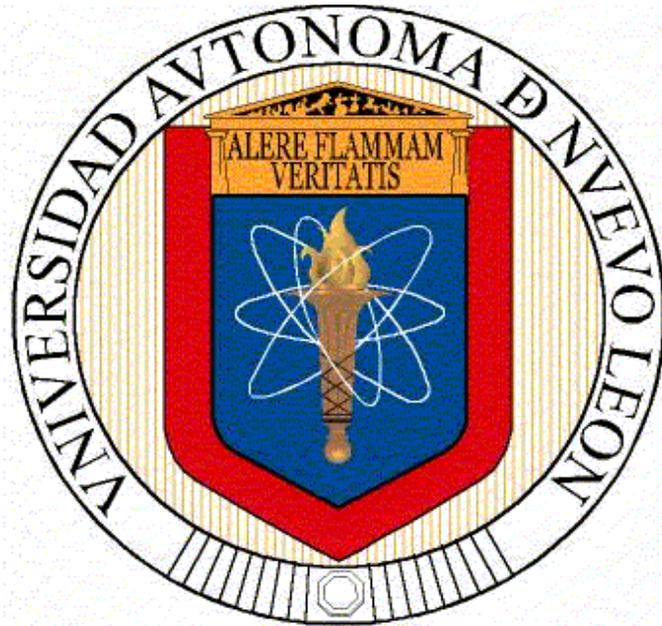


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**UTILIZACIÓN DE OPUNTIAS EN LA ALIMENTACIÓN
DE ANIMALES DOMÉSTICOS**

Por

M.V.Z. FABIOLA MÉNDEZ LLORENTE

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS
con Acentuación en ALIMENTOS**

Julio 2014

UTILIZACIÓN DE OPUNTIAS EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES DOMÉSTICOS

Comité de Tesis

Ph.D. ROQUE GONZALO. RAMIREZ LOZANO

Director

DR. JAIRO IVÁN AGUILERA SOTO

Director externo

DRA. MARÍA ADRIANA NÚÑEZ GONZÁLEZ

Co-Director

DR. CARLOS ABEL AMAYA GUERRA

Secretario

DR. JUAN GABRIEL BÁEZ GONZÁLEZ

Vocal

UTILIZACIÓN DE OPUNTIAS EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES DOMÉSTICOS

Comité Académico de Doctorado

Subdirector de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por brindarme una vida llena de bendiciones.

Al Ph. D. Roque Gonzalo Ramírez Lozano toda mi admiración y respeto hacia usted; gracias por darme la oportunidad de realizar esta investigación, para mí es un gran ejemplo de vida con su gran fortaleza, disciplina y dedicación a la enseñanza día con día.

A CONACYT por el apoyo económico brindado para la realización de estos trabajos de investigación y así contribuir con nuestro granito de arena al crecimiento de México.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y Universidad Autónoma de Zacatecas y las personas que laboran en ellas que formaron parte importante de estos trabajos de investigación.

DEDICATORIA

A mi esposo Jairo por su gran amor, su fortaleza y por siempre estar a mi lado impulsándome a crecer como persona, como familia y profesionalmente. Eres el amor de mi vida.

A mis hijos Jairito, Pedro y Fanny les dedico este trabajo por todo el tiempo que nos tocó a su padre y a mí sacrificar con ustedes para realizar este trabajo, gracias por su comprensión.

A mis amados padres: Aurora y Pedro; a mi hermana Yoya y mi cuñado David que me han apoyado en todo a lo largo de mi vida, me han dado su amor y sus enseñanzas; gracias por compartir tiempo con nuestros hijos en días en los que teníamos que trabajar hasta tarde y estar al lado de ellos para así poder llevar a cabo este proyecto.

A mis queridos suegros: Alcira y Geludiel por el amor y apoyo que me han brindado desde siempre y de igual manera estar con nuestros hijos. A mis cuñados Ricardo, Alejandro†.

A Blanca de la Rosa y mis sobrinos hermosos Zaid y Diana.

A mis abuelitos Estefanía y Alfonso quien a sus 94 años es un gran ejemplo a seguir.

El apoyo incondicional de la familia fue la base para poder llevar a cabo un proyecto tan importante para mí; a todos mil gracias!

