, fermentan los carbohidratos solubles del forraje, produciendo ácido láctico y, en menor grado, ácido acético (Stefanie et al. 1999). El ensilaje permite retener las cualidades nutritivas del material vegetal original, mucho mejor que como ocurre en el henificado, pero precisa de mayores inversiones y conocimiento para conseguir un producto de calidad. Es un proceso para almacenar alimento en tiempos de cosecha, conservando la calidad y la palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por hectárea y sustituir o complementar concentrados. Su calidad es afectada por la composición química de la materia a ensilar, el clima y los microorganismos empleados, entre otros (Ojeda y Montejo, 2001). El ensilaje se almacena en silos que permiten mantener las condiciones anaerobias. Existen varios tipos de silos y la elección del apropiado depende del esquema de producción ganadera, recursos económicos disponibles y topografía del terreno, entre otros (Nges et al., 2012). El maíz (*Zea mays*) es el cultivo más empleado como fuente de forraje en los sistemas de producción bovina, mediante su conservación (ensilaje), debido al alto rendimiento de biomasa área de 35 a 95 t ha<sup>-1</sup> (Somarribas, 2007) y alto contenido de carbohidratos (Méndez, 2000), los cuales favorecen el proceso fermentativo. El ensilado de cultivos forrajeros o de subproductos industriales, podría ser una contribución para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal en zonas tropicales y subtropicales. Sin embargo, su empleo es todavía escaso, debido en parte a los bajos precios de los productos ganaderos, al poco uso de la mecanización y al

alto costo de los materiales para el sellado del silo, también se debe a la falta de experiencia práctica en la técnica del ensilaje (Lechartier y Peyraud, 2011).

### **2.3.2 Procesos bioquímicos**

El forraje verde que se ensila experimenta transformaciones biológicas de dos tipos: uno debido a la acción de las enzimas de las plantas, que tienen la propiedad de disociar compuestos más sensibles, en el caso de los ensilados, su acción tiene lugar sobre los procesos respiratorios y la descomposición de glúcidos y proteínas; otro, debido y el segundo se debe a las transformaciones microbiológicas (Chen *et al.*, 2012).

Las pérdidas de materia seca en los forrajes ensilados, principalmente en carbohidratos solubles, se ocasionan porque los tejidos de las plantas continúan respirando y absorbiendo el oxígeno que ha quedado atrapado en los espacios del material a ensilar, condición que perjudica el crecimiento de las bacterias ácido lácticas; por lo tanto, es importante eliminar la mayor cantidad de aire, mediante un correcto apisonado (Weiss, 1999).

El aumento de la temperatura interna, a 40 °C, nos indica que ha tenido lugar la entrada de oxígeno en el interior del silo, lo que va a provocar importantes pérdidas de materia seca en forma de azúcares (5%), con el consecuente riesgo de una fermentación láctica insuficiente. De aquí la importancia del apisonado del forraje. La hidrólisis de los glúcidos también tiene lugar en el silo; Los glúcidos solubles de los forrajes y alimentos que se

ensilan representan entre 5 y 25% de la materia seca, y son rápidamente hidrolizados por la acción de las enzimas, en glucosa y fructosa que, junto con los ácidos orgánicos cítrico y málico, son las principales fuentes de energía de los microorganismos, especialmente de las bacterias lácticas. Existen otros carbohidratos que no pueden ser utilizados directamente por la flora láctica, a menos de que sean descompuestos en glúcidos más simples. Un ejemplo de estos es el almidón, el cual necesita ser hidrolizado a maltosa, por las amilasas adicionadas al forraje (McDonald, 1981).

Generalmente, los compuestos nitrogenados de los forrajes los aportan las proteínas, seguidos por los aminoácidos libres, las aminas, nitratos (Domenech *et al.*, 1997). Por acción de algunas proteasas presentes, tanto en los tejidos de las plantas como en los microorganismos implicados en los procesos de fermentación, las proteínas se reducirán a formas más simples (aminoácidos) y, a medida que el pH descienda, se reducirá, deteniéndose completamente cuando el pH sea menor de 4.0 (Cañete y Sancha, 1998).

Desde el momento que el forraje se corta, comienzan a actuar enzimas propias del vegetal, hidrolizando parte de las proteínas, el almidón y los carbohidratos, causando pérdidas y generando azúcares que se usaran durante la fermentación láctica (Muck, 1988).

Generalmente, la reducción de la hemicelulosa es baja, mientras que las proteínas pueden sufrir cambios importantes por la acción de las enzimas proteolíticas. Estas pueden convertir a parte de las proteínas de la planta verde

en nitrógeno proteico, péptidos, aminoácidos libres (AA) y nitrógeno no proteico (NNP). En cambio, por la actividad de los microorganismos estas sustancias proteicas se reducen a amonio y aminas (Muck, 1988).

Además, las enzimas producen pérdidas de materia seca (MS) y energía del ensilado, al reducir la disponibilidad de CHOS. Afortunadamente, estas son muy sensibles al descenso brusco del pH, cuando se acidifica el material (Young *et al.*, 2012).

### **2.3.3 Procesos microbiológicos**

Las bacterias ácido lácticas (heterofermentativas), como *Lactobacillus buchneri*, producen ácido láctico, ácido acético, etanol y bióxido de carbono. El ácido acético es el mayor inhibidor de levaduras y mantiene una mayor estabilidad aeróbica que el ácido láctico. *Lactobacillus buchneri* es la principal bacteria heterofermentativa usada en cultivos forrajeros, en EUA. (Heinl *et al.*, 2012; Schmidt y Kung, 2010). *Lactobacillus buchneri* produce más ácido acético que las bacterias homofermentativas (Kleinschmit y Kung, 2006a,b); estas son más efectivas en maíz que en alfalfa o cereales de grano pequeño, como lo evidencia *L. buchneri*, la cual es menos abundante en maíz que en alfalfa (Huisden *et al.*, 2009). Para la estabilidad anaerobia también se han empleado antifúngicos (Kleinschmit *et al.*, 2005).

Debido al bajo nivel de *L. buchneri* y otras bacterias heterofermentativas en maíz, el ácido acético, inhibidor de levaduras, normalmente es más bajo que en alfalfa, lo cual lo hace más susceptible a problemas de estabilidad aeróbica, principalmente cuando el silo se abre, en el verano con temperaturas altas (Kristensen *et al.*, 2010). Un problema con *L. buchneri* es que su crecimiento es más lento que el de otras bacterias en ensilajes; por lo tanto, las bacterias naturales homofermentativas promoverán la fermentación inicial y, más tarde, *L. buchneri* convertirá el ácido láctico en ácido acético. Debido a esto, cuando se usa *L. buchneri*, se recomienda dejar un mínimo de 45–60 días antes de abrir los silos, para asegurar una buena estabilidad aeróbica. Recientemente, se ha reportado que algunas bacterias heterofermentativas, como *L. buchneri*, *L. reuteri*, *L. crispatus* y *L. brevis*, producen ferulate esterasas (Rashamuse *et al.*, 2007). Estas son enzimas que aumentan la degradación de la pared celular y liberan más carbohidratos solubles de las plantas, para fermentación o uso de las bacterias del rumen (Qi *et al.*, 2011). La ventaja de las nuevas cepas productoras de ferulate esterasas es que, además de mejorar la estabilidad aeróbica, aumentan la digestibilidad del ensilaje y, potencialmente, el desempeño animal (Dodd *et al.*, 2009).

La fase anaerobia es la fase más importante en el ensilaje, ya que en esta disminuye el pH lo suficiente para inhibir el crecimiento de cualquier organismo. Las bacterias homofermentativas, como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Pediococcus* spp. y *Enterococcus* spp., producen ácido láctico (Chen *et al.*, 2012). Generalmente este es preferido en el silo porque es

más fuerte que el ácido acético, y baja el pH más rápido; en consecuencia, disminuye la respiración de las plantas y la actividad enzimática, inhibiéndose otras bacterias (Tabacco *et al.*, 2011). Las bacterias homofermentativas son los inoculantes más comunes en el mercado. En un inicio, el objetivo principal de usarlos fue preservar la calidad de las plantas ensiladas tan cerca a su estado original como fuera posible (Tohno *et al.*, 2012). En la actualidad se ha encontrado una nueva especie de bacterias ácido lácticas, *Lactobacillus nasuensis*, aislada del ensilaje (Cai *et al.*, 2012).

Las bacterias homofermentativas logran este objetivo al bajar el pH y reducir las pérdidas de materia seca al nivel mínimo (2–3%), con lo cual se reduce la proteólisis (el rompimiento de proteínas) y la formación de amonio, y aumenta el ácido láctico y la digestibilidad de la materia seca. La reducción rápida en el pH también puede inhibir bacterias de *Clostridium* que producen ácido butírico, que es un producto indicador de una mala fermentación, al producir un mal olor. Además, las bacterias homo-fermentativas tienen el potencial de mejorar el desempeño animal. Investigaciones recientes reportan que dichos inoculantes mejoran la ganancia de peso en ganado de carne y la producción de leche de vacas en lactación (Kung *et al.*, 2007). Cuando el ensilaje inoculado tuvo efecto positivo, el aumento promedio en ganancia de peso fue de 5%, mientras que la producción de leche aumento 3%. La causa del mejor desempeño animal no se ha precisado. Estudios bajo condiciones *in vitro* sugieren que los ensilajes inoculados mejoran el crecimiento de las bacterias ruminales, aun cuando los inoculantes hayan tenido poco efecto en la

fermentación del ensilaje (Filya, 2003; Filya *et al.*, 2006). Sin embargo, los estudios *in vitro* también mostraron que no todos los inoculantes funcionan igual, lo cual podría indicar un efecto específico de ciertas cepas (Seip *et al.*, 2012).

#### **2.4 Indicadores de calidad**

Existen varios indicadores para calificar la calidad del ensilaje y, por lo general, se asocian con algunas características de olor, color, sabor, textura y naturaleza de la cosecha ensilada. Las características físicas y químicas que determinan la calidad nutricional del ensilaje son el color, el cual debe ser amarillo parduzco y nunca negro, y el olor, que debe ser agradable para destacar la ausencia de hongos. La calidad del ensilaje depende, primordialmente, de la velocidad de acidificación del forraje, su composición y las especies bacterianas presentes. El número de bacterias ácido lácticas presentes en el ensilaje es variable e influye, en forma considerable, en la fermentación (Woolford, 2000).

Algunas ventajas del ensilaje son la producción de un forraje succulento, con calidad y uniformidad durante todo el año; el aumento de la capacidad de carga del sistema de producción; es un método práctico para conservar el valor nutritivo y su sabor durante el tiempo de almacenamiento; menor uso de alimentos concentrados, y de una amplia variedad de equipo y maquinaria, para su elaboración, reduciendo las pérdidas de forraje en la recolección.

**Calidad nutritiva.** El valor nutricional de los ensilados depende de la calidad, el material ensilado y el proceso de ensilaje. El valor de pH, el contenido de nutrientes y las variables fermentativas son elementos útiles para valorar la calidad del ensilaje (Kälber *et al.*, 2012; Tamir *et al.*, 2012). En la actualidad, el pH es una variable que sirve como un indicador de la calidad fermentativa en ensilados con bajo contenido de MS (Kwak *et al.*, 2009). El pH de su jugo es una rápida evaluación del tipo de fermentación que tuvo lugar e indica, por lo tanto, si se dispone de un alimento estable. El porcentaje de materia seca (MS) es importante porque los demás componentes (excepto digestibilidad) se expresan en función de esta (Huhtanen *et al.*, 2011). La conservación del forraje indica la cantidad de elementos nutritivos preservados y es especialmente importante, porque las pérdidas que se registran en ella corresponden, sobre todo, a las fracciones más lábiles. En el caso de ensilados de plantas enteras de maíz, la pérdida de MS comprende entre 8 y 10% (Xu *et al.*, 2007). Valores de proteína del material a ensilar superiores a los normales, sin adición de urea, pueden significar un corte demasiado temprano, con pérdidas del potencial de producción y bajo contenido en almidón. La proteína es una variable importante, debido a su influencia directa en la producción animal (Juniper *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2011; Muhonen *et al.*, 2008). La fibra detergente neutra (FND) es la fracción del forraje que corresponde a las paredes celulares y está asociada negativamente con la ingestión de materia seca. El porcentaje de FND se incrementa con el estado de madurez de los forrajes. La fibra detergente ácida (FDA) se refiere a las porciones de pared celular del

forraje, está constituida por celulosa y lignina. Estos valores son importantes porque se relacionan con la habilidad de los animales para digerir el forraje. A medida que aumenta la FDA, la digestibilidad del forraje disminuye.

El valor de FDN, es la pared total de la célula que está comprendido por la fracción FDA más la hemicelulosa. Las cenizas indican el contenido mineral (Lechartier y Peyraud, 2011). El valor nutritivo de los ensilajes está determinado, principalmente, por la composición del forraje en el momento de la cosecha y por las modificaciones químicas que toman lugar durante el proceso de ensilado; este es siempre menor en relación con el material de origen; la magnitud de estos cambios es dependiente de las medidas que se adopten para conducir en forma adecuada el proceso de conservación (Conaghan *et al.*, 2010).

## **2.5 Factores que afectan la calidad del ensilaje**

### **2.5.1 Contenido de materia seca**

El contenido de MS óptimo en los forrajes antes del ensilaje oscila entre 30 y 35%, para evitar fermentaciones butíricas o indeseables (Ashbell *et al.*, 2002; Allen y Ying, 2012; Weinberg *et al.*, 2003). El contenido de humedad mayor de 70% es indeseable porque el crecimiento de los *Clostridium* no se inhibe a pH de 4, lo cual da lugar a ensilados pobres en nutrientes y poco apreciados por los animales (Coblentz y Muck, 2012; Zheng *et al.*, 2011).

### **2.5.2 Contenido de carbohidratos solubles**

La cantidad apropiada de carbohidratos solubles para obtener un ensilado estable, con bajo pH y ácido láctico en mayor proporción, bien conservado, es de 3% del peso fresco del forraje; si este es inferior, aumentan las posibilidades de generar una fermentación secundaria. Por lo tanto, las plantas con bajo contenido de carbohidratos solubles son propensas a la fermentación secundaria, ya que estos constituyen la principal fuente de energía para el crecimiento de los microorganismos fermentadores; cantidades menores pueden limitar la reducción del pH que favorece la conservación del forraje (Yang *et al.*, 2006). El contenido de carbohidratos en las plantas depende del tipo de forraje, de las condiciones del cultivo, así como de las ambientales (Alaniz, 2008). Cuando un material, pese a su buena calidad, no contiene suficientes azúcares, es necesario añadirle melaza o alguna otra fuente de azúcares que faciliten su fermentación (Nishino *et al.*, 2012). La importancia de los carbohidratos solubles también se ve reflejada en el contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) de los ensilajes, el cual es indicador de la mala preservación del material. La concentración de N-NH<sub>3</sub> se relaciona inversamente con la de carbohidratos solubles en la planta original.

### **2.5.3 Capacidad amortiguadora del material ensilado**

Se define como la resistencia que opone la planta a las variaciones de pH del medio. Esta depende del contenido de materias nitrogenadas, ácidos orgánicos y sales de estos (cítrico, málico, succínico), y sales derivadas del

calcio y fósforo, así como de productos resultantes de la fermentación (Borreani y Tabacco, 2008). El contenido de materias nitrogenadas aumenta con el contenido de proteína cruda (Kemoli *et al.*, 2001). Al aumentar la edad de la planta se incrementa la relación hoja-tallo, con lo cual los procesos metabólicos disminuyen. En consecuencia, se reduce el contenido de ácidos orgánicos y limita la capacidad tampón de las plantas. Cuanto mayor sea el poder tampón, más ácido láctico será necesario que se forme en el ensilado, para alcanzar el pH óptimo de 4 y será necesaria una mayor cantidad de azúcares fermentables para proporcionar dicho ácido láctico (Calsamiglia *et al.*, 2007).

#### **2.5.4 Estado de madurez del forraje**

La capacidad de los forrajes de garantizar o no las exigencias nutritivas de los animales para el mantenimiento, crecimiento y reproducción es lo que se conoce como valor nutritivo. En términos generales, este es la resultante de la especie, la parte de la planta, la composición química, la digestibilidad, los factores ambientales, los factores propios del animal y la interacción entre las pasturas, el animal y el ambiente (Burthe *et al.*, 2011). También influyen las enfermedades, el proceso de conservación, la fertilidad del suelo y la fertilización.

Cuanto mayor sea el porcentaje de hojas del forraje, tendrá mayor digestibilidad el ensilado y porcentaje de proteínas y carbohidratos solubles,

salvo raras excepciones. Cuando varía la proporción hoja-tallo, aumentando la de tallo, baja el valor nutritivo. Las hojas tiernas poseen mayor valor nutritivo que las viejas. Las partes que acumulan las sustancias de reserva, como los rizomas, base de los tallos, tubérculos, semillas, etc. son más nutritivas. Estudios indican que en leguminosas las hojas conservan su digestibilidad, aun maduras y que son los tallos al crecer los que la pierden (Cabiddu *et al.*, 2010).

### **2.5.5 Tamaño de las partículas del forraje**

Es importante considerar el tamaño de partícula del forraje a ensilar, ya que cuando esta es pequeña (1.0 a 1.5 cm) se facilita una buena compactación y, en consecuencia, una rápida eliminación del oxígeno atmosférico atrapado dentro del material. Otro punto importante es proveer al animal de FDN, asegurándole una normal masticación y una adecuada rumia, cuando el animal ingiere ese forraje (Hildebrand *et al.*, 2011).

El tratamiento físico del forraje antes de ensilarse, es importante para conseguir una buena conservación, el tamaño de partícula es una de las principales variables que se deben considerar para ensilar forrajes. Si el forraje tiene tallos gruesos y grandes, y no se pica, pueden quedarse espacios de aire con mayor facilidad, ya que la compactación del material es más difícil y en consecuencia, pueden producirse fermentaciones de tipo aeróbico, principalmente, dando lugar a que la temperatura y el pH se eleven, lo que

deteriora el ensilaje (Hildebrand *et al.*, 2011; McCormick *et al.*, 2011). El tamaño final de picado va a depender tanto de la regulación de la máquina como del contenido de humedad de la planta a ensilar. Además, en materia de regulación del equipo, es importante diferenciar que el partido de los granos de maíz o sorgo se realiza con el procesador de granos de la máquina (“craker”) y no con un menor tamaño de picado. Las recomendaciones publicadas sugieren que la mezcla final de alimentos procesados (mezclas de ensilajes/henos y concentrados) o un alimento fibroso en particular (ensilaje o heno picado) tenga entre 5 y 10% de partículas mayores de 2 cm; entre 40 y 50% de partículas entre 0.8 y 2 cm y el resto inferior a dichos valores (Kononoff y Heinrichs, 2003).

## **2.6 Prácticas recomendadas para un buen ensilaje**

### **2.6.1 Llenado del silo**

La buena conservación de un ensilado depende, en gran parte, de la rapidez de llenado del silo; es conveniente que este se realice en un solo día. Cuando el tamaño del silo supera la capacidad de llenado en un día (no es aconsejable superar 72 h), será necesario colocar sobre la parte ya ensilada una cubierta que la proteja durante la noche. En todo caso, debe existir una buena coordinación entre los equipos de recolección y transporte, y los de llenado y apisonado, con el fin de reducir al mínimo el tiempo de realización del silo (Stone *et al.*, 2012). La adecuada distribución del forraje sobre el silo es

importante; esta debe hacerse en capas finas inclinadas y uniformes, de 10 a 30 cm de espesor como máximo. Se recomienda que la cantidad mínima de forraje que debe añadirse diariamente, para mantener la calidad del ensilado, sea una capa de 75 a 90 cm.