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Hipótesis.....	6
Objetivos.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO	
1. ANTECEDENTES DEL USO DE OPUNTIA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	7
1.1 Origen y distribución de las cactáceas.....	7
1.2 Descripción del género <i>Opuntia</i>	8
1.3 Características botánicas y fisiológicas de las cactáceas.....	9
1.4 Taxonomía y variedades del género <i>Opuntia</i>	12
1.5 Antecedentes del uso de <i>Opuntias</i> como forraje en México.....	14
1.6 Valor nutritivo de las cactáceas.....	17
1.7 Las <i>Opuntias</i> en la alimentación animal.....	21
1.7.1 Porcinos.....	21
1.7.2 Rumiantes.....	22
1.7.2.1 Bovinos.....	23
1.7.2.2 Ovinos.....	25

Sección	Página
1.7.2.3 Caprinos.....	27
1.8 Literatura Citada.....	28
2. pH Y DIGESTIBILIDAD <i>IN SITU</i> DEL ENSILAJE DE ESPECIES DE <i>OPUNTIAS</i> ADICIONADAS CON UREA.....	38
2.1 Resumen.....	38
2.2 Abstract.....	39
2.3 Introducción.....	40
2.4 Materiales y Métodos.....	42
2.4.1 Sitios de colecta.....	42
2.4.2 Ensilaje.....	42
2.4.3 Composición química.....	43
2.4.4 Digestibilidad <i>in situ</i>	43
2.4.5 Análisis estadístico.....	44
2.5 Resultados y Discusión.....	45
2.5.1 Composición química.....	45
2.5.2 pH.....	49
2.5.3 Digestibilidad <i>in situ</i>	53
.....2.6 Conclusión.....	59
.....2.7 Literatura citada.....	59
3. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DIGESTIVAS Y CALIDAD DE CANAL DE OVINOS EN ENGORDA ALIMENTADOS CON <i>OPUNTIA LEUCOTRICHIA</i>.....	65
.....3.1 Resumen.....	65
.....3.2 Abstract.....	66

Sección	Página
.....3.3 Introducción.....	67
.....3.4 Materiales y métodos.....	68
.....3.5 Resultados y discusión.....	71
.....3.6 Conclusión.....	77
.....3.7 Literatura citada.....	77
4. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS, CONDUCTUALES Y CALIDAD DE CANAL DE PORCINOS EN ENGORDA ALIMENTADOS CON <i>OPUNTIA ROBUSTA</i>.....	82
.....4.1 Resumen.....	82
.....4.2 Abstract.....	83
.....4.3 Introducción.....	84
.....4.4 Materiales y Métodos.....	85
.....4.5 Resultados y Discusión.....	88
.....4.6 Conclusión.....	98
.....4.7 Literatura citada.....	100
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	106
6. RESUMEN CURRICULAR.....	107

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1. Composición química del ensilaje de especies de <i>Opuntias</i> tratadas con urea.....	46
2.2. pH de los ensilaje de las diferentes especies de <i>Opuntias</i>	50
2.3. Características de la digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca del ensilaje de diferentes especies de <i>Opuntia</i>	54
2.4. Características de la digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca del ensilaje de <i>Opuntias</i> adicionado con urea.....	56
2.5. Características de la digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca de <i>Opuntias</i> durante diferentes periodos de ensilaje.....	58
3.1. Parámetros productivos y características de la canal de ovinos alimentados con diferentes niveles de <i>Opuntia leucotrichia</i>	72
3.2. Consumo de nutrientes, parámetros ruminales y coeficientes de digestibilidad de ovinos alimentados con diferentes niveles de <i>Opuntia leucotrichia</i>	75
4.1. Ingredientes y composición química (base seca) de las dietas basales para cerdos en diferentes etapas de alimentación.....	86
4.2. Parámetros productivos de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de <i>Opuntia robusta</i>	89
4.3. Parámetros conductuales de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de <i>Opuntia robusta</i>	93
4.4. Características de la canal de cerdos alimentados con diferentes niveles de <i>Opuntia robusta</i>	96

Tabla		Página
4.5.	Características de la carne de cerdos alimentados con diferentes niveles de <i>Opuntia robusta</i>	99
Figura		
2.1	pH del ensilaje de las diferentes especies de <i>Opuntias</i>	51