### **2.6.2 Apisonado**

Tiene como finalidad expulsar la máxima cantidad de aire del ensilado e impedir que el aire exterior penetre en el mismo. El apisonado puede ser intenso cuanto más desecado y más grueso se pique el material, y menos intenso o sin este, cuando el contenido de agua del material sea alto y se haya picado finamente, ya que se comprime de forma natural y ello puede dar lugar a pérdidas elevadas de nutrientes, por el escurrimiento de jugos (Sagarpa, 2012b).

### **2.6.3 Cierre del silo**

Es recomendable cerrar el silo inmediatamente después del llenado; puede usarse una cubierta de plástico para eliminar los efectos negativos del agua y el aire sobre la capa superior del material a ensilar, reduciendo la incidencia de las fermentaciones aeróbicas desfavorables. La cubierta debe aplicarse cuidadosamente sobre el ensilado para evitar la formación de espacios de aire y abombamiento por el viento. Para esto la capa superior del ensilado debe ser uniforme y cóncava, con el propósito de facilitar el escurrimiento de la lluvia (Hong *et al.*, 2010).

#### **2.6.4 Uso de aditivos**

Se han desarrollado para disminuir los riesgos del proceso de ensilaje y para mejorar su valor nutritivo (Pauly y Tham, 2003). Los aditivos deben ser seguros en su uso, reducir las pérdidas de materia seca, mejorar la calidad y favorecer los procesos fermentativos. En ocasiones, se pueden obtener ensilajes de satisfactoria calidad fermentativa sin usar aditivos, en especial si los forrajes se han premarchitado por un corto período, y se han picado adecuadamente y han sido bien compactados y sellados. Sin embargo, al usar aditivos se obtienen beneficios; en ocasiones, siempre y cuando se apliquen al forraje tierno, pues su acción es casi nula o nula en forrajes de alto contenido de materia seca. Aún siendo muy eficientes, los aditivos no solucionan fallas del ensilaje, como corte tardío o pobre sellado del silo (Conaghan *et al.*, 2010). Los aditivos son las únicas sustancias que se agregan al forraje, con el fin de garantizar la mejor conservación del ensilado. De acuerdo con su función los aditivos se clasifican en estimulantes, inhibidores y diversos (Pizarro, 1978). Woolford (1984) clasifica a los aditivos del ensilaje de acuerdo con la función que desempeñan, a saber.

**a. Acidificantes directos.** Son ácidos inorgánicos y orgánicos que reducen directamente el pH de la masa del forraje. Los ácidos más usados con este fin son: clorhídrico, sulfúrico y fórmico.

**b. Conservadores.** Como los ácidos fórmico, acético, láctico, propiónico, benzoico y capróico. Inhiben las fermentaciones indeseables, actuando de diversas maneras; unos proporcionan a la masa del forraje una acidez inicial que favorece la actividad de las bacterias lácticas.

**c. Inhibidores de la fermentación.** Son sustancias con acción esterilizante directa o indirecta. Inhiben el desarrollo de la microflora. Los productos usados son el formaldehído y la hexamina.

**d. Estimulantes.** Son sustratos, enzimas y cultivos microbianos que aceleran la fermentación y aumentan la reserva de materias de ácido láctico, respectivamente. Los materiales usados comúnmente son cultivos de *Lactobacillus*.

**e. Antimicrobianos específicos.** Son antibióticos y otros agentes químicos que reducen el crecimiento de microorganismos generadores de putrefacción. Algunos usados comúnmente son la bacitracina, la estreptomicina y el nitrato de sodio.

**f. Enzimas.** Como amilasas, celulasas, hemicelulasas y pectinasas. Se encargan de la ruptura de las paredes celulares y de aumentar el contenido de azúcares solubles; los cuales son fermentados por las bacterias lácticas, reduciendo el pH (Shao *et al.*, 2010).

**g. Nutrientes.** Son fuentes de energía, minerales y nitrógeno que tiene como objetivo mejorar la calidad del forraje. En este caso se usa almidón, harina de cereales, carbonato de calcio y urea (Aguerre *et al.*, 2011; Gómez-Vázquez *et al.*, 2011; Sugimoto *et al.*, 2009); melaza, glucosa, sacarosa, granos de cereales, pulpa de remolacha y pulpa de cítricos (Oelker *et al.*, 2009). La urea es adecuada como aditivo, puesto que aumenta el contenido de nitrógeno, el cual generalmente es reducido en los forrajes tropicales, y el contenido de proteína total; mejorando la estabilidad aeróbica del ensilado al momento de la apertura del silo (Miyaji *et al.*, 2012). El empleo de urea, asociada o no a minerales, resulta interesante en la alimentación, tanto de ganado lechero como de producción cárnica. Para el ensilado de maíz y cualquier otro tipo de material, siempre que su contenido de MS se encuentre entre 25 y 30%, se puede adicionar urea a razón de 14-17 g kg<sup>-1</sup> MS, siendo 4% del peso húmedo en los ensilados que contienen entre 25 y 30% de MS, y 5% del peso húmedo en los que tienen 30% o más de MS. La adición de urea en ensilados de caña de azúcar aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y es una ventaja para este tipo de ensilados ya que la producción de amonio controla la aparición de levaduras (Zahar *et al.*, 2002).

**h. Inoculantes.** En algunas regiones, el contenido de materia seca (MS) no es óptimo en el momento del preensilado de maíz y no se puede asegurar el buen manejo agronómico y las condiciones climáticas favorables. En tales

condiciones, el cultivo de maíz se cosecha con bajo contenido de materia seca y es fácilmente expuesto a fermentaciones desfavorables que ocasionan el deterioro de las plantas. Por tal motivo, para los agricultores es importante, la aplicación de inoculantes microbianos (*Lactobacillus*, *Pediococcus* y *Streptococcus*) al maíz forrajero con bajo contenido de materia seca, durante el pre-ensilado, para elevar rápidamente la acidez del forraje (Nikkhah *et al.*, 2011).

### **3. HIPÓTESIS**

La inclusión de excretas pecuarias mejora el proceso de ensilaje, la calidad nutricional y la digestibilidad *in vitro* de ensilados con pencas de nopal tunero.

### **4. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar la calidad bromatológica, las características fermentativas y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de ensilados elaborados con pencas de nopal tunero, excretas pecuarias, rastrojo de maíz molido y melaza de caña.

#### **Específicos**

1. Evaluar la calidad bromatológica de ensilados elaborados con pencas de nopal tunero, rastrojo de maíz molido, melaza de caña y cuatro concentraciones de pollinaza o estiércol bovino, en cuatro periodos de ensilaje.

**2.** Evaluar las características fermentativas de ensilados elaborados con pencas de nopal tunero, rastrojo de maíz molido, melaza de caña y cuatro concentraciones de pollinaza o estiércol bovino, en cuatro periodos de ensilaje.

**3.** Evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, y la producción de ácido láctico y ácidos grasos volátiles de ensilados elaborados con pencas de nopal tunero, rastrojo de maíz molido, melaza de caña y cuatro concentraciones de pollinaza o estiércol bovino, en cuatro periodos de ensilaje.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Localización**

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Rancho Universitario del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Su localización geográfica es 20° 03' 47" de latitud norte y 98° 22' 51" de longitud oeste a 2 163 m de altitud; el clima es templado-frío, con temperatura y precipitación media anual de 14° C y 500 mm, respectivamente (García 1988).

El estudio duró 8 meses, inició en noviembre de 2009 y concluyó en junio de 2010. Los análisis bromatológicos de los ensilados se realizaron en el

laboratorio Agro-Lab México, de la ciudad de Gómez Palacio, Durango. La determinación de la digestibilidad *in vitro* se realizó en el laboratorio de Nutrición del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP)-UAEH.

## **5.2 Materiales y Equipo**

Para la realización del experimento se utilizaron:

- a) 500 kg de pencas de nopal tunero, variedad cristalina de zacatecas.
- b) 200 kg de pollinaza.
- c) 200 kg de estiércol de bovinos lecheros.
- d) 150 kg de rastrojo de maíz molido.
- e) 100 kg de melaza de caña.
- f) 150 recipientes plásticos de 6 L de capacidad con tapadera.
- g) 150 etiquetas de papel.
- h) 1 revolvedora de aspas de 200 kg de capacidad.
- i) 1 molino de cuchillas con motor de 7 hp.
- j) 1 prensa mecánica con capacidad de 5 t de presión.
- k) 1 báscula electrónica de 50 kg de capacidad.

## **5.3 Unidades experimentales**

Las unidades experimentales fueron 128 microsilos, elaborados en recipientes de plástico de 6 L de capacidad con 6 kg de una mezcla compuesta

por pencas de nopal tunero, rastrojo de maíz, pollinaza o estiércol bovino parcialmente seco y melaza, debidamente prensados y sellados.

#### **5.4 Variables de respuesta**

Las variables de respuesta medidas en las unidades experimentales, en esta investigación, fueron:

1. pH (potenciometría directa: manual Model Fisher Scientific, 1992).
1. (MS) contenido de materia seca (AOAC, 2005).
1. (PC) contenido de proteína cruda (AOAC, 2005).
2. (FDA) contenido de fibra detergente ácido (Van Soest, 1991).
3. (FDN) contenido de fibra detergente neutro (Van Soest, 1991).
4. (CNF) contenido de carbohidratos no fibrosos (restando de 100 los contenidos de PC, FDN, rasa y C).
5. (C) contenido de cenizas (AOAC, 2005).
6. (EM) energía metabolizable (ecuaciones de NRC para ganado lechero, 2001).
7. (Lac) concentración de ácido láctico (cromatografía de gases: Neir y Bonelli, 1969).
8. (AGVs) concentración de ácidos grasos volátiles (cromatografía de gases: Neir y Bonelli, 1969).
9. (DIVMS) digestibilidad *in vitro* de la materia seca (Cobos *et al.*, 2006).

## **5.5 Diseño experimental**

Se realizaron dos estudios: el primero consistió en ensilar los ingredientes de la mezcla correspondiente a cada tratamiento con pollinaza; en el segundo se utilizó estiércol de bovinos lecheros, en lugar de pollinaza. Cada estudio se realizó bajo un arreglo factorial de tratamientos 4 x 4, con cuatro repeticiones, en un diseño experimental completamente al azar. El factor “A” fue el tiempo de ensilaje, con 0, 30, 60 y 90 días, y el factor “B” fue el porcentaje de excretas incluidas en la mezcla ensilada, con 0, 20, 30 y 50%. Resultaron 16 tratamientos, con cuatro repeticiones para cada estudio.

## **5.6 Elaboración de los microensilados**

Primero se recolectaron las pencas de nopal tunero (variedad cristalina de zacatecas) de una huerta ubicada en el municipio de Teotihuacán, estado de México; posteriormente, se llevaron al taller de nutrición del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), lugar donde se realizó el estudio. Se cortaron las pencas de nopal tunero en tiras de aproximadamente 5 cm, para poderla introducir al molino de cuchillas sin criba, para facilitar el picado del nopal. De esta forma se obtuvieron fragmentos de nopal de aproximadamente 3 cm; el estiércol bovino se recolectó parcialmente seco, del rancho universitario del ICAP, mientras que la pollinaza (24% de humedad) de los expendios del área de influencia donde se realizó el estudio. El estiércol y la pollinaza se tamizaron en criba de 5 mm; el rastrojo de maíz se obtuvo también en la región del estudio,

en pacas de 20 kg y se molió con criba de 1.5 pulgadas. La melaza de caña utilizada (75 grados brix) se adquirió en un expendio de la región. Una vez con todos los ingredientes necesarios, estos se pesaron para integrar las fórmulas correspondientes a cada tratamiento y después se vertieron a la mezcladora de aspas, para ser homogenizados durante 15 min. Ya mezclados los ingredientes, se tomaron 6 kg, aproximadamente del material resultante y se depositaron en cada recipiente de plástico; posteriormente, se comprimieron con la prensa mecánica de 5 t de presión, agregando el material necesario para dejar los recipientes llenos y perfectamente compactado el material dentro de los recipientes, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de aire atrapado entre el material a ensilar. Los recipientes con el material bien compactado, se taparon y sellaron con cinta adhesiva, asegurando firmemente la tapadera al envase de plástico, para evitar cualquier posibilidad de ingreso del aire al recipiente y al material. Después se identificaron todos los recipientes, con etiquetas de papel, con los datos de identificación del tratamiento depositado en cada recipiente de plástico (microsilos).

### **5.7 Obtención de las muestras de los microensilados**

De acuerdo con el periodo de ensilaje correspondiente a cada tratamiento, se abrieron los silos y, del centro de cada uno, se obtuvieron dos muestras de 500 g cada una. Estas se colocaron en bolsas de plástico, debidamente identificadas con los datos de cada tratamiento y se almacenaron

en un congelador horizontal TOR-REY® a -20°C durante 90 días, aproximadamente, periodo en que se reunieron todas las muestras de los tratamientos en estudio. Después se empacaron las muestras congeladas en hieleras con geles congelados, para conservarlas hasta ser entregadas al laboratorio, para realizarles los análisis correspondientes.

A cada muestra se le determinó: MS, PC, y C (AOAC, 2005); FDN y FDA (Van Soest *et al.*, 1991); contenido de CNF, restando de 100 los porcentajes de PC, FDN, grasa y C; EM, mediante las ecuaciones propuestas por la NRC para ganado lechero (NRC, 2001); digestibilidad *in vitro* a 72 h (Cobos *et al.*, 2006); concentración de AGVs y ácido láctico, por cromatografía de gases (Neir y Bonelli, 1969).

## 6. EXPERIMENTO I

### **Ensilaje de pencas de nopal tunero con cuatro tiempos de fermentación y cuatro concentraciones de pollinaza**

#### **Introducción**

Los desechos pecuarios, particularmente las excretas, se han utilizado en la alimentación animal, para reducir costos de alimentación, reciclar nitrógeno y aprovechar el contenido microbiano para los procesos de fermentación. Las excretas de ave (pollinaza y gallinaza) son subproductos pecuarios utilizados de manera extensiva en la preparación de alimentos para rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos), en especial en el proceso de engorda de bovinos, aunque también se han usado en épocas de sequía (Aulrich *et al.*, 2001; Bohnert *et al.*, 1999). Su empleo se basa en el alto contenido de proteína que poseen, aunque también aportan minerales y energía. La pollinaza adquiere su mayor valor económico cuando se utiliza como fuente proteica y suplemento mineral, en la dieta de novillos de engorda (Applegate *et al.*, 2009). Su valor comercial equivale a 25 o 30% del valor de la harina de soya, si se comparan los valores nutricionales de ambos productos, cuando se utilizan en dietas para novillos de engorda (Cook *et al.*, 2008).

La composición de la pollinaza depende de diversos factores: tipo de cama utilizada, tiempo de almacenamiento y porcentaje de humedad, entre

otros. Su contenido de proteína varía entre 20 y 35%, además es fuente importante de fósforo y calcio (Cooke y Fontenot, 1990). Se ha encontrado que los contenidos de drogas, pesticidas y aditivos alimenticios presentes en la pollinaza no llegan a provocar problemas de intoxicación en los animales que la consumen ni favorecen el contenido de residuos en sus tejidos. En forma comparativa, se considera que los insumos como el maíz pueden tener una mayor cantidad de pesticidas que la pollinaza, ya que estas sustancias se utilizan para la conservación de granos almacenados. Sin embargo, el empleo de excretas puede ocasionar problemas sanitarios y de salud pública para animales y los humanos, por su contenido elevado de bacterias y hongos. En las aves, la pollinaza puede diseminar coccidiosis e influenza aviar (Guan *et al.*, 2009). En el hombre ocasiona irritación de nariz, garganta, ojos y problemas respiratorios, además de otras afecciones. La transmisión de enfermedades aviares a los bovinos, a través del estiércol, no es común; al parecer no existen problemas graves relacionados con los residuos de drogas en el estiércol de aves de corral, con excepción del arsénico (Zhao *et al.*, 2010).

Ni la elevada presencia de microorganismos en las excretas, se considera un peligro para la salud de los rumiantes que la consumen, ya que la fermentación en el rumen resulta adversa para la supervivencia de microorganismos patógenos (Kumar *et al.*, 2012). En el Cuadro 1 se muestra la composición química de las excretas de aves, según la cantidad de material utilizado como cama.

**Cuadro 1. Composición química y nutricional de las excretas de aves según nivel de cama utilizado.**

Tipo de cama	Fracción (%)							ED Kcal kg <sup>-1</sup>
	MS	PC	EE	FC	Cenizas	C	P	
<i>Pollinaza</i>								
Bajo	63.3	13.1	1	15.9	10.2	1.63	0.9	
Alto	89.8	31	3.3	19.8	20.5	54	1.3	
Promedio	76.6	22.1	2.2	17.9	15.4	3.51	1.1	2 180
<i>Gallinaza</i>								
Bajo	30.8	17.8	2.1	10.6	22.4	5.4	2.1	
Alto	87.4	33.9	6.5	19.1	42.4	15.41	3.04	
Promedio	59.1	25.9	4.3	14.9	32.4	10.41	2.57	1 750

MS= materia seca PC= proteína cruda EE= extracto etéreo FC= fibra cruda ED = energía digestible. (Tomado de Ríos de Álvarez Leyla, 2005).

Además de los componentes nutricionales de la pollinaza, el alto contenido de amoníaco puede disminuir el peso de los animales y, si existen altos niveles de cobre, provocar toxicidad (Jackson *et al.*, 2003; Skrivan *et al.*, 2005). Esta variación tan amplia en la composición química plantea la necesidad de evaluar el recurso previo a su uso, con el fin de garantizar un mejor diseño de la estrategia alimenticia y, por ende, una mayor efectividad en sus resultados (Hunde *et al.*, 2012).

## **Materiales y métodos**

En este experimento se utilizó pollinaza como excreta pecuaria, la cual se mezcló con los demás ingredientes, de acuerdo con los tratamientos evaluados (Cuadro 2). La elaboración de los microensilados se describe en el apartado de materiales y métodos anterior. La composición de los tratamientos evaluados se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Ingredientes y tiempos de ensilaje de los tratamientos evaluados con pollinaza.**

Tratamiento	Ensilaje (días)	Pollinaza Nopal Rastrojo Melaza			
		(%)			
1	0	0	75	15	10
2	0	20	55	15	10
3	0	30	45	15	10
4	0	50	25	15	10
5	30	0	75	15	10
6	30	20	55	15	10
7	30	30	45	15	10
8	30	50	25	15	10
9	60	0	75	15	10
10	60	20	55	15	10
11	60	30	45	15	10
12	60	50	25	15	10
13	90	0	75	15	10
14	90	20	55	15	10
15	90	30	45	15	10
16	90	50	25	15	10

## Análisis estadístico

La información se analizó como un diseño factorial, usando el PROC MIXED de SAS (SAS Institute, 1998). El modelo para todos los análisis incluyó los efectos principales del Factor “A”, tiempo de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días); Factor “B”, contenido de pollinaza (0, 20, 30, 50%) y la interacción tiempo de ensilaje x contenido de pollinaza. Se determinó la estructura de covarianza apropiada para cada variable, probando diferentes estructuras y eligiendo como la mejor aquella que proporcionó el valor más bajo de los estadísticos de prueba. Los datos se expresaron como medias de mínimos cuadrados  $\pm$  EEM. El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A B)_{ij} + E_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 4; k = 1, \dots, 4$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : variable de respuesta observada con el  $i$ -ésimo nivel del Factor  $A$  (tiempo de ensilaje),  $j$ -ésimo nivel del Factor  $B$  (concentración de pollinaza);  $\mu$  es el efecto de la media general;  $i$ , es el  $i$ -ésimo nivel del Factor  $A$ ;  $j$ , es el  $j$ -ésimo nivel del Factor  $B$ ;  $ij$ - es el efecto de la interacción en el  $i$ -ésimo nivel del Factor  $A$  y  $j$ -ésimo nivel del Factor  $B$ ;  $\epsilon_{ijk}$  es el efecto del error experimental.

## **Resultados y discusión**

A continuación se muestran los resultados de las variables bromatológicas (Cuadro 3).

### **Materia seca (MS)**

Se observa que la MS disminuyó (43.15 a 39.79%) al incrementar el tiempo de ensilaje, de 0 a 30 días, y aumentó (27.54, 39.25, 43.01 y 52.04 %) al incrementar el porcentaje de pollinaza en el ensilado (0, 20, 30 y 50%). La pérdida de MS pudo deberse a la fermentación aeróbica que se produce en las primeras etapas del ensilaje, donde se lleva a cabo la oxidación de los azúcares, a través del ciclo de los ácidos tricarbónicos, produciéndose CO<sub>2</sub> y agua (Schroeder, 2004; Kunkle *et al.*, 2006) y el incremento se debió al efecto de sustitución de pencas de nopal tunero, con 18% de MS, por pollinaza, con 84.7% de MS (Ríos *et al.* 2005). Los tratamientos con 20% de pollinaza y 30, 60 y 90 días de ensilaje, aportaron los mejores ensilados en contenido de MS, pues valores superiores a 35%, se consideran de buena calidad (Cañique y Sancha, 1998).

### **Proteína cruda (PC)**

Con el tiempo de ensilaje, la PC aumentó significativamente ( $p < 0.0001$ ), de 14.88% a 15.82%, en 30 días de ensilaje; después, no se observaron cambios significativos con 60 y 90 días de ensilaje. La mayoría de

las investigaciones indican la disminución del contenido de PC en el proceso de ensilaje, como efecto de los procesos respiratorios y la actividad proteolítica de las enzimas vegetales en las primeras horas del ensilaje (24 a 72 h), donde la proteína se degrada a nitrógeno no proteico, como aminos y amoniaco. Sin embargo, Mülbach (2001) menciona que al agregar aditivos de nitrógeno no proteico (NPN), especialmente urea, a forrajes con valores altos en MS, puede aumentar el contenido de PC y puede mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje en el momento de ser abierto.

Al incrementar el porcentaje de pollinaza (0, 20, 30 y 50%), la PC, aumentó (4.28, 15.42, 18.88 y 23.95%) ( $p < 0.0001$ ), debido al mayor contenido de proteína de la pollinaza (31.3%) respecto a las pencas de nopal (4.20%) (Torres-Sales 2010).

### **Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)**

Con el tiempo de ensilaje, la FDA no mostró respuesta constante, ya que sus valores fueron iguales ( $p > 0.0001$ ) en 0 y 90 días de fermentación. El contenido de FDN, en cambio, disminuyó significativamente ( $p < 0.0001$ ) en 60 y 90 días (37.83% y 38.36). Estos resultados pueden deberse a la hidrólisis de la hemicelulosa que ocurre durante el proceso fermentativo del ensilaje, en el cual se liberan pentosas que pueden fermentarse en ácido láctico y acético (McDonald *et al.*, 2002).

Con el incremento del porcentaje de pollinaza, la FDA (45.13, 38.49, 36.80 y 37.25) y la FDN (45.13, 38.49, 36.80 y 37.25) disminuyeron; esto pudo deberse al contenido de nitrógeno de la pollinaza, que hace que las fermentaciones duren más tiempo y, por lo tanto, se consuma mayor cantidad de energía en el proceso (Contreras *et al.*, 2009). McDonald (1981) menciona que durante el ensilaje la fibra puede sufrir reducciones por solubilización; este efecto se ve favorecido en ambientes con pH alto o por presencia de enzimas.

Existen reportes de una correlación negativa entre las fibras (FDN Y FDA) y el consumo y digestibilidad de la materia seca (Mertens, 1992).

### **Carbohidratos no fibrosos (CNF)**

Con el aumento del tiempo de ensilaje y el porcentaje de pollinaza (0 a 90 días), el contenido de CNF disminuyó, de 27.15 a 24.41% ( $p < 0.0001$ ) posiblemente por ser la principal fuente de energía para los microorganismos del rumen y debido al proceso de fermentación, son transformados en ácido láctico y acético, principalmente (Kunkle *et al.*, 2006). Su escasez en el ensilado es indicador de una correcta fermentación láctica, que transforma los azúcares presentes en el forraje y contribuye a la reducción del pH y a la estabilidad del ensilado (De la Roza, 2005).

## **Cenizas (C)**

Por efecto del tiempo de ensilaje, se encontró un incremento significativo ( $p < 0.0001$ ) en la concentración de cenizas de 15.14 a 15.97% durante los primeros 30 días de ensilaje, coincidente con la reducción de MS observada en el mismo tiempo, lo que podría deberse al cambio en las proporciones de materia orgánica (MO) y cenizas, ocasionado por la pérdida de MO utilizada en la fermentación microbiana. En los siguientes períodos de ensilaje (60 y 90 días), no se presentaron cambios significativos. De igual forma, el contenido de cenizas se incrementó, conforme se aumentó el porcentaje de pollinaza, pasando de 13.40 a 15.42, 16.44 y 17.38%, para 0, 20, 30 y 50 % de pollinaza, respectivamente. Esta respuesta se debió al mayor contenido de cenizas de la pollinaza (15.40%), respecto a la mezcla de ingredientes sin pollinaza (13.40%), (Rios *et al.*, 2005).

## **Energía metabolizable (EM)**

La EM se incrementó de 2.14 a 2.20 Mcal kg<sup>-1</sup> por efecto del tiempo de ensilaje de 60 días, sin cambios significativos después de este periodo de ensilaje. También aumento la EM por efecto de la inclusión de pollinaza, pasando de 2.02 a 2.23 Mcal kg<sup>-1</sup>, al adicionarle 50% de pollinaza. Entre los tratamientos con pollinaza (20, 30 y 50%), no se observaron cambios significativos debidos a la concentración de pollinaza. Dichos resultados pueden deberse al incremento del contenido de CNF, que son la principal

fuente de energía para los microorganismos que están involucrados en el proceso de ensilaje (Kunkle *et al.*, 2006), otras causas importantes podrían ser la degradación de la FDN y la FDA, y a la producción de los AGV's, (Ashbell *et al.* 2002).

**Cuadro 3. Valores promedio de variables bromatológicas de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.**

Ensilaje (días)	MS	PC	FDA	FDN	CNF	EM
	Mcal kg <sup>-1</sup>					
	(%)					
0	43.15 <sup>a</sup>	14.88 <sup>b</sup>	25.49 <sup>ab</sup>	41.78 <sup>a</sup>	27.15 <sup>a</sup>	2.14 <sup>b</sup>
30	39.79 <sup>b</sup>	15.82 <sup>a</sup>	26.10 <sup>a</sup>	40.41 <sup>a</sup>	26.50 <sup>a</sup>	2.14 <sup>b</sup>
60	39.55 <sup>b</sup>	15.81 <sup>a</sup>	24.49 <sup>b</sup>	37.83 <sup>b</sup>	25.13 <sup>b</sup>	2.20 <sup>a</sup>
90	39.36 <sup>b</sup>	16.02 <sup>a</sup>	25.56 <sup>ab</sup>	38.36 <sup>b</sup>	24.41 <sup>b</sup>	2.19 <sup>a</sup>
EE	0.50	0.06	0.27	0.39	0.23	0.01
Pollinaza (%)						
0	27.54 <sup>d</sup>	4.28 <sup>d</sup>	30.50 <sup>a</sup>	45.13 <sup>a</sup>	32.26 <sup>a</sup>	2.02 <sup>b</sup>
20	39.25 <sup>c</sup>	15.42 <sup>c</sup>	24.58 <sup>b</sup>	38.49 <sup>b</sup>	29.34 <sup>b</sup>	2.20 <sup>a</sup>
30	43.01 <sup>b</sup>	18.88 <sup>b</sup>	24.21 <sup>b</sup>	36.80 <sup>c</sup>	26.02 <sup>c</sup>	2.21 <sup>a</sup>
50	52.04 <sup>a</sup>	23.95 <sup>a</sup>	22.41 <sup>c</sup>	37.25 <sup>bc</sup>	20.56 <sup>d</sup>	2.23 <sup>a</sup>
EE	0.50	0.06	0.27	0.39	0.23	0.01

MS= materia seca; PC= proteína cruda; FDA= fibra detergente ácida; FDN= fibra detergente neutra; CNF= carbohidratos no fibrosos; EM= energía metabolizable.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de las variables fermentativas.

**Cuadro 4. Valores promedio de variables fermentativas medidas durante el proceso de ensilaje de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.**

Ensilaje (días)	pH	Ácidos (mM)			
		Láctico	Acético	Propiónico	Butírico
0	6.29 <sup>a</sup>	0.03 <sup>d</sup>	2.33 <sup>c</sup>	0.32 <sup>c</sup>	0.00
30	5.00 <sup>b</sup>	7.01 <sup>c</sup>	3.59 <sup>b</sup>	0.33 <sup>c</sup>	0.00
60	4.48 <sup>c</sup>	8.34 <sup>b</sup>	3.38 <sup>b</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.00
90	4.55 <sup>c</sup>	9.73 <sup>a</sup>	4.86 <sup>a</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.00
EE	0.27	0.18	0.29	0.30	0.00
Pollinaza (%)					
0	4.37 <sup>d</sup>	2.63 <sup>d</sup>	1.28 <sup>d</sup>	0.01 <sup>d</sup>	0.00
20	4.87 <sup>c</sup>	6.16 <sup>c</sup>	3.11 <sup>c</sup>	0.14 <sup>c</sup>	0.00
30	5.35 <sup>b</sup>	8.38 <sup>a</sup>	4.21 <sup>b</sup>	0.51 <sup>b</sup>	0.00
50	5.75 <sup>a</sup>	7.71 <sup>b</sup>	5.55 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	0.00
EE	0.27	0.18	0.29	0.30	0.00

### **pH**

Se observa que el pH disminuyó de 6.29 a 5.0 y 4.48, en 30 y 60 días de ensilaje, permaneciendo sin cambios significativos al incrementarse el tiempo

hasta 90 días. La disminución del pH se debió a la acción de las bacterias homofermentativas, las cuales transforman los azúcares en ácido láctico y este ayuda a bajar el pH rápidamente; el menor valor de pH se observó en 60 días (4.48), lo que coincide con el de pH de estabilización reportado para procesos de ensilaje (Cañique y Sancha, 1998). Sin embargo, al aumentar el porcentaje de pollinaza en la mezcla (20, 30 y 50%), el pH se incrementó significativamente ( $p < 0.0001$ ), de 4.37 a 5.7%, debido al contenido de nitrógeno, cada vez mayor con la inclusión de pollinaza, incrementando el poder amortiguador de la mezcla (Bohner *et al.*, 1999).

### **Producción de ácido láctico y acético durante el ensilaje**

Conforme transcurrió el tiempo de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días), el ácido láctico se incrementó (0.03, 7.01, 8.34, 9.73 mM), al igual que el ácido acético (2.33, 3.59, 3.38 y 4.86 mM). Esto se debió a la acción de las bacterias productoras de ácido láctico y acético, las cuales disminuyen el pH e incrementan la acidez del ensilaje. Al mismo tiempo, las bacterias productoras de ácido láctico se multiplican rápidamente y tienden a dominar la fermentación, disminuyendo aún más el pH (alrededor de 4), de manera que se inhibió el crecimiento microbiano, con lo que se obtuvieron condiciones óptimas para la preservación del forraje (Cai *et al.*, 2012). El mismo comportamiento se observó al aumentar el porcentaje de pollinaza de 0 a 50%, incrementándose el ácido acético, de 1.28 a 5.55 mM. En el caso del ácido

láctico, al pasar de 30 a 50% de pollinaza, se redujo su concentración a 7.71 mM. Al respecto, Contreras *et al.* (2009) mencionan que el elevado contenido de compuestos nitrogenados de la pollinaza al transformarse en amoníaco van neutralizando los ácidos orgánicos que se producen en el proceso de ensilaje y hacen que las fermentaciones duren más tiempo, y por lo tanto, se consuma mayor cantidad de azúcares. Así mismo, indican que el contenido de etanol y ácido acético en ensilajes se atribuye al predominio de las bacterias heterofermentativas al inicio de la fermentación; así, en los silos con aditivos, al poseer un pH más elevado, este tipo de bacterias formadoras de estas sustancias resultan menos inhibidas que en los silos sin aditivos, los cuales tienen pH más ácido.

### **Producción de ácido propiónico durante el ensilaje**

La concentración del ácido propiónico se mantuvo sin cambios significativos hasta 30 días de ensilaje, después en 60 días se observó un incremento significativo, pasando de 0.32 a 0.71 mM; mientras que al aumentar la concentración de pollinaza. (0, 20, 30 y 50%), se fue incrementando la concentración de este, pasando de 0.01 a 0.14, 0.51 y finalmente a 1.17 mM. Su presencia se debe a la degradación que han sufrido las materias nitrogenadas y pueden alcanzar, en ensilados de mala calidad, valores de 15 g kg<sup>-1</sup> de MS (Hassan y Nelson, 2012).

## **Producción de ácido butírico durante el ensilaje**

No se detectó la presencia de ácido butírico, dado que procede de la fermentación producida por las bacterias butíricas y, constituye un buen indicador, tanto de la calidad de un ensilado, como de su estabilidad de este, no debiendo aparecer más que en trazas, en un buen ensilado (Kung *et al.*, 2000). Su presencia indica la calidad de la conservación (Queiroz *et al.*, 2012).

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de las variables de digestibilidad *in vitro* a 72 h, producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales.

## **Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)**

Se observan los cambios en la DIVMS, presentando un aumento ( $p < 0.0001$ ) al día 30 y 60 de ensilaje (40.33 y 46.42%), correspondiendo con la disminución de FDN, Al respecto Xu *et al.* (2007) indican que el contenido de la pared celular de los alimentos condiciona el valor de la DIVMS de los alimentos. La actividad de la flora celulolítica disminuye considerablemente cuando los valores de pH se encuentran entre 6.3 y 6.0, y sufre una reducción drástica al alcanzar valores inferiores a 6.0 (Stewart, 1977). Por otra parte, la ración ingerida por los animales empleados como donantes se ha señalado como uno de los principales factores que afectan al número y actividad de los

microorganismos ruminales y que, consecuentemente, pueden afectar a los valores de la DIVMS de los alimentos (Weiss, 2009).

**Cuadro 5. Valores promedio de la digestibilidad *in vitro* a 72 h, producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales, de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza.**

Ensilaje (días)	DIVMS	Ácidos grasos volátiles (mM)			Bacterias (UFC ml <sup>-1</sup> )
		Acético	Propiónico	Butírico	
0	38.54 <sup>c</sup>	42.16 <sup>c</sup>	29.35 <sup>b</sup>	13.33 <sup>c</sup>	3034.20 <sup>a</sup>
30	40.33 <sup>b</sup>	53.18 <sup>a</sup>	35.46 <sup>a</sup>	20.97 <sup>b</sup>	2966.70 <sup>a</sup>
60	46.42 <sup>a</sup>	48.07 <sup>b</sup>	31.72 <sup>b</sup>	26.36 <sup>a</sup>	2013.30 <sup>b</sup>
90	47.82 <sup>a</sup>	44.25 <sup>c</sup>	35.28 <sup>a</sup>	19.30 <sup>b</sup>	1400.00 <sup>c</sup>
EE	0.43	0.81	0.67	0.81	159.42
Pollinaza (%)					
0	38.98 <sup>c</sup>	40.79 <sup>c</sup>	25.42 <sup>c</sup>	20.11 <sup>a</sup>	1840.0 <sup>b</sup>
20	43.68 <sup>b</sup>	46.19 <sup>b</sup>	33.16 <sup>b</sup>	22.62 <sup>a</sup>	2487.5 <sup>a</sup>
30	45.05 <sup>ab</sup>	49.81 <sup>a</sup>	36.38 <sup>a</sup>	18.19 <sup>b</sup>	2486.7 <sup>a</sup>
50	45.41 <sup>a</sup>	50.81 <sup>a</sup>	36.85 <sup>a</sup>	19.06 <sup>b</sup>	2600.0 <sup>a</sup>
EE	0.43	0.81	0.67	0.81	159.42

DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

### **Producción de ácido acético durante la DIVMS**

La mayor producción de ácido acético se observó en los tratamientos ensilados durante 30 días (53.18 mM) y con 30 y 50% de pollinaza, disminuyendo en los tratamientos con 60 y 90 días (48.07 y 44.25 mM), y con 0 y 20% de pollinaza (38.98 y 43.68 mM). Al respecto, Hildebrand *et al.* (2011) indican que la proporción molar de ácido acético se incrementa, entre 60 y 75%, cuando se suministran raciones a base de forraje y este es finamente picado.

### **Producción de ácido propiónico durante la DIVMS**

La concentración mayor de ácido propiónico se encontró en los tratamientos con 30 y 90 días de ensilaje (35.46 y 35.28 mM) y 30 y 50% de pollinaza (36.38 y 36.85 mM). El aumento en ácido propiónico se observa cuando la cantidad de concentrado es elevada y su composición es a base de granos con gran cantidad de almidón (Allen y Ying, 2012).

### **Producción de ácido butírico durante la DIVMS**

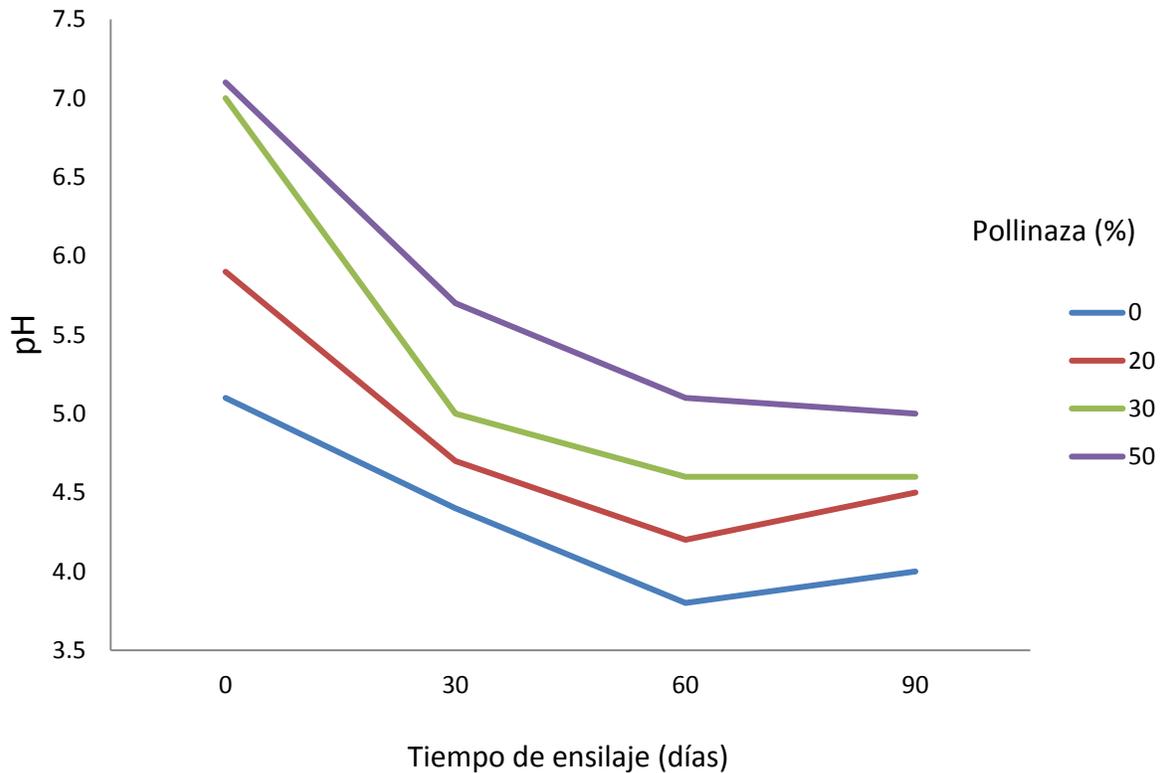
El ácido butírico se produjo en mayor cantidad en los tratamientos con 30 y 60 días de ensilaje (20.97 y 26.36 mM) y con la adición de pollinaza (20, 30 o 50%) sin cambios significativos entre estos tratamientos que incluyeron pollinaza. Generalmente, la adición de concentrados a las raciones a base de forraje causa la disminución del ácido acético, que es compensada con un aumento del ácido propiónico o butírico y es posible aumentar la producción de

ácido butírico hasta 25 o 35% de los AGV totales, utilizando raciones con alto contenido de melaza y urea (Adesogan *et al.*, 2003).