Resumen

Con el objetivo de utilizar de Opuntias en la alimentación de animales domésticos se realizaron tres experimentos. En el primero, se evaluó el pH y la degradabilidad *in situ* de la materia seca (DEMS) de las Opuntias: *ficus indica* (OFi), *leucotrichia* (OL), *streptacantha* (OS) y *robusta* (OR), mezcladas con diferentes niveles de urea y ensiladas durante diferentes periodos. En el segundo, en ovinos, se midieron las características digestivas y productivas al consumir dietas con 0, 10, 20, 30 y 40% de OL en BS. En el tercero, en porcinos, se evaluaron las características productivas, conductuales y calidad de la canal al ser alimentados con dietas conteniendo 0, 5, 10 y 15% de OR en BS. La adición de urea mejora el valor nutricional del ensilaje, la DEMS fue afectada por la especie y nivel de urea, pero no por la duración del periodo de ensilaje. En ovinos, la ganancia diaria de peso (GDP) fue diferente entre las dietas (329, 227, 212, 185 y 253 g d⁻¹, para los tratamientos con 0, 10, 20, 30 y 40% de OL respectivamente); la conversión alimenticia fue mayor en la dieta al 20% (5.2) seguida por 30% (4.5), 10% (4.3), 40% (4.1) y 0% (4.1), el rendimiento en canal fue mayor conforme se incrementó el nivel de OL. En porcinos, la GDP fue mayor en los tratamientos 0, 5 y 10% (668, 650 y 623 g d⁻¹) comparados con 15% de OR (586 g d⁻¹), los animales alimentados con OR estuvieron más tiempo echados (70 vs 72.6%) más tiempo comiendo (78 vs 71%) y menor tiempo peleando (2.6 vs 16.9%), además de tener menos grasa dorsal y mesentérica y mayor área del ojo de la chuleta. Es posible el mejoramiento de la calidad nutricional de las Opuntias mediante el ensilaje con urea, la inclusión de Opuntias en dietas de ovinos y porcinos mantiene los

parámetros productivos y disminuye la grasa dorsal por lo que es una buena alternativa en los sistemas de producción donde estos recursos sean disponibles.

Abstract

With the aim to evaluate the use Opuntias as a food resource for livestock, three feeding trials were conducted. In the first, the pH and *in situ* degradability of dry matter (DDM) of the Opuntias: *ficus indica* (OFI), *leucotrichia* (OL), *streptacantha* (OS) and *O. robusta* (OR) mixed with 0, 2, 4, 6 or 8% of urea and ensiled for different periods. In the second trial, performance and digestive characteristics of fattening lambs fed diets with 0, 10, 20, 30 or 40% of OL on DM basis were evaluated. In the third trial, swine were used to evaluate performance, behavior, carcass and meat characteristics when 0, 5, 10 or 15% of OR were added in their diets. The addition of urea improved the nutritional value of silage when urea was added a maximum of 2% to the silage of OS, 4% to the silage of OFi and OR, OL; moreover, DDM was affected by specie evaluated and urea level, but not by duration of silage period. In lambs, the average daily gain (ADG) were different across diets (329, 227, 212, 185 y 253 g d⁻¹, for 0, 10, 20, 30 y 40% of OL respectively); the feed efficiency was higher in the 20% diet (5.2) followed by 30% (4.5), 10% (4.3), 40% (4.1) and 0% (4.1), the carcass dressing were higher as OL were increased. In pigs, the ADG was higher on the 0, 5 and 10% treatments (668, 650 y 623 g d⁻¹), compared with 15% de OR (586 g d⁻¹), the animals fed OR were lying (70 vs. 72.6%) and eating (78 vs. 71%) longer, and fought less (2.6 vs. 16.9%), had less dorsal and mesenteric fat and more rib eye area than the control group. The urea addition enhanced the nutritional quality of Opuntias silage, the inclusion of Opuntias in fattening lambs

and pigs sustain performance and reduce dorsal fat, thereby is an alternative where these resources are available.

Introducción

La distribución de zonas áridas y semiáridas a nivel mundial ocupa en promedio un 70%; gran parte estas áreas permiten el desarrollo de actividades agropecuarias; donde agua y alimento escasean la mayor parte del año. En México al igual que en Zacatecas el 70% de su territorio es árido y semiárido.

En estas condiciones de estiaje 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).

El interés del ser humano por las cactáceas data de miles de años, su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca, existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo de modo formal (Pimienta, 1990).

El género *Opuntia* se encuentra ligado de un modo muy particular a la historia de México y Mesoamérica; por ejemplo, en el escudo de México figura un águila posada sobre un nopal, mientras que Tenochtitlán significa “sitio del nopal que crece sobre la piedra” (Granados y Castañeda, 1996; Flores-Valdez, 2003). Actualmente se utilizan como verdura en la alimentación humana, forraje, sustrato para la producción

de la grana cochinilla, usos medicinales y en la elaboración de productos cosméticos (Beltrán *et al.*, 2009).

Las cactáceas se encuentran entre la flora mejor adaptada a diversas condiciones climáticas, crecen desde el nivel del mar hasta 3400 metros de altitud donde las temperaturas están siempre por sobre los 5°C hasta áreas en las que en el invierno llegan a -40°C (Nobel, 1999), aunque son más abundantes en las planicies y bases de las montañas de las zonas áridas y semiáridas ya que su resistencia a lluvia varía entre 360 a 1,000 mm anuales. (Flores-Valdez, 2003). En México junto con el maíz fueron la base de la agricultura para los pueblos prehispánicos.

Existen alrededor de 300 especies del género *Opuntia* de las cuales en México existen más de 100. Anaya-Pérez (2001) menciona que la región de Zacatecas es el área de la República con mayor cantidad de especies, algunas de estas endémicas.

A nivel mundial los diferentes tipos de cactáceas son un recurso apreciado por los aspectos ecológicos y sus aspectos productivos en agostadero, ya que ofrece grandes cantidades de biomasa en zonas áridas y semiáridas siendo así, una fuente atractiva de alimento por la eficiencia que tienen en convertir agua en forraje que puede ser utilizado para la alimentación de animales; esto se debe gracias al tipo de metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) que poseen estas plantas (Han y Felker, 1997; Nobel, 1994).

En años recientes este tipo de vegetación ha pasado de ser indeseable siendo removida para la siembra de gramíneas, a cultivos altamente rentables de las *Opuntias* para producción de tuna, nopal fresco para uso humano ó bien como forraje y germoplasma; Financiera Rural (2011) estima que existen hasta 3'000,000 has de silvestres y 210,000 cultivadas de nopal, los estados que predominan son Zacatecas,

Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco, Coahuila, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas y Chihuahua.

Desde el punto de vista nutricional las cactáceas poseen agua, vitaminas, microminerales, calcio, carbohidratos solubles y fibra en cantidades considerables, sin embargo son un alimento pobre en proteína y fósforo, además de varias propiedades farmacológicas que ayudan a bajar los niveles de colesterol y glucosa sanguíneos, es antioxidante y tiene características reostáticas; entre otros aspectos que se están estudiando.

Hipótesis

Las plantas del género *Opuntia* pueden ser conservadas y mejorar su valor nutricional mediante el ensilaje con urea; además, pueden ser usadas en dietas para porcinos y ovinos de engorda, como un sustituto de ingredientes alimenticios de alto costo, sin demeritar su productividad.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar y comparar el ensilaje con urea como alternativa para mejorar el valor nutricional de Opuntias y determinar las características productivas, digestivas y calidad de la canal de porcinos y ovinos de engorda alimentados con diferentes niveles de Opuntias.

Objetivos específicos

- Evaluar el pH y las características de la digestibilidad *in situ* de la materia seca de *Opuntia ficus indica* (OFi), *Opuntia leucotrichia* (OL), *Opuntia streptacantha* (OS) y *Opuntia robusta* (OR), mezcladas con diferentes niveles de urea y ensiladas durante diferentes periodos.
- Contrastar las características productivas y de la canal de ovinos en engorda alimentados con 10, 20, 30 y 40% de *Opuntia leucotrichia*.
- Comparar las características productivas, conductuales y de la canal de porcinos en engorda alimentados con 0, 5, 10 y 15% de *Opuntia robusta*.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DEL USO DE OPUNTIA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

1.1 Origen y distribución de las cactáceas

De acuerdo a Bravo (1978) la domesticación de *Opuntias* comenzó hace unos 8000 años. Callen (1965) ofrece un dato similar basado en el estudio de coprolitos humanos, fechados en unos 9,000 años, que contienen restos de la epidermis de este género.

Las cactáceas son originarias de América, hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agro climáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano, además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre (Sáenz *et al.*, 2006).

Las plantas de estos géneros son nativas de varios ambientes, desde zonas áridas, al nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes del Perú, desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por sobre los 5 °C a áreas de Canadá que en el invierno llegan a -40 °C (Nobel, 1999). Por esta razón, estas especies son un recurso genético de interés para zonas ecológicas muy diversas (Sáenz *et al.*, 2006).

Por todo lo anterior este tipo de vegetación es ahora parte del paisaje natural y de los sistemas agrícolas de muchas regiones del mundo, típicamente, existen tres sistemas principales de producción: comunidades de cactus silvestre, huertas familiares, y plantaciones comerciales intensivas, las cactáceas se ha adaptado

perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión, funcionando como cosechas vitales en casos de sequía extremos para humanos y animales (Reynolds y Arias, 2001).

De forma amplia se estima que la superficie mundial dedicada a este cultivo es de aproximadamente 100,000 ha (Inglese *et al.*, 2002), aunque no todos los países que lo cultivan concurren al mercado internacional (Flores, 2002).

México es el país que tiene la mayor superficie de nopal cultivado para tuna (67 mil ha) la que incluye 78 variedades diferentes (Flores 2002, Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005).

1.2 Descripción del género *Opuntia*

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3.5 a 6 m de altura, el sistema radicular es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa precipitación pluvial, misma que determina la longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo (Sudzuki, 1999; Villegas y de Gante, 1997).

Las pencas o cladodios presentan forma de raqueta ovoide o alargada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles (Sudzuki *et al.*, 1993).