### **Conteo de bacterias totales**

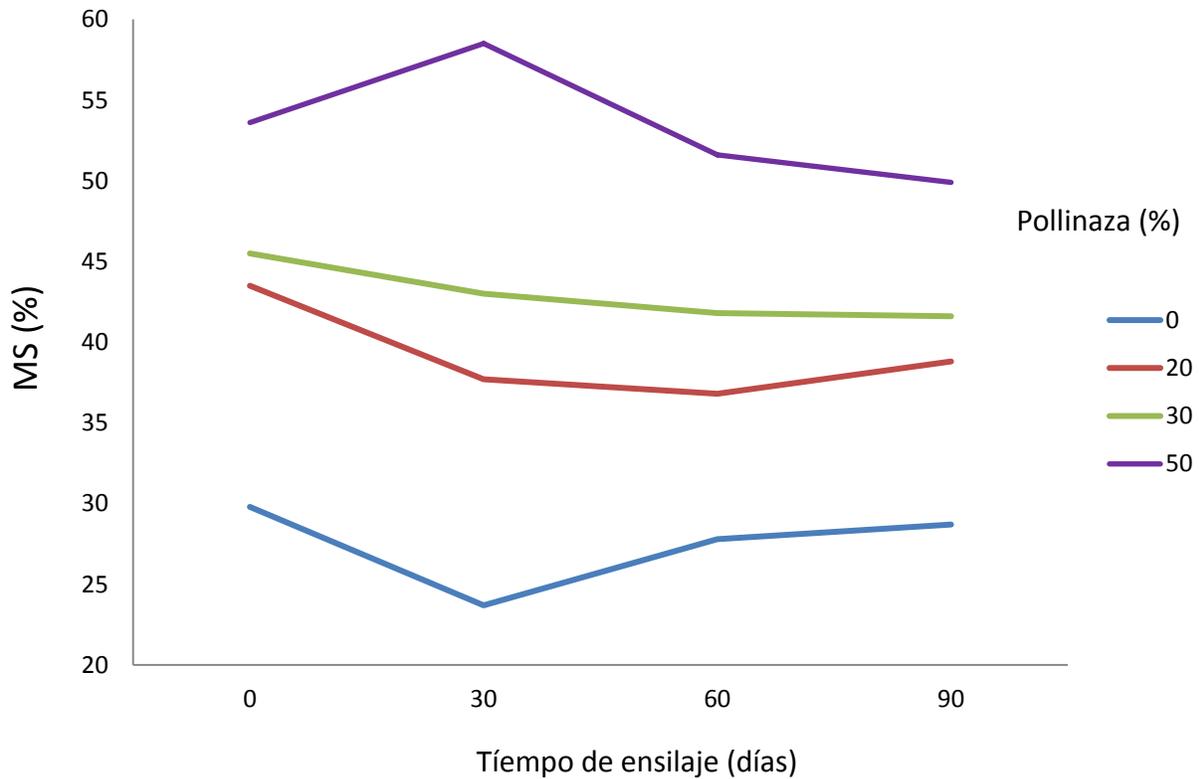
La cantidad de bacterias totales encontradas fue mayor en los tratamientos con menor tiempo de ensilaje (0 y 30 días), cuantificándose 3034.20 y 2966.70 UFC mL<sup>-1</sup> y en los que incluyeron 20, 30 y 50% de pollinaza (2487.5, 2486.7 2600.0 (UFC mL<sup>-1</sup>), sin cambios significativos entre estos. Tal vez porque las bacterias homofermentativas tienden a desaparecer paulatinamente, una vez que el ensilado alcanza su estabilidad, en términos de pH (Contreras *et al.*, 2009).

La Figura 1 muestra el descenso del pH en todos los tratamientos, conforme transcurrió el tiempo de ensilaje. Los tratamientos sin pollinaza se estabilizaron en 30 días (pH 4.4); los que contuvieron 20% de pollinaza, en 45 días; los tratamientos con 30% de pollinaza, en 90 días y los tratamientos con 50% de pollinaza no llegaron al pH de estabilización. Aun cuando el pH descendió en todos los tratamientos, se observó que los tratamientos con mayor contenido de pollinaza, iniciaron el proceso de ensilaje con un pH mayor, en consecuencia, no lograron descender hasta el pH de estabilización (4.5) durante los 90 días que duró el proceso de ensilaje.



**Figura 1. Valores de pH como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

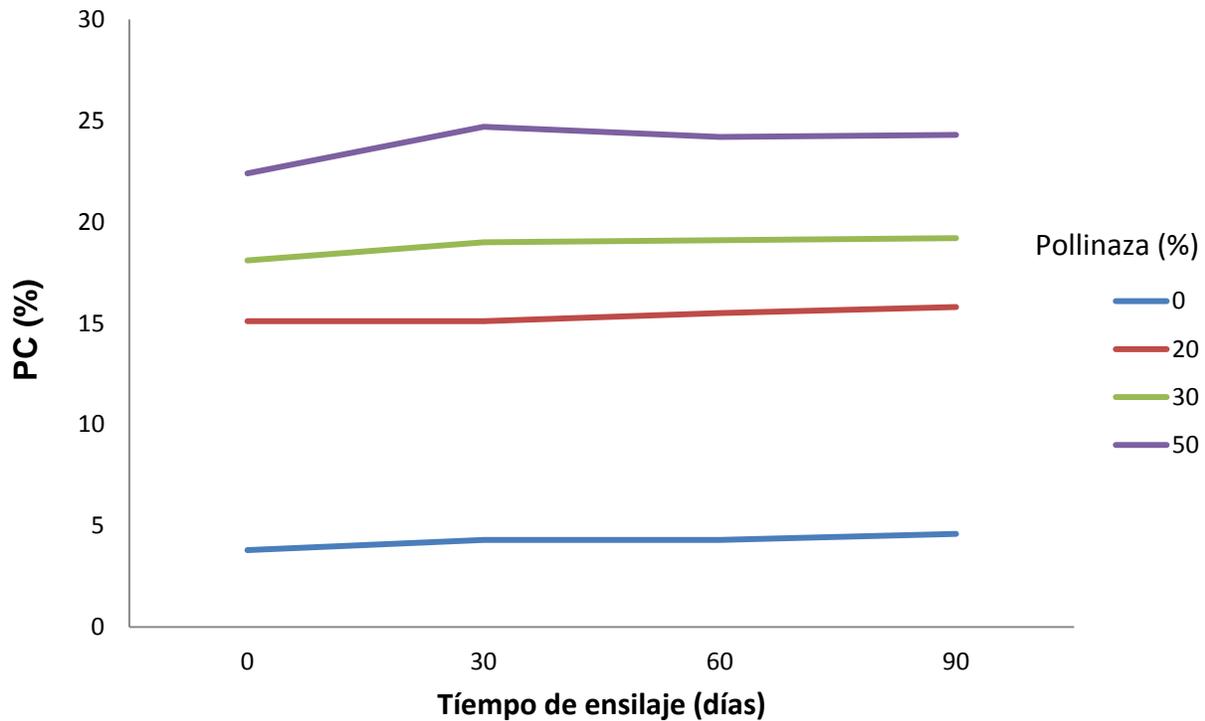
En la Figura 2 se observa que los tratamientos con 50% de pollinaza, presentaron incrementos de materia seca a partir de 30 días de ensilaje, mientras que en los tratamientos sin pollinaza, la MS disminuyó. Los tratamientos con 30% de pollinaza disminuyeron en 4% su contenido de MS en 90 días de ensilaje. Los mejores tratamientos, en cuanto al contenido de MS, fueron los que incluyeron 20% de pollinaza con 60 días de ensilaje; seguidos de los tratamientos con 30% de pollinaza y con 90 días de ensilaje.



**Figura 2. Porcentaje de materia seca (MS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 3 se aprecia que los tratamientos con 0% de pollinaza tuvieron los menores contenidos de PC, presentando un incremento de 0.5 en 30 días de ensilaje. La proteína cruda fue mayor para los tratamientos con mayor contenido de pollinaza. En los tratamientos con 50% de pollinaza se incrementó la PC en 5% de 0 a 30 días de ensilaje. En los tratamientos con 30% de pollinaza, la PC se redujo en 0.9% en 30 días de ensilaje. En los tratamientos con 20% de pollinaza la PC no se incrementó en 30 días de

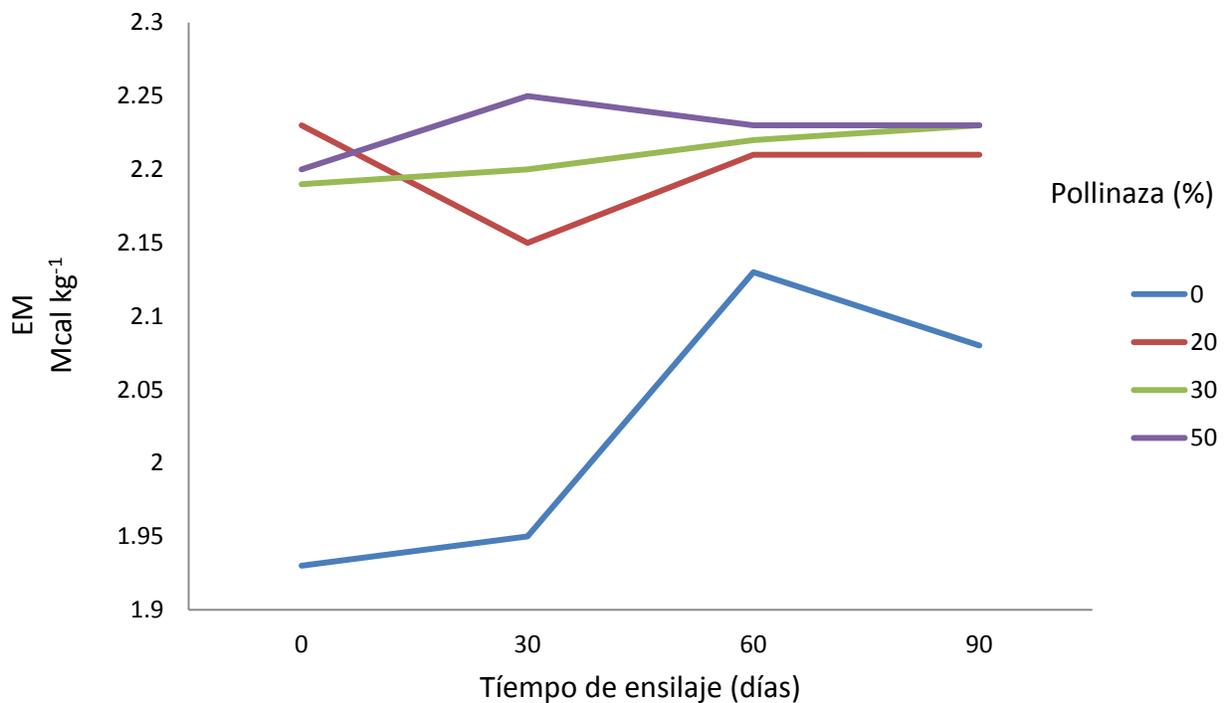
ensilaje, sin embargo a partir de 60 días, incremento la PC en 0.45%, y en 90 días de ensilaje, se incremento en 0.7%.



**Figura 3. Porcentaje de proteína cruda (PC) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

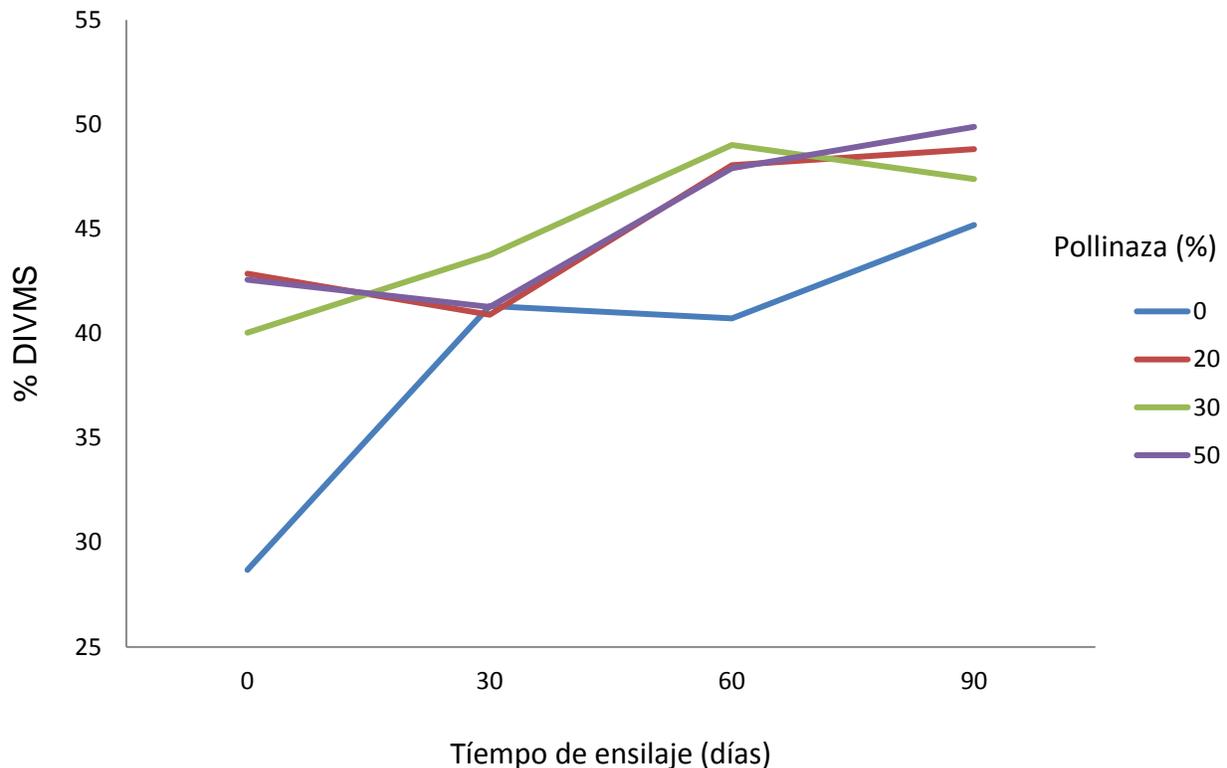
En la Figura 4 se observa que al inicio del proceso de ensilaje, los tratamientos sin pollinaza tenían el menor contenido de EM ( $1.93 \text{ Mcalkg}^{-1}$ ), mientras que, los tratamientos con pollinaza tenían entre  $2.20$  y  $2.23 \text{ Mcalkg}^{-1}$  de EM. En los tratamientos con 0% de pollinaza, la energía incrementó a  $2.13$

Mcal kg<sup>-1</sup> en 30 y 60 días de ensilaje, posteriormente se redujo a 2.08 Mcal kg<sup>-1</sup> en 90 días de ensilaje. En los tratamientos con 20% de pollinaza, la EM se redujo 0.8 Mcal kg<sup>-1</sup>. En los tratamientos con 30% de pollinaza, la EM mostro un comportamiento casi constante durante todo el proceso de ensilaje (de 0 a 90 días).



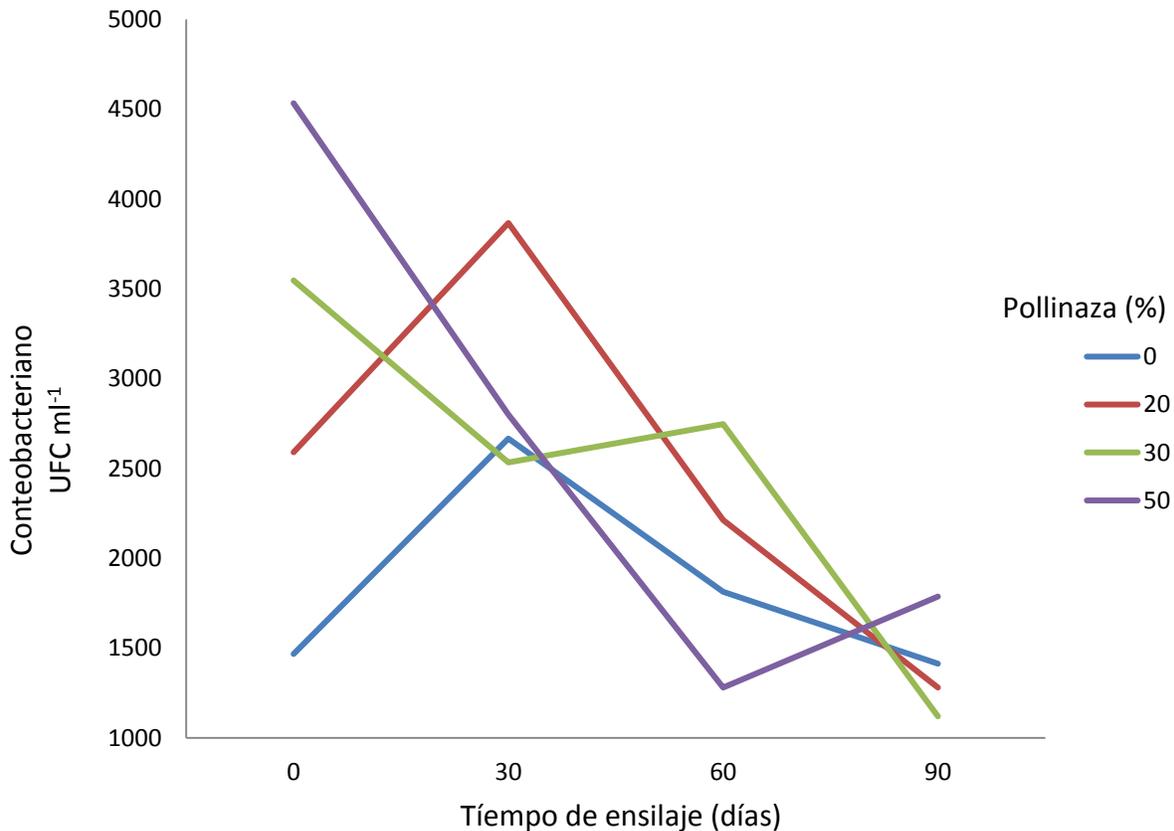
**Figura 4. Concentración de energía metabolizable (EM Mcal kg<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 5 se observa que durante el proceso de ensilaje (de 0 a 90 días), la digestibilidad se incrementó en todos los tratamientos. En los tratamientos sin pollinaza, la digestibilidad mostro el mayor incremento, pasando de 28.69 a 41.32% en 30 días de ensilaje. En los tratamientos con 50 y 20% de pollinaza, la digestibilidad incremento a partir de 30 días de ensilaje y su comportamiento fue similar durante todo el proceso de ensilaje. El mejor tratamiento, respecto a la DIMS, fue el que incluyó 30% de pollinaza con 60 días de ensilaje.



**Figura 5. Porcentaje de digestibilidad in vitro de materia seca (%DIVMS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 6 se observa que las concentraciones de bacterias totales (UFC mL<sup>-1</sup>), aumentaron, conforme se incrementó el porcentaje de pollinaza, en los ensilados. Los tratamientos con 0 y 30% de pollinaza incrementaron la concentración de bacterias totales hasta 30 días de ensilaje; posteriormente decrecieron. Los tratamientos con 30% de pollinaza presentaron una reducción en la concentración de bacterias totales, hasta el día 30 de ensilaje, y los tratamientos con 50% de pollinaza disminuyeron su concentración de bacterias totales hasta el día 60 de ensilaje.