El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días, en ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (Sudzuki, 1999). Las aréolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son

de dos tipos: algunas pequeñas (gloquidios) y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (Granados y Castañeda, 1997).

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable; los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos, los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores.

1.3 Características botánicas y fisiológicas de las cactáceas.

Uno de sus mayores atractivos es su anatomía y morfología adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, por lo que son una alternativa de cultivo para regiones donde difícilmente crecen otras especies (Nobel *et al.*, 1992). Las características de las plantas que las hacen adaptables al medio árido tienen relación con la conformación de varios de sus órganos. Según Nobel (1998) sus raíces superficiales y extendidas captan el agua de las escasas lluvias que caen en esos ambientes, las lluvias aisladas, por otra parte, inducen la formación de raíces secundarias que aumentan la superficie de contacto con el suelo lo cual facilita la absorción de agua y nutrientes, cuando se inicia la sequía, las raíces comienzan a contraerse de manera radial contribuyendo a disminuir la pérdida de agua.

Las cactáceas tienen los tallos suculentos comúnmente llamados pencas, donde se realiza la fotosíntesis, ya que los tallos modificados reemplazan a las hojas en esta función; se encuentran protegidos por una cutícula gruesa, que en ocasiones está cubierta de cera o vellosidades que disminuyen la pérdida de agua, presentan, además, gran capacidad para almacenar agua, ya que poseen abundante parénquima;

en este tejido se almacenan considerables cantidades de agua lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía (Sudzuki *et al.*, 1993)

Cabe destacar el papel de los mucílagos (hidrocoloides presentes en este tejido) que tienen la capacidad de retener el agua, las pencas presentan pocos estomas por unidad de superficie con la particularidad de permanecer cerrados durante el día y abiertos en la noche; esto evita la pérdida de agua por transpiración durante el día y permite durante la noche la entrada de bióxido de carbono (CO₂), materia prima indispensable para la fotosíntesis (Nobel *et al.*, 1992).

El tipo particular de fotosíntesis que presentan los nopales, corresponde al metabolismo del ácido crasuláceo (plantas CAM), la apertura nocturna de los estomas permite la toma de CO₂, lo que conduce a una acidificación gradual del tallo, los estomas, en condiciones de déficit hídrico extremo, permanecen cerrados durante el día y la noche, evitando la transpiración y la entrada del CO₂, en este caso, el agua y el CO₂ producidos por la respiración son utilizados para la fotosíntesis, situación que explica la lenta deshidratación y degradación que sufren las pencas durante un periodo prolongado de sequía extrema, la interrelación entre la anatomía y la fisiología para la conservación del agua de las plantas CAM es crucial para su éxito ecológico e incrementa su potencialidad agrícola en terrenos áridos y semiáridos (Nobel, 1998).

Estas plantas poseen también gran resistencia, sobre todo, a altas temperaturas, aunque algunas especies también resisten hasta -40 °C (Sudzuki *et al.*, 1993; Nobel, 1998). Estas cactáceas han jugado un papel ecológico decisivo al frenar la degradación de suelos deforestados. Si se considera la porción de superficie terrestre árida o semiárida apta para cultivar estas especies que requieren poco o

ningún aporte de agua, puede comprenderse su importancia agronómica (Pimienta, 1997).

Otro de los cambios ambientales que afectan al planeta es el incremento global del CO₂, originado, entre otras cosas, por la creciente deforestación, lo que incide en los principales ecosistemas del mundo, ante el alto grado de perturbación ambiental, las *Opuntias* pueden ser una alternativa potencial para captar parte del incremento de CO₂ ya que son unas de las pocas especies que pueden establecerse con éxito en superficies deterioradas (Pimienta, 1997; Nobel y Bobich, 2002).

Las cactáceas son consideradas como “el puente de la vida”, ya que tanto los tallos que acumulan gran cantidad de agua, como los frutos, sirven de alimento para que el ganado subsista en épocas de sequía y los pastores cuenten con alimento, contribuyendo así de manera importante, a la supervivencia de ambos (SAERT, 1994). Para países con problemas de alimentación sería muy importante que se difundiera el consumo de cactáceas con las variadas formas que se acostumbran en México, sería posible disminuir la desnutrición y mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Sáenz, 2000).

La constante búsqueda de especies vegetales apropiadas para cultivarse en zonas áridas es una preocupación permanente de la mayoría de la gente que vive en estas regiones. Las cactáceas llenan la mayoría de los requerimientos de un forraje tolerante a sequía y de acuerdo con De Kock (1998), estos requisitos son los siguientes:

- 1) Sobrevivir a sequías prolongadas.
- 2) Tolerar alta carga animal.
- 3) Proveer forraje succulento a los animales durante la sequía.

- 4) No tener efectos adversos en la salud del animal que lo consume.
- 5) Tolerar uso severo y poseer buena capacidad de recuperación.
- 6) Tener bajo costo inicial de establecimiento y mantenimiento.
- 7) Tolerar un amplio rango de condiciones de suelo y clima, de manera que puedan ser plantados donde la producción de forrajes comunes es incierta.

Las características con que la naturaleza ha dotado a las cactáceas hacen de ellas unas promisorias plantas de alto provecho para la humanidad (Sáenz *et al.*, 2006).

1.4 Taxonomía y variedades del género *Opuntia*

El nopal es una planta suculenta que crece en forma de arbusto con una altura de 2 hasta 6 m esta planta tiene una gran capacidad de resistencia a la sequía, por lo que a pesar de su bajo contenido de nutrimentos se considera como una fuente de forraje emergente para el ganado durante la época crítica de sequía, además de una fuente de agua excelente durante toda la época del año (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

Los nopales pertenecen a la familia *Cactaceae*, la taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos inter específicos (Márquez-Berber *et al.*, 2012).

Distintos autores presentan variaciones en la colocación taxonómica de los nopales dentro de la familia *Cactaceae* (Scheinvar, 1999; Reyes-Agüero *et al.*, 2005). El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de *Opus* en Grecia (Scheinvar, 1999).

La familia de las cactáceas comprende 125 géneros y más 1000 especies, mientras que el género *Opuntia* presenta casi 300 especies (Scheinvar, 1995). En Norteamérica se localizan 92 géneros de Cactáceas, de los que 61 están representados en México encontrándose 104 especies y variedades (Márquez-Berber *et al.*, 2012).

Aguilera *et al.*, (2006) describen las variedades de nopal más importantes en Zacatecas:

Duraznillo (*Opuntia leucotrichia*). Es la especie más ampliamente distribuida, posee una velocidad de crecimiento rápido y crece en forma arbórea, se desarrolla en altitudes de 1500 a 2700 msnm, produce gran cantidad de rebrotes y frutos; es resistente a plagas pero sensible al frío, posee espinas pequeñas que hacen que sea la especie que implica mayor tiempo en su chamuscado.

Cardón (*Opuntia streptacantha*). Se caracteriza por sus pencas de gran tamaño y es muy apreciada por la calidad de sus frutos, crece en forma arbolada, su velocidad de crecimiento es de media a baja, es sensible al frío y a plagas, posee pocas espinas y gruesas que facilitan el chamuscado.

Tapón (*Opuntia robusta*). Posee las pencas de mayor tamaño, puede crecer en forma rastrera y arbórea, tiene un patrón de crecimiento mediano, es muy resistente a plagas y a frío, las espinas son largas y muy gruesas, es de las variedades más fáciles de chamuscar aunque es de las menos preferidas cuando se chamusca para pastoreo siendo bien aceptado ya picado.

Rastrero (*Opuntia rastrera*). Posee pencas de mediano tamaño, crece solo en forma rastrera y crecen a su alrededor otras plantas ya que forma micro represas que acumulan mayor cantidad de humedad, sus espinas son abundantes y resistentes al

calor por lo que aunado a la posible quema de las plantas subyacentes hacen difícil su chamuscado. Es medianamente resistente al frío y resistente a plagas.

Cuijo (*Opuntia cantabrigiensis*). Posee pencas delgadas de mediano tamaño con abundantes espinas largas, sensible al frío y plagas, los animales prefieren sus frutos y pencas una vez chamuscado.

Castilla (*Opuntia ficus-indica*) con espinas es la principal variedad utilizada para la producción de tuna, tiene un crecimiento mediano en forma arbórea, es muy sensible al frío y a plagas, tiene espinas medianas y gruesas.

Verdulero o forrajero (*Opuntia ficus-indica*). Es la variedad de más rápido crecimiento, crece en forma arbórea, no posee espinas en las pencas adultas, es la especie de mayor distribución en años recientes, es muy sensible al frío y plagas.

1.5 Antecedentes del uso de *Opuntias* como forraje en México

El ganado traído de la India Oriental por los españoles provocó una revolución en la economía de la Nueva España, e inmensas áreas antes en desuso para la agricultura, comenzaron a utilizarse, el ganado fue usado como fuente básica de alimentación, impulsando a la agricultura, ofreciendo tracción animal, transporte, a la minería ya que los animales eran utilizados como fuente de fuerza y transporte, en los inmensos pastizales vírgenes que existían, el ganado se multiplicó y extendió desde la parte norte centro de la Nueva España durante el siglo XVI, a pesar de haber disminuido notablemente en el siglo XVII, los números eran tan grandes que en varias regiones se formaron manadas salvajes (Anaya-Pérez, 2001).