**Figura 6. Conteo bacteriano (UFC ml<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de pollinaza de ensilados con pencas de nopal tunero.**

## **Conclusiones**

La pérdida de MS por efecto del tiempo de ensilaje fue de 3.5%, lo que se considera normal en un proceso de ensilaje bien realizado. Los tratamientos con mayor porcentaje de pollinaza, tuvieron mayores contenidos de MS, al sustituir a las pencas de nopal.

La proteína cruda disminuyó en 1%, por efecto del tiempo de ensilaje, durante los primeros 30 días de ensilaje, posteriormente se mantuvo sin cambios significativos, sin embargo, al incrementarse la concentración de pollinaza, la PC aumentó hasta 23.95%.

La FDA, la FDN y los CNF disminuyeron al incrementar el tiempo de ensilaje y la concentración de pollinaza en la mezcla ensilada.

El contenido de cenizas se mantuvo sin cambios, por efecto del tiempo de ensilaje y aumentó cada vez que se incrementó la concentración de pollinaza en los ensilados.

La EM se incrementó a partir de 60 días de ensilaje y fue mayor en los tratamientos a los que se les adicionó pollinaza, en comparación con aquellos que no tuvieron pollinaza.

La estabilización del ensilado, en términos de pH, se logró a partir 60 días de ensilaje (pH 4.48), para los tratamientos con 0 y 20% de pollinaza; los tratamientos con 30 y 50% de pollinaza, no alcanzaron el valor de estabilización de pH (4.5).

La producción de ácido láctico se incrementó a partir de 30 días de ensilaje y se encontró en mayor cantidad en los tratamientos con 30% de pollinaza.

La concentración de ácido acético se incrementó conforme transcurrió el tiempo de ensilaje; el valor más alto (4.86 mM) se encontró en los tratamientos con 90 días de ensilaje; el mismo comportamiento se observó conforme se incrementó el contenido de pollinaza, los tratamientos con 50% de pollinaza fueron los que alcanzaron la máxima concentración (5.55 mM).

En el día 60 de ensilaje, se observó la mayor concentración de ácido propiónico (0.71 mM) por efecto del tiempo de ensilaje. Respecto al contenido de pollinaza, los tratamientos con 50%, mostraron el mayor valor (1.17 mM).

La DIVMS fue mayor en los tratamientos con 90 días de ensilaje (47.82%) y con 50% de pollinaza (45.41%).

La mayor concentración de AGV durante la DIVMS, se observó en los tratamientos con 30 y 60 días de ensilaje y en los tratamientos que incluyeron pollinaza, sin presentarse cambios debidos a la cantidad de pollinaza.

La concentración total de bacterias fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo de ensilaje, pasando de 3034.2 a 1400 UFC mL<sup>-1</sup> en 90 días; esta cantidad fue mayor en los tratamientos con mas pollinaza (50%).

## **7. EXPERIMENTO II**

### **Ensilaje de pencas de nopal tunero con cuatro tiempos de fermentación y cuatro concentraciones de estiércol bovino**

#### **Introducción**

El estiércol es el resultado de la fermentación anaeróbica de los residuos alimenticios no utilizados por el rumiante que ocurre en el intestino. Esta fermentación sintetiza una parte de la proteína que se desperdicia junto con parte de la energía no aprovechada (Hassan y Nelson, 2012; Le *et al.*, 2010).

En México, se estima que se producen 56 mil toneladas de estiércol por día, cifra que lo coloca entre los desechos pecuarios de mayor volumen en el país (Sagarpa, 2012a). Su análisis bromatológico muestra que el contenido promedio de nitrógeno soluble es de 70%, del cual 20% está en forma de proteína y 30% en forma de urea y amoníaco; la proteína está compuesta principalmente por microorganismos. El crecimiento bacteriano del estiércol está limitado por la escasez de carbohidratos, por lo que es importante adicionarle una fuente extra que corrija estas deficiencias (Weiss *et al.*, 2009). Los estudios de fermentación anaerobia del estiércol reportan que este tipo de fermentación aumenta la cantidad de proteína cruda hasta en 70% y un incremento neto en aminoácidos de 20% (Braun *et al.*, 2003; Miller y Varel, 2002). La reutilización del estiércol es una de las formas de crear proteína comestible a partir de material residual que se elimina en forma antieconómica

y genera serios problemas ambientales por la emisión de metano y dióxido de carbono (Aguerre *et al.*, 2011). El estiércol fresco no parece contener productos tóxicos; a menos de que se deje pudrir, algunos parásitos y enfermedades pueden propagarse con este residuo; el peligro es menor cuando este se prepara en forma de ensilaje, lo que también ocurre con el calentamiento y la cocción (Wilkes *et al.*, 2011).

La composición química del estiércol varía, según las referencias de diferentes autores; Alvin (1971) recopiló algunos valores reportados y sugiere la siguiente composición: humedad, 68-80%; nitrógeno, 0.5-1.0%; potasio, 0.2-0.9%. En estudios recientes se realizaron evaluaciones de fósforo orgánico e inorgánico en muestras de estiércol de diferentes especies pecuarias y se encontraron niveles de fósforo disponibles de 34 a 100%, por lo cual su manejo debe supervisarse (Pagliari y Laboski, 2012).

Aguerre *et al.* (2012) realizaron estudios sobre el efecto del contenido de nitrógeno y paja adicional, en la composición química, las pérdidas volátiles y las emisiones de amoníaco del estiércol lechero, durante el almacenamiento a largo plazo, y reportaron valores de nitrógeno orgánico de 20 y 29 %.

## **Materiales y métodos**

En este experimento se utilizó estiércol bovino como excreta pecuaria, el cual se mezcló con los demás ingredientes, de acuerdo con los tratamientos evaluados. La elaboración de los microensilados se describe en el apartado de

materiales y métodos general. La composición de los tratamientos evaluados se presenta en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Ingredientes y tiempos de ensilaje de los tratamientos evaluados con estiércol bovino.**

Tratamiento	Ensilaje	Estiércol	Nopal	Rastrojo	Melaza
	(días)	(%)			
1	0	0	75	15	10
2	0	20	55	15	10
3	0	30	45	15	10
4	0	50	25	15	10
5	30	0	75	15	10
6	30	20	55	15	10
7	30	30	45	15	10
8	30	50	25	15	10
9	60	0	75	15	10
10	60	20	55	15	10
11	60	30	45	15	10
12	60	50	25	15	10
13	90	0	75	15	10
14	90	20	55	15	10
15	90	30	45	15	10
16	90	50	25	15	10

## Análisis estadístico

La información se analizó como un diseño factorial, usando el PROC MIXED de SAS (SAS Institute, 1998). El modelo para todos los análisis incluyó los efectos principales del Factor “A”, tiempo de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días) el Factor “B”, contenido de estiércol bovino (0, 20, 30, 50%) y la interacción tiempo de ensilaje x contenido de estiércol bovino. Se determinó la estructura de covarianza apropiada para cada variable, probando diferentes estructuras y eligiendo como la mejor aquella que proporcionó el valor más bajo de los estadísticos de prueba. Los datos se expresaron como medias de mínimos cuadrados  $\pm$  EEM.

El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A B)_{ij} + E_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 4; k = 1, \dots, 4$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : variable respuesta observada con el  $i$ -ésimo nivel del Factor A (tiempo de ensilaje),  $j$ -ésimo nivel del Factor B (contenido de estiércol bovino);  $\mu$  es el efecto de la media general;  $i$ , es el  $i$ -ésimo nivel del factor A;  $j$ , es el  $j$ -ésimo nivel del factor B;  $ij$ , es el efecto de la interacción en el  $i$ -ésimo nivel del Factor A y  $j$ -ésimo nivel del factor B;  $\epsilon_{ijk}$ , es el efecto del error experimental.

## Resultados y discusión

Los resultados de las variables bromatológicas se muestran en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Valores promedio de variables bromatológicas de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino.**

Ensilaje (días)	MS	PC	FDA	FDN	CNF	EM
	(%)					Mcal kg <sup>-1</sup>
0	36.16 <sup>a</sup>	7.17 <sup>b</sup>	36.91 <sup>a</sup>	51.97 <sup>a</sup>	26.74 <sup>a</sup>	1.64 <sup>a</sup>
30	37.89 <sup>a</sup>	7.31 <sup>ab</sup>	37.94 <sup>a</sup>	51.44 <sup>a</sup>	25.94 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>ab</sup>
60	38.16 <sup>a</sup>	7.19 <sup>b</sup>	37.72 <sup>a</sup>	51.37 <sup>a</sup>	25.09 <sup>bc</sup>	1.59 <sup>ab</sup>
90	38.45 <sup>a</sup>	7.51 <sup>a</sup>	38.03 <sup>a</sup>	49.49 <sup>b</sup>	24.06 <sup>c</sup>	1.58 <sup>b</sup>
EE	0.35	0.05	0.37	0.35	0.31	0.01
Estiércol bovino (%)						
0	28.27 <sup>d</sup>	4.75 <sup>d</sup>	29.05 <sup>d</sup>	42.77 <sup>d</sup>	36.64 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>
20	35.88 <sup>c</sup>	6.94 <sup>c</sup>	37.76 <sup>c</sup>	50.13 <sup>c</sup>	26.10 <sup>b</sup>	1.62 <sup>b</sup>
30	40.04 <sup>b</sup>	8.11 <sup>b</sup>	39.26 <sup>b</sup>	53.25 <sup>b</sup>	22.10 <sup>c</sup>	1.50 <sup>c</sup>
50	46.4 <sup>a</sup>	9.37 <sup>a</sup>	45.52 <sup>a</sup>	57.13 <sup>a</sup>	16.99 <sup>d</sup>	1.31 <sup>d</sup>
EE	0.35	0.05	0.37	0.35	0.31	0.01

MS= materia seca; PC= proteína cruda; FDA= fibra detergente ácida; FDN= fibra detergente neutra; CNF= carbohidratos no fibrosos; EM= energía metabolizable.

### **Materia Seca (MS)**

El contenido de MS no presentó cambios significativos entre los diferentes tiempos de ensilaje, lo cual se explica por la buena compactación del material; realizada con una prensa mecánica de 10 t, además del tipo de microsilos usados en esta investigación (recipientes plásticos sellados), que evitó pérdidas de MS por oxidación o lixiviación (Schroeder, 2004; Kunkle *et al.*, 2006). El contenido de MS obtenido es aceptable, ya que el material ensilado debe tener de 30-45% de esta, (Weiss, 2009). Al aumentar, la cantidad de estiércol bovino la MS incrementó, por efecto de sustitución del nopal en la mezcla, ya que el estiércol tiene mayor contenido de MS (32%) que el nopal (88%). El contenido de MS es importante en el proceso de ensilaje y el rango óptimo para esta variable de 28 a 35% (Cobos, 1989).

### **Proteína cruda (PC)**

No se observaron cambios significativos en el contenido de PC durante los primeros 60 días de fermentación, después esta se incrementó ligeramente, pasando de 7.19 a 7.51% ( $p < 0.0001$ ). Este ligero incremento puede deberse a la proliferación de microorganismos involucrados en el proceso fermentativo durante el ensilaje. Al aumentar la cantidad de estiércol, la PC se incrementó ( $p < 0.0001$ ), pasando de 4.75 a 9.37%. Esto pudo deberse al incremento del nitrógeno en la mezcla ensilada, proveniente del estiércol bovino (0.8 a 1.0%).

### **Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)**

En el contenido de FDA no se presentaron cambios significativos y el porcentaje de FDN permaneció constante durante los primeros 60 días de ensilaje, sin embargo, después de 90 días disminuyó ( $p < 0.0001$ ) (49.49%), respecto a los demás periodos (51.44, 51.97 y 51.37%). Estos resultados pueden deberse a la hidrólisis de la hemicelulosa. Con el incremento del contenido de estiércol bovino en los ensilados, los contenidos de FDN y FDA también aumentaron ( $p < 0.0001$ ), pasando de 29.05 a 45.22 y de 42.77 a 57.13%, respectivamente. Estos resultados pueden explicarse considerando que el estiércol contiene una reducida cantidad de nutrientes digestibles y un elevado porcentaje de fibra (González, 1995).

### **Carbohidratos no fibrosos (CNF)**

El contenido de CNF disminuyó ( $p < 0.0001$ ) conforme transcurrió el tiempo de ensilaje, pasando de 26.74 a 25.94, 25.09 y 24.06% en 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje, respectivamente; esto puede deberse a que estos son la principal fuente de energía durante el proceso de ensilaje y, posiblemente, los utilizaron los microorganismos que intervinieron en el proceso de fermentación, para su obtención de energía. Por otra parte, al aumentar la cantidad de estiércol bovino, la concentración de CNF disminuyó (36.64, 26.1, 22.1 y 16.99%), debido al pobre contenido de carbohidratos solubles, en el estiércol.

### **Cenizas (C)**

El contenido de cenizas no presentó variaciones significativas ( $p < 0.0001$ ) debidas al tiempo de fermentación (0, 30, 60 y 90 días), lo cual pudo deberse a que las pérdidas de MS fueron mínimas, debido a las condiciones favorables en que se realizaron los microensilados. Con el incremento del estiércol bovino en el material ensilado, se incrementó la concentración de cenizas, pasando de 14.01 a 25.21, 28.32 y 34.80% en 0, 30, 60 y 90 días, respectivamente; esto ocurrió probablemente por la contaminación del estiércol, con la tierra del piso, ya que el estiércol se tomó de corrales que no tuvieron un piso de cemento.

### **Energía Metabolizable (EM)**

La EM se redujo significativamente ( $p < 0.0001$ ) de 1.64 a 1.63, 1.59 y 1.58 Mcal  $\text{kg}^{-1}$  en 0, 30, 60 y 90 días respectivamente. El valor menor de EM coincide con el menor de los CNF, lo que hace suponer, que la energía se utilizó por los microorganismos participantes en el proceso del ensilaje. Por otra parte, al aumentar la cantidad de estiércol bovino (0, 20, 30 y 50%), la EM disminuyó de 2.01 a 1.62, 1.50 y 1.31 Mcal  $\text{kg}^{-1}$ , respectivamente; esto pudo deberse a la reducción de los CNF, por efecto de los microorganismos participantes en el proceso del ensilaje y al incremento de la FDA y la FDN.

Los resultados de las variables fermentativas se muestran en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Valores promedio de variables fermentativas medidas durante el proceso de ensilaje de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino.**

Ensilaje (días)	pH	Ácidos (mM)			
		Láctico	Acético	Propiónico	Butírico
0	5.46 <sup>a</sup>	1.83 <sup>d</sup>	2.61 <sup>a</sup>	0.00	0.00
30	4.68 <sup>b</sup>	8.06 <sup>c</sup>	2.47 <sup>a</sup>	0.00	0.00
60	4.45 <sup>c</sup>	9.92 <sup>b</sup>	2.19 <sup>b</sup>	0.00	0.00
90	4.24 <sup>d</sup>	11.17 <sup>a</sup>	2.16 <sup>b</sup>	0.00	0.00
EE	0.04	0.41	0.13	0.00	0.00
Estiércol bovino (%)					
0	4.34 <sup>d</sup>	3.54 <sup>d</sup>	1.68 <sup>c</sup>	0.00	0.00
20	4.65 <sup>c</sup>	6.56 <sup>c</sup>	2.43 <sup>b</sup>	0.00	0.00
30	4.83 <sup>b</sup>	9.19 <sup>b</sup>	2.70 <sup>a</sup>	0.00	0.00
50	5.01 <sup>a</sup>	11.68 <sup>a</sup>	2.62 <sup>ab</sup>	0.00	0.00
EE	0.04	0.41	0.13	0.00	0.00

## pH

El pH disminuyó ( $p < 0.0001$ ) (5.46, 4.68, 4.45, 4.24) conforme transcurrió el tiempo de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días) respectivamente; el valor

menor de esta variable de respuesta, se encontró a los 90 días de ensilaje (4.24) y su valor de estabilización se observó en el día 30 del ensilaje (4.68). Por otra parte, conforme aumentó la cantidad de estiércol bovino en los ensilados (0, 20, 30 y 50%), el pH se incrementó (4.34, 4.65, 4.83 y 5.01), posiblemente debido a la concentración de nitrógeno que aportó el estiércol bovino (0.8 a 1.0%) en el material que fue ensilado (González, 1995).

### ***Producción de ácido láctico durante el proceso de ensilaje***

El contenido de ácido láctico se incrementó ( $p < 0.0001$ ) pasando de 1.83 a 8.06, 9.92, y 11.17 mM, conforme transcurrió el tiempo de ensilaje (0, 30, 60 y 90 días) respectivamente; También se incrementó su concentración por efecto del aumento de la concentración del estiércol bovino, pasando de 3.54 a 6.56, 9.19 y 11.68 mM en 0, 30, 60 y 90 días de ensilaje.

### ***Producción de ácido acético durante el proceso de ensilaje***

El contenido de ácido acético no presentó cambios significativos durante los dos primeros periodos de ensilaje (0 y 30 días), sin embargo, disminuyó su concentración, al pasar de 2.47 a 2.19 y 2.16 mM en los siguientes dos periodos de ensilaje (60 y 90 días). Por otra parte, conforme aumentó la cantidad de estiércol bovino (0, 30 y 60%), en la mezcla ensilada, se incrementó

la concentración de este ácido (1.68, 2.43, 2.7), respectivamente. No se produjeron los ácido propiónico y butírico.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de las variables de digestibilidad in vitro a 72 h, producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales.

### **Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)**

La DIVMS fue menor (37.1, 35.96, 34.29 y 34.10) en los ensilados con mayor tiempo de fermentación (0, 30, 60 y 90 días), lo cual coincide con los mayores valores de pH registrados durante el proceso de digestión y los menores valores de UFC mL<sup>-1</sup> de bacterias totales. Al respecto, Hassan y Nelson (2012) indican que la actividad de la flora celulolítica disminuye considerablemente cuando los valores de pH se encuentran en la zona comprendida entre 6.3 y 6.0, y sufre una reducción drástica al alcanzar valores inferiores a 6.0. El pH fue ligeramente mayor ( $p < 0.0001$ ) (5.7) para los ensilados con mayor tiempo de fermentación (60 y 90 días) y menor en los tratamientos sin ensilar (5.29); el mayor valor se encontró en los tiempos 60 y 90 días. En respuesta a la mayor cantidad de estiércol bovino en la mezcla ensilada (0, 20, 30 y 50%) la DIVMS fue menor (41.98, 35.15, 30.99 y 25.29).

**Cuadro 9. Digestibilidad in vitro a 72 h; producción de ácidos grasos volátiles y bacterias totales de ensilados de pencas de nopal tunero, según el tiempo de ensilaje y contenido de estiércol.**

Ensilaje (días)	DIVMS	Ácidos grasos volátiles (mM)			Bacterias (UFC ml <sup>-1</sup> )
		Acético	Propiónico	Butírico	
0	37.10 <sup>a</sup>	39.00 <sup>c</sup>	24.81 <sup>b</sup>	14.78 <sup>b</sup>	2908.30 <sup>a</sup>
30	35.96 <sup>b</sup>	44.28 <sup>a</sup>	32.10 <sup>a</sup>	18.16 <sup>a</sup>	2686.70 <sup>a</sup>
60	34.29 <sup>c</sup>	41.56 <sup>b</sup>	26.04 <sup>b</sup>	19.48 <sup>a</sup>	1240.00 <sup>c</sup>
90	34.10 <sup>c</sup>	39.81 <sup>bc</sup>	34.14 <sup>a</sup>	14.48 <sup>b</sup>	1771.60 <sup>b</sup>
EE	0.61	0.64	0.72	0.54	78.29
Estiércol bovino (%)					
0	41.98 <sup>a</sup>	39.88 <sup>b</sup>	27.39 <sup>b</sup>	18.06 <sup>a</sup>	2110.8 <sup>a</sup>
20	35.15 <sup>b</sup>	40.46 <sup>ab</sup>	28.64 <sup>ab</sup>	17.70 <sup>a</sup>	2027.5 <sup>a</sup>
30	30.99 <sup>c</sup>	41.86 <sup>ab</sup>	29.98 <sup>ab</sup>	16.28 <sup>ab</sup>	2321.6 <sup>a</sup>
50	25.29 <sup>d</sup>	42.47 <sup>a</sup>	31.07 <sup>a</sup>	14.86 <sup>b</sup>	2146.7 <sup>a</sup>
EE	0.61	0.64	0.72	0.54	78.29

DIVMS= digestibilidad in vitro de la materia seca.

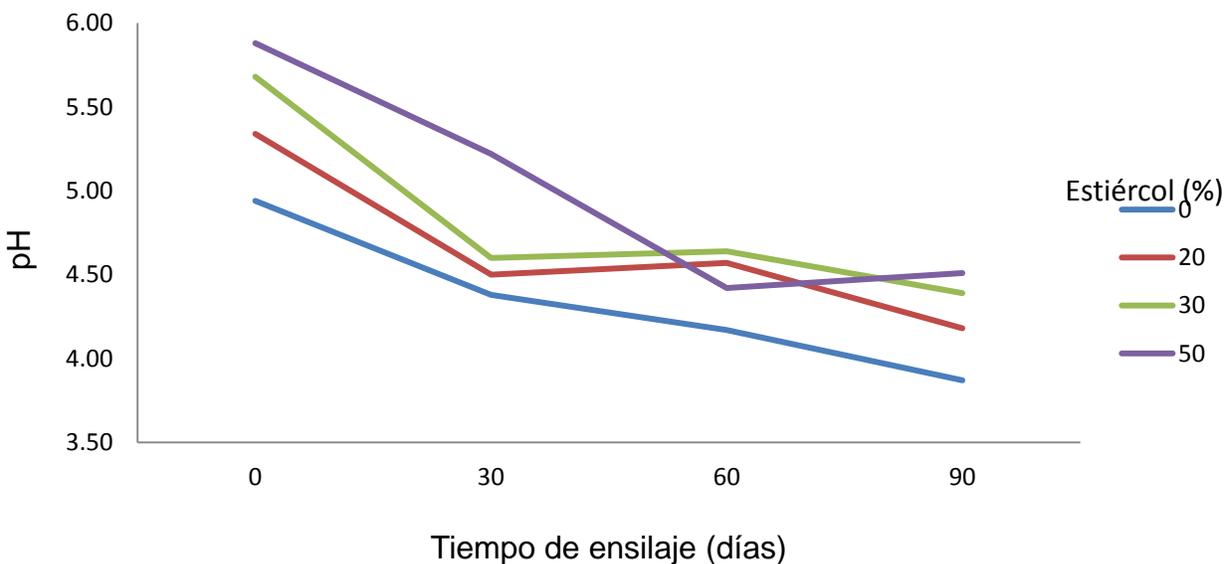
### **Producción de ácidos acético, propiónico y butírico en la DIVMS**

En los tratamientos con 30 días de ensilaje, se encontró la mayor concentración de ácido acético, propiónico y butírico (44.28, 32.1 y 18.16 mM), respectivamente. Como respuesta a la adición de estiércol bovino en la mezcla ensilada, solo se observaron diferencias significativas entre los tratamientos sin

estiércol, comparados con los que tuvieron 50% de estiércol. Con respecto a los tratamientos con 20 y 30% de estiércol, no se observaron diferencias.

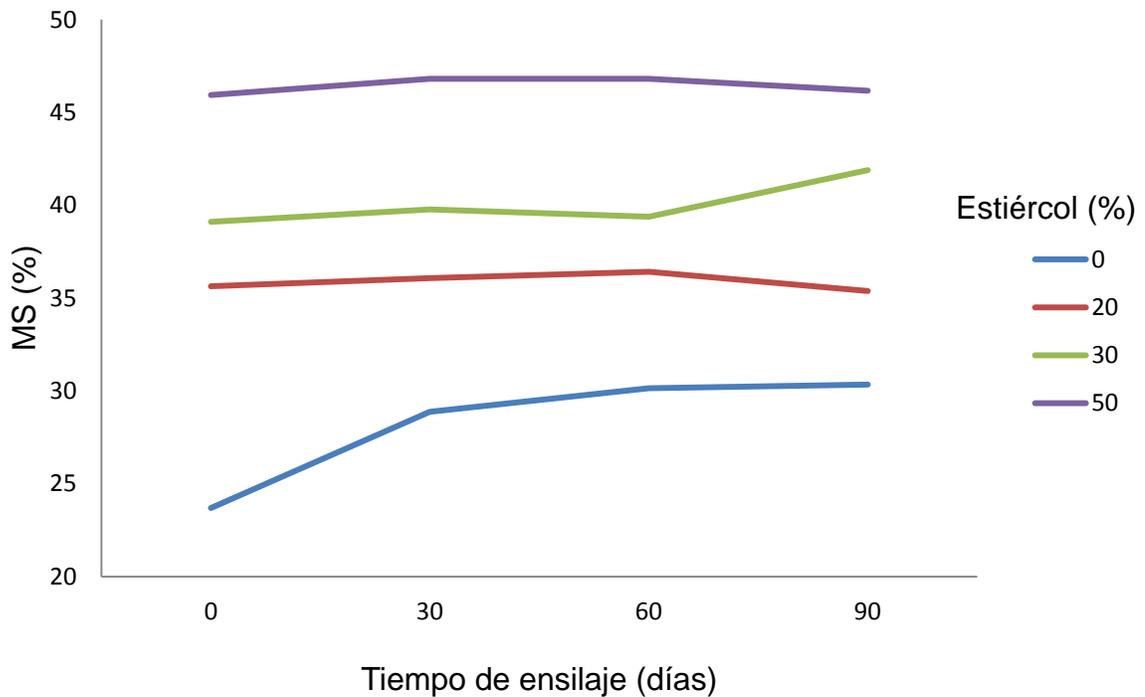
### Conteo de bacterias totales

La cantidad de bacterias totales, fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo de ensilaje, pasando de 2908.30 a 1 240.00 UFC mL<sup>-1</sup> en un periodo de 60 días; posteriormente se incrementaron hasta 1 771.60 UFC mL<sup>-1</sup>, en 90 días de ensilaje. En los tratamientos evaluados, no se observaron cambios en el contenido total de bacterias (UFC mL<sup>-1</sup>), como respuesta al tiempo de ensilaje; esto indica que el sustrato no tuvo efecto sobre el crecimiento bacteriano.



**Figura 7. Valores de pH como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.**

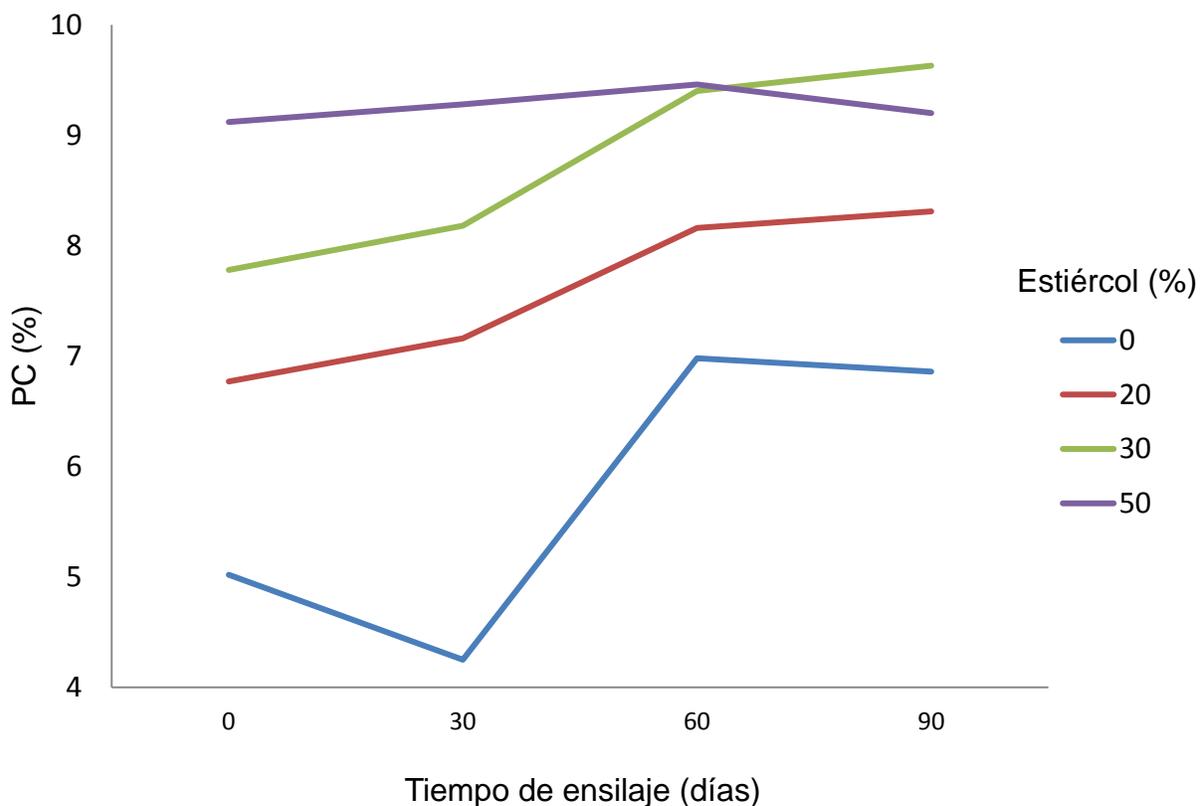
En la Figura 7 se aprecia que el pH se incrementó conforme se adicionó mayor cantidad de estiércol bovino; posteriormente, este fue descendiendo conforme avanzó el proceso de ensilaje. Los tratamientos que no incluyeron estiércol bovino fueron los que presentaron el pH menor.



**Figura 8. Porcentaje de materia seca (MS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 8 se observa que los valores mayores de materia seca (MS), se obtuvieron con los tratamientos con mayor porcentaje de estiércol bovino;

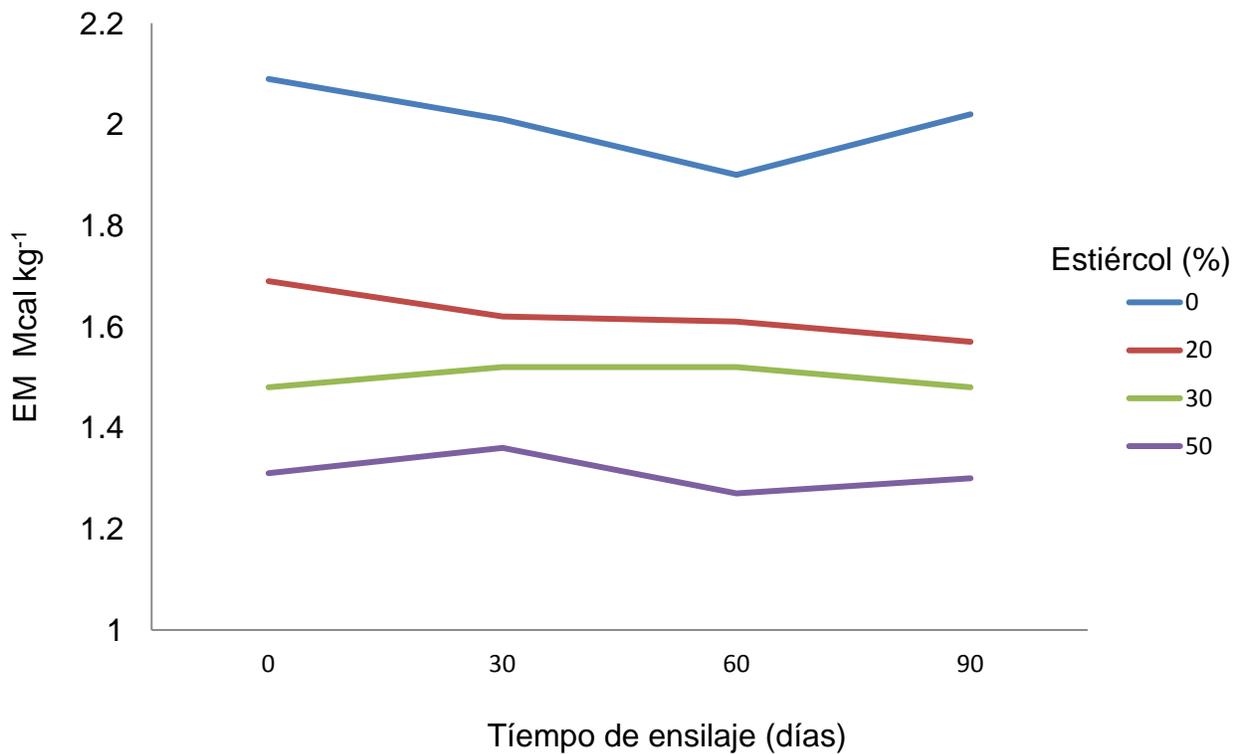
estos valores se mantuvieron constantes durante los 90 días de ensilaje, excepto con los tratamientos que no tuvieron estiércol bovino, en los cuales, se aprecia un incremento de MS, a los 30 días de ensilaje.



**Figura 9. Porcentaje de proteína cruda (PC) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.**

La Figura 9 muestra que en todos los tratamientos evaluados, se incrementa el porcentaje de proteína cruda (PC) conforme avanza el proceso de

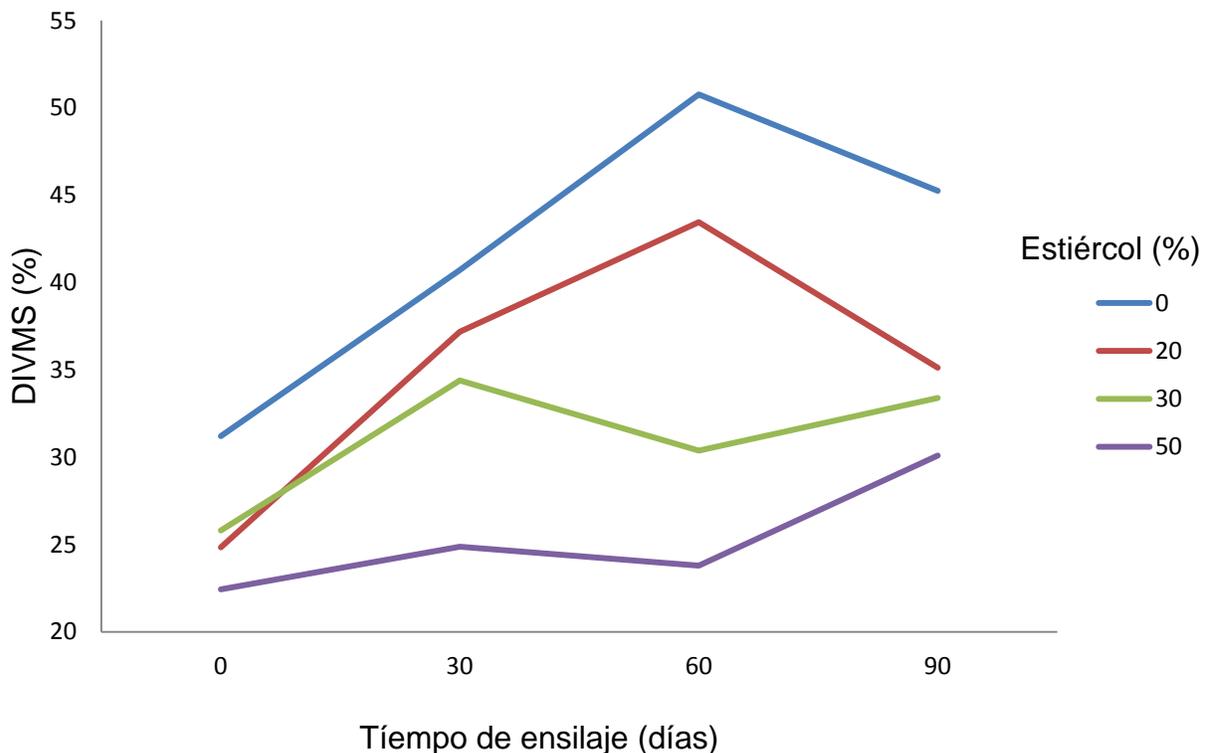
ensilaje; excepto en los tratamientos con 50% de estiércol bovino, los cuales se mantuvieron sin cambios evidentes. Los tratamientos con 0% de estiércol bovino, presentaron el mayor incremento de PC, en el periodo de 30 y 60 días de ensilaje.



**Figura 10. Concentración de energía metabolizable (EM) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol de ensilados con pencas de nopal tunero.**

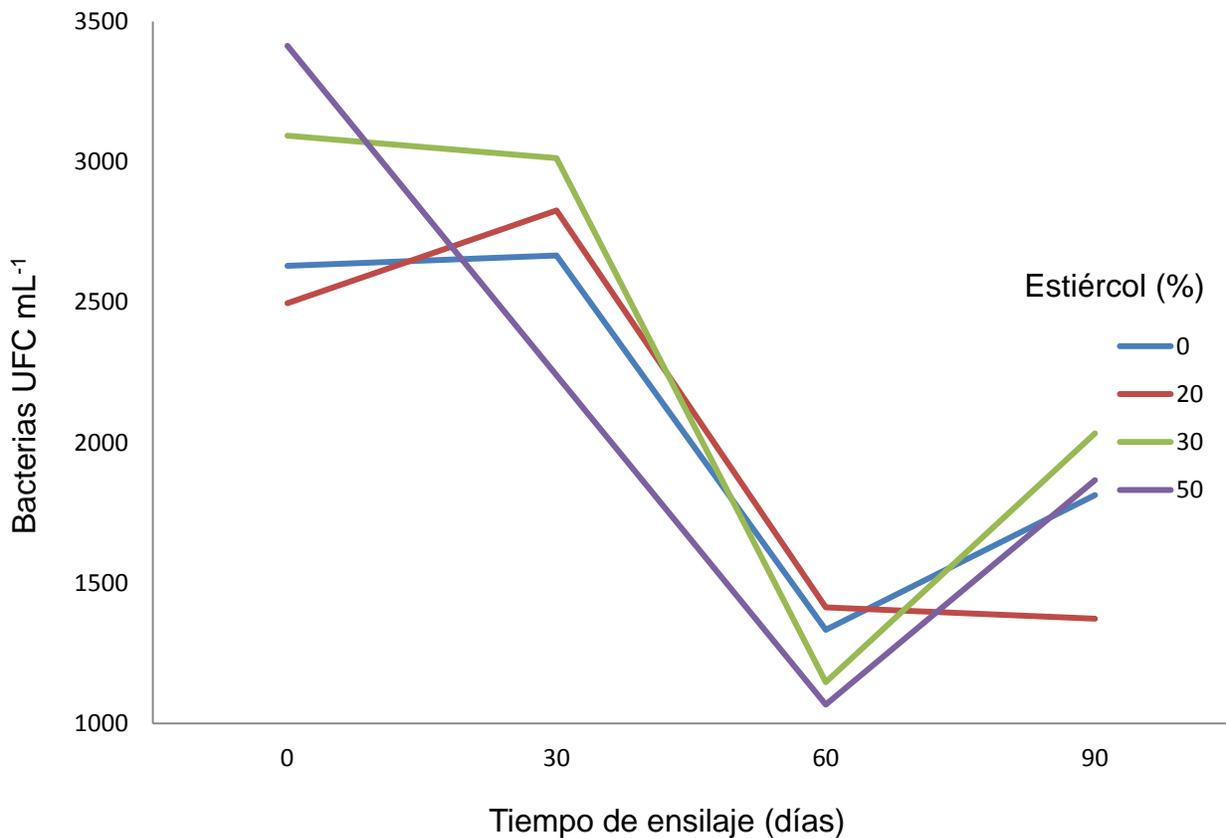
En la Figura 10 se observa que en los tratamientos con 0% de estiércol bovino presentaron mayor contenido de EM durante todo el proceso de ensilaje

(de 0 a 90 días), y conforme se adiciono el estiércol bovino, la EM, fue disminuyendo en todos los tratamientos. En los tratamientos con 0% de estiércol bovino, aunque el contenido de EM, presento cambios durante el proceso de ensilaje, el valor final (2.09 Mcal kg<sup>-1</sup>) fue similar al valor inicial (2.02 Mcal kg<sup>-1</sup>). El mismo comportamiento presentaron los tratamientos con 50% de estiércol bovino (1.31 y 1.30 Mcal kg<sup>-1</sup>).