La alimentación del ganado era provista en su mayoría por recursos naturales, y eso incluía a las cactáceas, la reproducción del ganado era espontánea, y a menudo,

los mismos dueños ignoraban cuantos animales poseían (Chevalier, 1982). Durante el siglo XVIII el nopal y el maguey eran utilizados como forraje y una vez cortados, se le daban al ganado (Flores y Aranda, 1997), esta práctica era común en los estados mexicanos de la frontera con USA, mencionado por el alemán Karl Kaerger en 1896, en un estudio cuyo objetivo era investigar los factores agrícolas en los que Alemania podría invertir, considerando las facilidades otorgadas por el gobierno de Porfirio Díaz a los extranjeros (Anaya-Pérez, 2001). La importancia de *Opuntias* como forraje en el siglo XIX fue el resultado de la necesidad de alimentar al ganado en las zonas áridas del país, donde las temporadas de sequía son muy largas, ya que son un excelente alimento para el ganado (Flores y Aguirre, 1992).

El interés del gobierno por el desarrollo de las zonas áridas, que constituyen el 70 por ciento del territorio nacional, condujo a la creación de la Comisión Nacional para Zonas Áridas (CONAZA) en 1970. Esta institución brindaba apoyo a las zonas donde no era posible obtener cosechas lucrativas de grano, a menos que fueran irrigadas. CONAZA propuso un programa para aumentar el uso de plantas silvestres como *Opuntia*, candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), fibra yuca (*Yuca filifera*), y mesquite (*Prosopis juliflora*). De acuerdo con un estudio preliminar de un censo de 1970, más del 50 por ciento del ganado y ovejas, y casi un 80 por ciento de las cabras en el país se localizaban en zonas áridas, y fue ahí donde el nopal y el maguey se hicieron indispensables, porque proveían alimentación y agua a los animales (Flores *et al.*, 1995).

Los habitantes del norte de México han utilizado cactáceas para forraje durante varias décadas, y la industria lechera en las zonas áridas del norte continúa usándolas como forraje, en 1966, se utilizaban 600 toneladas diarias de *Opuntia* para

el ganado en Monterrey y Nuevo León; y 100 en Saltillo y Coahuila (Granados y Castañeda, 1997).

El ganado, y sobre todo las cabras y las ovejas, consumen nopal casi todo el año, los ganaderos queman las espinas de las pencas seleccionadas, aunque en ocasiones, también queman las de las plantas que aún no han sido cortadas (Flores y Aguirre, 1992).

La Secretaría de Agricultura promovió las plantaciones de cactáceas para forraje en varias regiones. La recolección de *Opuntia* y para forraje fue prohibida en Coahuila, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, y los ganaderos fueron penalizados por quemar las espinas de estas plantas para ser enviadas al mercado, asimismo, se apoyó su aprovechamiento industrial, como se registró en Zacatecas, donde el Gobierno del Estado inició una campaña para industrializar *Opuntia*, especialmente el tipo cardón, la reducción de poblaciones de cactáceas obligó a la Secretaría de Agricultura a poner en marcha un programa de Mejoramiento Genético de dichas plantas en 1961, el principal objetivo de los programas de mejoramiento fue obtener variedades sin espinas, que, además de producir fruta de alta calidad, permitirían alimentar al ganado con las pencas (Anaya-Pérez, 2001).

La disponibilidad de forraje de cactáceas en México depende principalmente de poblaciones silvestres compuestas de las especies descritas anteriormente, las cuales se distribuyen en 283 000 km², desafortunadamente estas áreas han sido objeto de uso indiscriminado y escaso manejo, la sequía recurrente asociada con la escasez de otros alimentos animales han incrementado la demanda de forraje de este tipo de vegetación, la productividad de dichos agro sistemas es relativamente baja e

inestable, fuertemente dependiente del clima y las condiciones de manejo (López-García y Fuentes-Rodríguez, 2001).

Desafortunadamente el desarrollo de muchas cuencas del país emana de una larga y compleja historia de ocupación y apropiación de los recursos naturales, donde la escasa planeación, falta de tecnologías apropiadas, procesos y políticas poco claras de producción provocan aprovechamientos poco sostenibles, que derivan en ruptura de ciclos naturales (ciclos del agua, carbono, oxígeno, etc.), pérdida de servicios ambientales y deterioro de los ecosistemas (Casillas, 2004), así como un incremento en la vulnerabilidad de la población. Cotler *et al.* (2007) señalan que esta es una razón fundamental para priorizar prácticas de aprovechamiento sostenible de los invaluable recursos naturales.