**Figura 11. Porcentaje de digestibilidad in vitro de materia seca (%DIVMS) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 11 se observa que la digestibilidad *in vitro* de materia seca fue mayor en los tratamientos que no incluyeron estiércol bovino. En los tratamientos con 0 y 20% de estiércol bovino, la digestibilidad se incremento hasta llegar a 60 días de ensilaje (50.77 y 43.46%) respectivamente; posteriormente, se disminuyó (45.25 y 35.12%) respectivamente. Los tratamientos con 30 y 50% de estiércol, incrementaron su DIVMS hasta llegar a 30 días de ensilaje (34.39 y 24.87%); en el último periodo de ensilaje (90 días) se encontraron valores de 33.39 y 30.09% respectivamente.



**Figura 12. Conteo bacteriano (UFC ml<sup>-1</sup>) como efecto del tiempo de ensilaje y contenido de estiércol bovino de ensilados con pencas de nopal tunero.**

En la Figura 12 se aprecia que la población de bacterias creció durante 30 días de ensilaje; después, bajaron las concentraciones hasta el día 60 de ensilaje y se incrementaron sin llegar a las concentraciones iniciales, lo que representa un comportamiento normal en un proceso de ensilaje. Los tratamientos con 50% de estiércol bovino redujeron sus concentraciones bacterianas hasta el día 60 de ensilaje y luego se incrementaron sin llegar a la concentración inicial.

## **Conclusiones**

El contenido de MS no presentó cambios por efecto del tiempo de ensilaje, sin embargo, los tratamientos que incluyeron 20% de estiércol bovino mostraron el mejor contenido de MS.

Los tratamientos con 50% de estiércol bovino y 90 días de ensilaje tuvieron el mayor contenido de PC (7.51 y 9.37%).

La FDA se mantuvo constante por efecto del tiempo de ensilaje, mientras que la FDN se incrementó; ambas fibras se encontraron en mayor concentración en los tratamientos con 50% de estiércol. Los CNF disminuyeron por efecto del tiempo y la cantidad de estiércol adicionada a la mezcla ensilada.

Las cenizas no mostraron cambios por efecto del tiempo de ensilaje, sin embargo, aumentaron visiblemente por efecto de la concentración de estiércol, pasando de 14.01 a 34.8%.

La EM disminuyó en los tratamientos con 90 días de ensilaje y conforme se incrementó la concentración de estiércol bovino en la mezcla ensilada.

El pH fue descendiendo conforme transcurrió el tiempo de ensilaje, hasta llegar a 4.24, en 90 días, y aumentó conforme se adicionó estiércol a la mezcla ensilada, llegando a 5.01 con 50% de estiércol.

La mayor concentración de ácido láctico, se observó en los tratamientos con 0 días de ensilaje, sin cambios significativos entre los demás tiempos de ensilaje; sin embargo, al incrementarse la concentración de estiércol bovino en los tratamientos, también se incrementó la concentración de ácido láctico.

La concentración de ácido acético disminuyó por efecto del tiempo de ensilaje, a partir de 60 días, sin mostrar cambios posteriores y aumentó al incrementarse a 30% la concentración de estiércol bovino. No se observaron ácidos propiónico ni butírico.

La DIVMS disminuyó 2.81% en 60 días de ensilaje, sin cambios posteriores a este tiempo y disminuyó 16.69% por efecto de la adición de estiércol bovino; el menor valor se observó en los tratamientos con 50% de estiércol.

La concentración de AGV durante la DIVMS se observó en mayor cantidad en los tratamientos ensilados por 30 días, sin presentarse cambios al incrementar la concentración de estiércol bovino.

La mayor concentración de bacterias se observó al inicio del proceso de ensilaje y hasta los 30 días; la menor concentración de bacterias se observó en los tratamientos con 60 y 90 días. Por efecto de la concentración de estiércol bovino, no se observaron cambios en la concentración de bacterias totales (UFC mL<sup>-1</sup>).

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Abilleira, E., Virto, M., Nájera, A.I., Salmerón, J., Albisu, M., Pérez-Elortondo, F.J., Ruiz de Gordo, J.C., De Renobales, M. and Barron, L.J. (2010). Effects of seasonal changes in feeding management under part-time grazing on the evolution of the composition and coagulation properties of raw milk from ewes. *J Dairy Sci* 93, 3902-3909.
- Adesogan, A.T., Salawu, M.B., Ross, A.B., Davies, D.R., and Brooks, A.E. (2003). Effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc mesenteroides* inoculants, or a chemical additive on the fermentation, aerobic stability, and nutritive value of crimped wheat grains. *J Dairy Sci* 86, 1789-1796.
- Aguerre, M.J., Wattiaux, M.A., Hunt, T., and Lobos, N.E. (2012). Effect of nitrogen content and additional straw on changes in chemical composition, volatile losses, and ammonia emissions from dairy manure during long-term storage. *J Dairy Sci* 95, 3454-3466.
- Aguerre, M.J., Wattiaux, M.A., Powell, J.M., Broderick, G.A., and Arndt, C. (2011). Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J Dairy Sci* 94, 3081-3093.
- Albin, R.C. (1971). Handling and disposal of cattle waste. *J Anim Sci* 32:803-810.
- Allen, M.S., and Ying, Y. (2012). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal starch digestion are dependent upon dry matter intake for lactating cows. *J Dairy Sci* 95, 6591-6605.
- Applegate, T.J., Troche, C., Jiang, Z., and Johnson, T. (2009). The nutritional value of high-protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. *Poult Sci* 88, 354-359.
- Aranda, G.O., Miranda R.L., Flores, V. C., Hernández, M. O., García, U. G. y Flores, B. H. (2010) Enriquecimiento proteico del nopal para alimentación animal. Departamento de zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Recuperado el 30 de noviembre del 2010 de <http://www.chapingo.mx/produccionanimal/index.php/productos/121-11-enriquecimiento-proteico-del-nopal-para-alimentacion-animal>

- Arriaga-Jordán, C.M., García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., Espinoza-Ortega, A., and Castelán-Ortega, O.A. (2003). Feeding strategies for rearing replacement heifers in small-scale dairy production systems in the highlands of Central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 35, 259-269.
- Ashbell, G., Weinberg, Z.G., Hen, Y., and Filya, I. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *J Ind Microbiol Biotechnol* 28, 261-263.
- Aulrich, K., Böhme, H., Daenicke, R., Halle, I., and Flachowsky, G. (2001). Genetically modified feeds in animal nutrition. 1st communication: *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch Tierernahr* 54, 183-195.
- Bohnert, D.W., Larson, B.T., Bauer, M.L., Branco, A.F., McLeod, K.R., Harmon, D.L., and Mitchell, G.E. (1999). Nutritional evaluation of poultry by-product meal as a protein source for ruminants: small intestinal amino acid flow and disappearance in steers. *J Anim Sci* 77, 1000-1007.
- Borreani, G., and Tabacco, E. (2008). Low permeability to oxygen of a new barrier film prevents butyric acid bacteria spore formation in farm corn silage. *J Dairy Sci* 91, 4272-4281.
- Braun, R., Brachtl, E., and Grasmug, M. (2003). Codigestion of proteinaceous industrial waste. *Appl Biochem Biotechnol* 109, 139-153.
- Burthe, S., Butler, A., Searle, K.R., Hall, S.J., Thackeray, S.J., and Wanless, S. (2011). Demographic consequences of increased winter births in a large aseasonally breeding mammal (*Bos taurus*) in response to climate change. *J Anim Ecol* 80, 1134-1144.
- Cabiddu, A., Salis, L., Tweed, J.K., Molle, G., Decandia, M., and Lee, M.R. (2010). The influence of plant polyphenols on lipolysis and biohydrogenation in dried forages at different phenological stages: in vitro study. *J Sci Food Agric* 90, 829-835.
- Cai, Y., Pang, H., Kitahara, M., and Ohkuma, M. (2012). *Lactobacillus nasuensis* sp. nov., a lactic acid bacterium isolated from silage, and emended description of the genus *Lactobacillus*. *Int J Syst Evol Microbiol* 62, 1140-1144.
- Calsamiglia, S., Hernandez, B., Hartnell, G.F., and Phipps, R. (2007). Effects of corn silage derived from a genetically modified variety containing two transgenes on feed intake, milk production, and composition, and the absence of detectable transgenic deoxyribonucleic acid in milk in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 90, 4718-4723.

- Chaves, A.V., Baah, J., Wang, Y., McAllister, T.A., and Benchaar, C. (2012). Effects of cinnamon leaf, oregano and sweet orange essential oils on fermentation and aerobic stability of barley silage. *J Sci Food Agric* 92, 906-915.
- Chávez-Moreno, C.K., Tecante, A., Casas, A., and Claps, L.E. (2011). Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotrop Entomol* 40, 62-71.
- Chavez-Santoscoy, R.A., Gutierrez-Urbe, J.A., and Serna-Saldívar, S.O. (2009). Phenolic composition, antioxidant capacity and in vitro cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. *Plant Foods Hum Nutr* 64, 146-152.
- Chen, L., Auh, C., Chen, F., Cheng, X., Aljoe, H., Dixon, R.A., and Wang, Z. (2002). Lignin deposition and associated changes in anatomy, enzyme activity, gene expression, and ruminal degradability in stems of tall fescue at different developmental stages. *J Agric Food Chem* 50, 5558-5565.
- Chen, M.M., Liu, Q.H., Xin, G.R., and Zhang, J.G. (2012). Characteristics of lactic acid bacteria isolates and their inoculating effects on the silage fermentation at high temperature. *Lett Appl Microbiol*.
- Coblentz, W.K., and Muck, R.E. (2012). Effects of natural and simulated rainfall on indicators of ensilability and nutritive value for wilting alfalfa forages sampled before preservation as silage. *J Dairy Sci* 95, 6635-6653.
- Colunga, G.B., Arriaga-Jordán, C.M., Velázquez Beltran, L., González-Ronquillo, M., Smith, D.G., Estrada-Flores, J., Rayas-Amor, A., and Castelán-Ortega, O.A. (2005). Participatory study on feeding strategies for working donkeys used by Campesino farmers in the highlands of central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 37 Suppl 1, 143-157.
- Conaghan, P., O'Kiely, P., and O'Mara, F.P. (2010). Conservation characteristics of wilted perennial ryegrass silage made using biological or chemical additives. *J Dairy Sci* 93, 628-643.
- Contreras F.E., M. A. Marsall Y L.M. Laurault. 2009. Inoculantes microbiales para ensilaje: Su uso en condiciones de clima cálido. MN State university. Servicio de Extensión Cooperativa. Facultad de Ciencias Agrarias, Ambientales y del Consumidor Circular: 642, p.1-8.

- Cook, K.L., Rothrock, M.J., Warren, J.G., Sistani, K.R., and Moore, P.A. (2008). Effect of alum treatment on the concentration of total and ureolytic microorganisms in poultry litter. *J Environ Qual* 37, 2360-2367.
- Cooke, J.A., and Fontenot, J.P. (1990). Utilization of phosphorus and certain other minerals from swine waste and broiler litter. *J Anim Sci* 68, 2852-2863.
- De Gannes, V., Eudoxie, G., Dyer, D.H., and Hickey, W.J. (2012). Diversity and abundance of ammonia oxidizing archaea in tropical compost systems. *Front Microbiol* 3, 244.
- De Vries, T.J., and Gill, R.M. (2012). Adding liquid feed to a total mixed ration reduces feed sorting behavior and improves productivity of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 95, 2648-2655.
- Dodd, D., Kocherginskaya, S.A., Spies, M.A., Beery, K.E., Abbas, C.A., Mackie, R.I., and Cann, I.K. (2009). Biochemical analysis of a beta-D-xylosidase and a bifunctional xylanase-ferulic acid esterase from a xylanolytic gene cluster in *Prevotella ruminicola* 23. *J Bacteriol* 191, 3328-3338.
- Filya, I. (2003). The effect of *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria, on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of wheat, sorghum and maize silages. *J Appl Microbiol* 95, 1080-1086.
- Filya, I., Sucu, E., and Karabulut, A. (2006). The effect of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of maize silage. *J Appl Microbiol* 101, 1216-1223.
- Gizachew, L., and Smith, G.N. (2012). The status and importance of crude protein and macro minerals in native pastures growing on Vertisols of the central highlands of Ethiopia. *J Environ Manage* 93, 177-184.
- Guan, J., Chan, M., Grenier, C., Wilkie, D.C., Brooks, B.W., and Spencer, J.L. (2009). Survival of avian influenza and Newcastle disease viruses in compost and at ambient temperatures based on virus isolation and real-time reverse transcriptase PCR. *Avian Dis* 53, 26-33.
- Gullón, P., Pereiro, G., Alonso, J.L., and Parajó, J.C. (2009). Aqueous pretreatment of agricultural wastes: characterization of soluble reaction products. *Bioresour Technol* 100, 5840-5845.

- Guzmán-Maldonado, S.H., Morales-Montelongo, A.L., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, G., Guevara-Lara, F., and Reynoso-Camacho, R. (2010). Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xocostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *J Food Sci* 75, C485-492.
- Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J.M., García-López, J.C., de la Cruz-Lázaro, E., Luna-Palomera, C., and Sánchez-Hernández, R. (2011). Nutritional value of sugarcane silage enriched with corn grain, urea, and minerals as feed supplement on growth performance of beef steers grazing stargrass. *Trop Anim Health Prod* 43, 215-220.
- Hassan, A.N., and Nelson, B.K. (2012). Invited review: Anaerobic fermentation of dairy food wastewater. *J Dairy Sci* 95, 6188-6203.
- Heinl, S., Wibberg, D., Eikmeyer, F., Szczepanowski, R., Blom, J., Linke, B., Goesmann, A., Grabherr, R., Schwab, H., Pühler, A., et al. (2012). Insights into the completely annotated genome of *Lactobacillus buchneri* CD034, a strain isolated from stable grass silage. *J Biotechnol* 161, 153-166.
- Hildebrand, B., Boguhn, J., and Rodehutsord, M. (2011). Effect of maize silage to grass silage ratio and feed particle size on ruminal fermentation in vitro. *Animal* 5, 528-536.
- Hong, L., Wu, Y.M., Yan, Z.L., Chen, S., and Wang, J. (2010). Modified silo technique-An easy and effective method to improve the survival rate of neonates with gastroschisis in Shanghai. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 148, 31-34.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Mäntysaari, P., and Nousiainen, J. (2011). Integration of the effects of animal and dietary factors on total dry matter intake of dairy cows fed silage-based diets. *Animal* 5, 691-702.
- Huisden, C.M., Adesogan, A.T., Kim, S.C., and Ososanya, T. (2009). Effect of applying molasses or inoculants containing homofermentative or heterofermentative bacteria at two rates on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *J Dairy Sci* 92, 690-697.
- Hunde, A., Patterson, P., Ricke, S., and Kim, W.K. (2012). Supplementation of poultry feeds with dietary zinc and other minerals and compounds to mitigate nitrogen emissions--a review. *Biol Trace Elem Res* 147, 386-394.
- Jackson, B.P., Bertsch, P.M., Cabrera, M.L., Camberato, J.J., Seaman, J.C., and Wood, C.W. (2003). Trace element speciation in poultry litter. *J Environ Qual* 32, 535-540.

- Juniper, D.T., Bryant, M.J., Beever, D.E., and Fisher, A.V. (2007). Effect of breed, gender, housing system and dietary crude protein content on performance of finishing beef cattle fed maize-silage-based diets. *Animal* 1, 771-779.
- Kammes, K.L., and Allen, M.S. (2012). Rates of particle size reduction and passage are faster for legume compared with cool-season grass, resulting in lower rumen fill and less effective fiber. *J Dairy Sci* 95, 3288-3297.
- Kemoli, A.M., van Amerongen, W.E., and de Soet, J.J. (2001). Antimicrobial and buffer capacity of crude extracts of chewing sticks (Miswaki) from Kenya. *ASDC J Dent Child* 68, 183-188, 152.
- Khan, M.T., Khan, N.A., Bezabih, M., Qureshi, M.S., and Rahman, A. (2012). The nutritional value of peanut hay (*Arachis hypogaea* L.) as an alternate forage source for sheep. *Trop Anim Health Prod*.
- Kleinschmit, D.H., and Kung, L. (2006a). A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *J Dairy Sci* 89, 4005-4013.
- Kleinschmit, D.H., and Kung, L. (2006b). The effects of *Lactobacillus buchneri* 40788 and *Pediococcus pentosaceus* R1094 on the fermentation of corn silage. *J Dairy Sci* 89, 3999-4004.
- Kleinschmit, D.H., Schmidt, R.J., and Kung, L. (2005). The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *J Dairy Sci* 88, 2130-2139.
- Kononoff, P.J., and Heinrichs, A.J. (2003). The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J Dairy Sci* 86, 2438-2451.
- Kristensen, N.B., Sloth, K.H., Højberg, O., Spliid, N.H., Jensen, C., and Thøgersen, R. (2010). Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *J Dairy Sci* 93, 3764-3774.
- Kumar, S., Dagar, S.S., Puniya, A.K., and Upadhyay, R.C. (2012). Changes in methane emission, rumen fermentation in response to diet and microbial interactions. *Res Vet Sci*.
- Kung, L., Robinson, J.R., Ranjit, N.K., Chen, J.H., Golt, C.M., and Pesek, J.D. (2000). Microbial populations, fermentation end-products, and

- aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *J Dairy Sci* 83, 1479-1486.
- Kung, L., Schmidt, R.J., Ebling, T.E., and Hu, W. (2007). The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high-moisture corn. *J Dairy Sci* 90, 2309-2314.
- Kwak, W.S., Kim, Y.I., Seok, J.S., Oh, Y.K., and Lee, S.M. (2009). Molasses and microbial inoculants improve fermentability and silage quality of cotton waste-based spent mushroom substrate. *Bioresour Technol* 100, 1471-1473.
- Le, P.D., Aarnink, A.J., Ogink, N.W., Becker, P.M., and Verstegen, M.W. (2005). Odour from animal production facilities: its relationship to diet. *Nutr Res Rev* 18, 3-30.
- Lechartier, C., and Peyraud, J.L. (2010). The effects of forage proportion and rapidly degradable dry matter from concentrate on ruminal digestion in dairy cows fed corn silage-based diets with fixed neutral detergent fiber and starch contents. *J Dairy Sci* 93, 666-681.
- Lechartier, C., and Peyraud, J.L. (2011). The effects of starch and rapidly degradable dry matter from concentrate on ruminal digestion in dairy cows fed corn silage-based diets with fixed forage proportion. *J Dairy Sci* 94, 2440-2454.
- Liu, X., Han, L.J., and Yang, Z.L. (2011). Transfer of near infrared spectrometric models for silage crude protein detection between different instruments. *J Dairy Sci* 94, 5599-5610.
- Mahouachi, M., Atti, N., and Hajji, H. (2012). Use of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) for dairy goats and growing kids: impacts on milk production, kid's growth, and meat quality. *ScientificWorldJournal* 2012, 321567.
- Martínez, J.C., Lopez, J.C., Delgado A.A., Cruz, H.P. (2001). Poda y época de despunte en cladodios de nopal tunero. *Agrociencia*. 35, 159-167
- McCormick, M.E., Han, K.J., Moreira, V.R., Blouin, D.C., and Forbes, S. (2011). Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage. *J Dairy Sci* 94, 2500-2507.
- McDonald P. 1981. *The biochemistry of silage*. John Wiley and sons. Chichester, New York, EE.UU. 226 p.

- Miller, D.N., and Varel, V.H. (2002). An in vitro study of manure composition on the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds in cattle feedlots. *J Anim Sci* 80, 2214-2222.
- Miyaji, M., Matsuyama, H., Hosoda, K., and Nonaka, K. (2012). Effect of replacing corn with brown rice grain in a total mixed ration silage on milk production, ruminal fermentation and nitrogen balance in lactating dairy cows. *Anim Sci J* 83, 585-593.
- MÜHLBACH P.R.F. 2001. Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos. Estudio FAO producción y protección vegetal 161, p. 157-171.
- Muhonen, S., Connysson, M., Lindberg, J.E., Julliand, V., Bertilsson, J., and Jansson, A. (2008). Effects of crude protein intake from grass silage-only diets on the equine colon ecosystem after an abrupt feed change. *J Anim Sci* 86, 3465-3472.
- Neir, H. M. Mc. and Bonelli, E. J. 1969. Basic gas chromatography. 2nd. Varian Instruments Division Offices.
- Nges, I.A., Björn, A., and Björnsson, L. (2012). Stable operation during pilot-scale anaerobic digestion of nutrient-supplemented maize/sugar beet silage. *Bioresour Technol* 118, 445-454.
- Nikkhah, A., Ghaempour, A., Khorvash, M., and Ghorbani, G.R. (2011). Inoculants for ensiling low-dry matter corn crop: a midlactation cow perspective. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 95, 623-631.
- Nishino, N., Li, Y., Wang, C., and Parvin, S. (2012). Effects of wilting and molasses addition on fermentation and bacterial community in guinea grass silage. *Lett Appl Microbiol* 54, 175-181.
- Oelker, E.R., Reveneau, C., and Firkins, J.L. (2009). Interaction of molasses and monensin in alfalfa hay- or corn silage-based diets on rumen fermentation, total tract digestibility, and milk production by Holstein cows. *J Dairy Sci* 92, 270-285.
- OJEDA F., MONTEJO I. 2001. Conservación de la morera (*Morus alba*) como ensilaje. I. Efecto sobre los compuestos nitrogenados. *Pastos y Forrajes* 24:147-155.

- Pagliari, P.H., and Laboski, C.A. (2012). Investigation of the inorganic and organic phosphorus forms in animal manure. *J Environ Qual* 41, 901-910.
- Pauly, T.M., and Tham, W.A. (2003). Survival of *Listeria monocytogenes* in wilted and additive-treated grass silage. *Acta Vet Scand* 44, 73-86.
- Qi, M., Wang, P., Selinger, L.B., Yanke, L.J., Forster, R.J., and McAllister, T.A. (2011). Isolation and characterization of a ferulic acid esterase (Fae1A) from the rumen fungus *Anaeromyces mucronatus*. *J Appl Microbiol* 110, 1341-1350.
- Queiroz, O.C., Adesogan, A.T., Arriola, K.G., and Queiroz, M.F. (2012). Effect of a dual-purpose inoculant on the quality and nutrient losses from corn silage produced in farm-scale silos. *J Dairy Sci* 95, 3354-3362.
- Rashamuse, K.J., Burton, S.G., and Cowan, D.A. (2007). A novel recombinant ethyl ferulate esterase from *Burkholderia multivorans*. *J Appl Microbiol* 103, 1610-1620.
- Ríos de Álvarez Leyla, J.d.C.y.R.ó.Á.Z. (2005). (Zootecnia Tropical), pp. 183-210.
- Ríos R. J. y V. Quintana M. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Colegio de Postgraduados, Secretaría de la Reforma Agraria. Manual del participante. México. 81 p.
- Manual Model 10 pH Meter 1992. Fisher Scientific Operating Instructions.
- Sagarpa (2012a). Aprovechamiento de esquilmos y subproductos de la alimentación del ganado. (Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Aprovechamiento%20de%20esquilmos.pdf>).
- Sagarpa (2012b). Técnicas de ensilaje y construcción de silos forrajeros. (Secretaría de agricultura desarrollo rural pesca y alimentación: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Silos%20Forrajeros.pdf>).
- Sawyer, J.E., Mulliniks, J.T., Waterman, R.C., and Petersen, M.K. (2012). Influence of protein type and level on nitrogen and forage use in cows consuming low-quality forage. *J Anim Sci* 90, 2324-2330.
- Schmidt, R.J., and Kung, L. (2010). The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic

- stability of corn silages made at different locations. *J Dairy Sci* 93, 1616-1624.
- Seip, K., Breves, G., Isselstein, J., Daş, G., and Abel, H. (2012). Ruminant fermentation characteristics and microbial nitrogen assimilation in sheep fed differently composed grass silages. *Arch Anim Nutr* 66, 215-226.
- Selwet, M. (2008). Effect of organic acids on numbers of yeasts and mould fungi and aerobic stability in the silage of corn. *Pol J Vet Sci* 11, 119-123.
- Shao, Q., Chundawat, S.P., Krishnan, C., Bals, B., Sousa, L.a.C., Thelen, K.D., Dale, B.E., and Balan, V. (2010). Enzymatic digestibility and ethanol fermentability of AFEX-treated starch-rich lignocellulosics such as corn silage and whole corn plant. *Biotechnol Biofuels* 3, 12.
- Sinclair, L.A., Blake, C.W., Griffin, P., and Jones, G.H. (2012). The partial replacement of soyabean meal and rapeseed meal with feed grade urea or a slow-release urea and its effect on the performance, metabolism and digestibility in dairy cows. *Animal* 6, 920-927.
- Skrivan, M., Skrivanová, V., and Marounek, M. (2005). Effects of dietary zinc, iron, and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil, and herbage. *Poult Sci* 84, 1570-1575.
- Stamm, P., Verma, V., Ramamoorthy, R., and Kumar, P.P. (2012). Manipulation of plant architecture to enhance lignocellulosic biomass. *AoB Plants* 2012, pls026.
- STEFANIE J., DRIEHUIS F., GOTTSCHAL, J., SPOELSTRA S. 1999. Silage fermentation processes and their manipulation. *FAO Electronic Conference on Tropical Silage*, <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agp/agpc/gp/silage/contents.htm>. Paper 2.
- Stone, W.C., Chase, L.E., Overton, T.R., and Nestor, K.E. (2012). Brown midrib corn silage fed during the periparturient period increased intake and resulted in a persistent increase in milk solids yield of Holstein cows. *J Dairy Sci* 95, 6665-6676.
- Sugimoto, M., Saito, W., Ooi, M., Sato, Y., and Saito, T. (2009). The effects of inclusion levels of urea-treated potato pulp silage in concentrate and roughage sources on finishing performance and carcass quality in cull beef cows. *Anim Sci J* 80, 280-285.

- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnol Adv* 27, 185-194.
- Tabacco, E., Piano, S., Revello-Chion, A., and Borreani, G. (2011). Effect of *Lactobacillus buchneri* LN4637 and *Lactobacillus buchneri* LN40177 on the aerobic stability, fermentation products, and microbial populations of corn silage under farm conditions. *J Dairy Sci* 94, 5589-5598.
- Tamir, B., Gebrehawariat, E., Tegegne, A., and Kortu, M.Y. (2012). Rumen degradability characteristics of normal maize stover and silage, and quality protein maize silage-based diets offered to cows. *Trop Anim Health Prod* 44, 1547-1553.
- Tebot, I., Cajarville, C., Repetto, J.L., and Cirio, A. (2012). Supplementation with non-fibrous carbohydrates reduced fiber digestibility and did not improve microbial protein synthesis in sheep fed fresh forage of two nutritive values. *Animal* 6, 617-623.
- Tien, D.V., and Beynen, A.C. (2005). Growth performance of lambs in Phangrang, Vietnam: effects of a dietary supplement containing prickly-pear cactus. *Trop Anim Health Prod* 37, 237-244. no esta en el texto
- Tohno, M., Kobayashi, H., Tajima, K., and Uegaki, R. (2012). Strain-dependent effects of inoculation of *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum* on fermentation quality of paddy rice (*Oryza sativa* L. subsp. *japonica*) silage. *FEMS Microbiol Lett*.
- Torres-Sales, A. (2010). Composición Química del Nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias Brasil). (RESPYN: "Revista Salud Pública y Nutrición" Edición Especial No. 5 2011 pp 143-151. (ISSN 1870-0160)).
- Urrutia J., Díaz .O., Gámez V., Rivera L., Beltrán L. y Luna V.J. (2007) utilización de chamizo (*atriplex canescens*) y nopal (*opuntia ficus indica*) como principales alimentos para producción de leche caprina en la estación de estiaje. Recuperado el 20 de diciembre del 2010 de <http://www.produccion-animal-.com.ar/>
- Weinberg, Z.G., Ashbell, G., and Chen, Y. (2003). Stabilization of returned dairy products by ensiling with straw and molasses for animal feeding. *J Dairy Sci* 86, 1325-1329.
- WEISS W. 1999. Silage for dairy cattle. *In: curso de actualización en nutrición de ganado de leche. Asociación Americana de la Soya, Indiana Soybean Board, y United Soybean Board. Balsa de Atenas, Costa Rica. 10 p.*

- Weiss, W.P., Willett, L.B., St-Pierre, N.R., Borger, D.C., McKelvey, T.R., and Wyatt, D.J. (2009). Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. *J Dairy Sci* 92, 5607-5619.
- Wilkes, G., Edge, T.A., Gannon, V.P., Jokinen, C., Lyautey, E., Neumann, N.F., Ruecker, N., Scott, A., Sunohara, M., Topp, E., et al. (2011). Associations among pathogenic bacteria, parasites, and environmental and land use factors in multiple mixed-use watersheds. *Water Res* 45, 5807-5825.
- Xu, C.C., Cai, Y., Zhang, J.G., and Ogawa, M. (2007). Fermentation quality and nutritive value of a total mixed ration silage containing coffee grounds at ten or twenty percent of dry matter. *J Anim Sci* 85, 1024-1029.
- Yang, H.Y., Wang, X.F., Liu, J.B., Gao, L.J., Ishii, M., Igarashi, Y., and Cui, Z.J. (2006). Effects of water-soluble carbohydrate content on silage fermentation of wheat straw. *J Biosci Bioeng* 101, 232-237.
- Young, K.M., Lim, J.M., Der Bedrosian, M.C., and Kung, L. (2012). Effect of exogenous protease enzymes on the fermentation and nutritive value of corn silage. *J Dairy Sci* 95, 6687-6694.
- Zahar, M., Benkerroum, N., Guerouali, A., Laraki, Y., and El Yakoubi, K. (2002). Effect of temperature, anaerobiosis, stirring and salt addition on natural fermentation silage of sardine and sardine wastes in sugarcane molasses. *Bioresour Technol* 82, 171-176.
- Zhao, L., Dong, Y.H., and Wang, H. (2010). Residues of veterinary antibiotics in manures from feedlot livestock in eight provinces of China. *Sci Total Environ* 408, 1069-1075.
- Zheng, Y., Yates, M., Aung, H., Cheng, Y.S., Yu, C., Guo, H., Zhang, R., Vandergheynst, J., and Jenkins, B.M. (2011). Influence of moisture content on microbial activity and silage quality during ensilage of food processing residues. *Bioprocess Biosyst Eng* 34, 987-995.

## 9. ANEXOS

### ANEXO A

#### MEDIAS DE LAS VARIABLES BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS DE PENCAS DE NOPAL TUNERO CON POLLINAZA

<b>T</b>	<b>Variables bromatológicas (%)</b>							<b>EM</b>
	<b>pH</b>	<b>MS</b>	<b>PC</b>	<b>FDA</b>	<b>FDN</b>	<b>CNF</b>	<b>CEN</b>	<b>Mcal/ Kg</b>
1	5.11	29.84	3.83	32.94	50.47	31.36	13.03	1.93
2	5.91	43.55	15.16	23.65	38.27	30.42	14.70	2.23
3	7.04	45.55	18.11	23.36	39.52	25.72	15.79	2.20
4	7.12	53.68	22.43	22.06	38.87	21.10	17.05	2.21
5	4.44	23.76	4.31	33.06	47.54	32.36	14.01	1.96
6	4.77	37.75	15.17	25.27	39.83	27.91	16.06	2.16
7	5.08	43.09	19.05	24.00	37.79	25.33	16.57	2.20
8	5.76	52.88	24.78	22.10	36.49	20.43	17.26	2.26
9	3.90	27.80	4.38	27.31	39.59	40.20	13.39	2.14
10	4.26	36.89	15.51	24.48	37.50	30.03	15.61	2.22
11	4.68	41.82	19.11	23.86	34.10	26.15	16.36	2.23
12	5.12	51.70	24.28	22.55	37.35	20.17	17.40	2.23
13	4.03	28.79	4.65	28.73	42.94	37.14	13.18	2.08
14	4.56	38.85	15.87	24.95	38.38	29.04	15.31	2.21
15	4.62	41.62	19.25	25.66	35.83	26.91	17.07	2.23
16	5.02	49.93	24.33	22.94	36.31	20.57	17.83	2.24

## **ANEXO B**

### ***MEDIAS DE LAS VARIABLES FERMENTATIVAS DE ENSILADOS DE PENCA DE NOPAL TUNERO CON POLLINAZA***

T	Variables Fermentativas (mM)			
	Láctico	Acético	Propiónico	Butírico
1	0.09	0.57	0.00	0.00
2	0.16	2.43	0.00	0.00
3	0.00	2.85	0.00	0.00
4	0.00	3.49	0.83	0.00
5	2.63	1.08	0.00	0.00
6	8.46	3.52	0.00	0.00
7	10.47	4.58	0.00	0.00
8	5.76	5.18	1.30	0.00
9	3.69	1.79	0.00	0.00
10	8.07	2.53	0.80	0.00
11	11.83	4.15	1.18	0.00
12	9.30	5.06	1.13	0.00
13	4.10	1.72	0.00	0.00
14	8.10	3.98	0.00	0.00
15	12.96	5.30	0.57	0.00
16	13.53	8.48	1.14	0.00

## **ANEXO C**

### **MEDIAS DE LAS VARIABLES DE DIVMS Y PRODUCCIÓN DE AGVS DE ENSILADOS DE PENCAS DE NOPAL TUNERO CON POLLINAZA**

<b>DVIMS</b>	<b>Producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGVS)</b>			
<b>%</b>	<b>Láctico</b>	<b>Acético</b>	<b>Propiónico</b>	<b>Butírico</b>
28.69	0.00	42.22	23.58	13.52
40.04	7.11	40.72	28.83	14.57
42.86	10.26	46.10	32.67	15.19
42.57	12.21	39.62	27.33	14.28
40.72	5.97	44.71	33.13	22.11
49.02	6.91	53.54	36.41	23.31
48.05	4.62	56.08	37.36	20.82
47.91	2.96	58.14	34.94	17.65
41.31	8.83	40.89	24.22	26.96
43.76	2.83	46.66	31.13	28.21
34.98	7.98	50.71	35.48	19.32
41.27	7.23	54.03	36.07	25.97
45.19	8.64	35.32	20.78	17.84
47.39	5.29	43.86	36.28	26.13
48.82	4.04	46.36	40.01	15.42
49.89	2.04	51.45	44.05	10.59

**ANEXO D****MEDIAS DE LAS VARIABLES BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS DE  
PENCAS DE NOPAL TUNERO CON ESTIÉRCOL BOVINO**

<b>T</b>	<b>Variables bromatológicas (%)</b>							<b>EM</b>
	<b>pH</b>	<b>MS</b>	<b>PC</b>	<b>FDA</b>	<b>FDN</b>	<b>CNF</b>	<b>CEN</b>	<b>Mcal/ Kg</b>
1	4.94	28.88	5.02	27.79	42.73	36.24	13.99	2.01
2	5.35	36.08	6.78	37.28	50.55	26.38	25.30	1.63
3	5.69	39.78	7.79	39.09	53.08	22.39	27.67	1.53
4	5.89	46.82	9.13	43.49	55.43	18.78	34.21	1.36
5	4.39	23.71	4.26	33.01	47.49	32.31	13.96	1.91
6	4.51	35.65	7.17	37.39	49.48	25.75	25.67	1.62
7	4.61	39.11	8.19	39.67	52.22	23.02	28.78	1.53
8	5.23	45.95	9.64	45.69	58.70	15.18	35.05	1.28
9	4.17	30.16	4.29	29.18	42.28	37.44	13.59	2.03
10	4.58	36.43	6.98	39.67	52.21	24.48	26.22	1.58
11	4.65	39.38	8.16	36.33	53.33	21.89	29.18	1.49
12	4.42	46.69	9.35	45.72	57.69	16.58	34.71	1.31
13	3.87	30.36	5.47	26.23	38.60	40.58	14.51	2.10
14	4.19	35.38	6.87	36.71	48.29	27.82	23.67	1.70
15	4.40	41.90	8.32	41.98	54.38	21.11	27.67	1.49
16	4.52	46.17	9.41	47.21	56.73	17.46	35.27	1.32

**ANEXO E****MEDIAS DE LAS VARIABLES FERMENTATIVAS DE ENSILADOS DE  
PENAS DE NOPAL TUNERO CON ESTIÉRCOL BOVINO**

<b>T</b>	<b>Variables fermentativas (mM)</b>			
	<b>Láctico</b>	<b>Acético</b>	<b>Propiónico</b>	<b>Butírico</b>
1	1.08	1.52	0.00	0.00
2	1.44	2.15	0.00	0.00
3	2.36	2.51	0.00	0.00
4	2.96	3.09	0.00	0.00
5	2.63	1.08	0.00	0.00
6	11.21	3.43	0.00	0.00
7	9.15	2.63	0.00	0.00
8	12.76	2.23	0.00	0.00
9	5.26	1.99	0.00	0.00
10	8.49	2.38	0.00	0.00
11	11.99	2.64	0.00	0.00
12	12.69	2.90	0.00	0.00
13	5.19	2.16	0.00	0.00
14	8.61	2.49	0.00	0.00
15	13.30	3.03	0.00	0.00
16	17.59	2.79	0.00	0.00

**ANEXO F****MEDIAS DE LAS VARIABLES DE DIVMS Y PRODUCCIÓN DE AGVS DE  
ENSILADOS DE PENCAS DE NOPAL TUNERO CON ESTIÉRCOL BOVINO**

<b>T</b>	<b>DVIMS</b>	<b>Digestibilidad in vitro y producción de AGVS</b>			
	<b>%</b>	<b>Láctico</b>	<b>Acético</b>	<b>Propiónico</b>	<b>Butírico</b>
1	31.21	13.33	40.79	21.16	8.07
2	24.84	8.61	38.79	24.56	13.12
3	25.80	8.54	36.19	26.37	17.50
4	22.44	8.18	40.27	27.17	22.43
5	40.72	5.97	44.71	130.66	22.11
6	37.18	0.00	45.49	124.50	19.35
7	34.40	0.51	45.44	33.40	21.77
8	24.87	0.00	41.51	29.59	13.69
9	50.77	11.16	38.58	24.32	21.52
10	43.47	4.83	41.46	28.70	17.42
11	30.38	0.00	42.06	26.70	19.28
12	23.79	0.93	44.18	24.44	17.20
13	45.25	6.33	35.46	37.44	21.06
14	35.13	4.31	36.11	31.44	12.80
15	33.39	1.81	43.76	37.85	14.01
16	30.09	2.00	43.93	33.37	14.34