Es necesario un aprovechamiento racional de las plantas ya que las sequías son algo recurrente y se debe estar preparado en lo posible para el forraje de emergencia del próximo año, si bien es cierto que muchas plantas de este tipo se estimulan con una poda de sus pencas, las pencas junto con sus raíz realizan las actividades metabólicas por lo que si se cosechan gran parte de la planta esta tardará mucho tiempo en recuperarse y muchas veces no se recupera (Aguilera *et al.*, 2006; Gutiérrez, 2006).

1.6 Valor nutritivo de las cactáceas.

El uso de estas plantas como alimento humano, para animales domésticos y silvestres ha sido muy importante en las regiones áridas y semiáridas del norte de México durante siglos, aunque han sido considerados pobres en términos de nutrientes y fibra, constituyen la principal fuente de agua en los sistemas de

producción tradicionales, particularmente durante la época seca de invierno y primavera, este tipo de vegetación es un ingrediente clave para suplementar la dieta de los animales domésticos (Gutiérrez, 2006) debido a su:

Contenido de agua. Las cactáceas son una de las principales fuentes de agua para los animales en el norte semiárido, sin embargo, la cantidad total de agua almacenada depende de la especie y la variedad. El contenido de agua es fuertemente influenciado por las condiciones ambientales.

Los cladodios frescos sin espinas contienen cerca de un 90% de agua; por lo que un rumiante de 400 kg requiere consumir 4.4kg de Opuntia seca para satisfacer sus requerimientos nutricionales de mantenimiento; esto significa que tendría que consumir de 44 a 45kg de cladodios frescos, sin embargo, los animales no consumen más de 40kg de nopal al día (Mahouachi *et al.*, 2012).

Contenido de materia seca (MS). Varios factores afectan significativamente el contenido de MS, endógenos (especie, genotipo y variedad) y ambientales, tales como el suelo, el clima y al estación del año.

Análisis bromatológico, hay diferencias significativas entre los datos informados de los análisis de tejidos, asociados con la variación entre especies, factores fisiológicos, fertilidad del suelo, clima, etc.

Minerales. Existen pocos informes de estudios sobre contenido mineral en cactáceas en México. De acuerdo a Ramírez Lozano *et al.* (2000), los principales componentes minerales de las cenizas de estas plantas en general son calcio, potasio, magnesio y sodio, usualmente encontrados como sales y silicio, mientras que hierro y aluminio son encontrados en trazas.

El primer paso en la evaluación de un forraje es realizar una serie de análisis químicos elementales, donde se tenga una aproximación del contenido de nutrientes tales como agua, proteínas, lípidos, carbohidratos y minerales. Los métodos clásicos de evaluación química son el análisis Proximal o de Wendee y el método de Van Soest (1994).

Para el caso de las cactáceas, como en todos los forrajes, no se recomienda el análisis Proximal ya que cuando se analiza fibra cruda, esta fracción es degradada durante el proceso y por lo tanto sub evaluada, sin embargo, el análisis proximal es muy útil para estimar cenizas y PC, fracciones que son de mucha utilidad para identificar la utilización potencial del forraje (Gutiérrez, 2006).

La PC incluye componentes como la proteína verdadera, aminoácidos libres y nitrógeno no proteico (urea, nitratos, etc.), los cuales son fundamentales tanto para el animal y los microorganismos ruminales (Ramírez-Lozano, 2003).

Ha sido demostrado por un gran número de publicaciones de que cuando la PC es menor al 7%, el consumo voluntario de forraje se ve disminuido drásticamente (Mathis, 2000). Ramírez-Lozano *et al.* (2000) encontraron que a través del año *Opuntias* nunca alcanzan valores de PC arriba del 7%, por lo que es evidente que para lograr una buena utilización y consumo debe de ser complementado con algo de PC.

Las cenizas representan la parte inorgánica del forraje y por lo tanto esta fracción no aporta energía, entonces, si se considera que la función primordial de los forrajes es aportar energía, esta es una seria desventaja, ya que *Opuntias* contienen dos o tres veces más minerales que la mayoría de los forrajes (López-García y Fuentes-Rodríguez 2001).

El rumiante en condiciones normales requiere no más del 3 – 4% de la dieta en forma de minerales, suponiendo que todos los minerales requeridos estén de manera balanceada en las cactáceas, esto implica que aproximadamente el 20% de la planta consumida tenga que ser excretado ya sea vía heces u orina (Gutiérrez, 2006).

Con respecto a los componentes energéticos de las cactáceas, se ubican tanto en la pared celular o como en el contenido celular del forraje, el análisis proximal no identifica ninguno de estos dos componentes por lo que el método a usar es el de Van Soest *et al.*, (1991).

Evaluaciones realizadas por Ramírez *et al.* (2000) menciona que el contenido de fibra detergente neutro del nopal, que es la fracción formada por celulosa, hemicelulosa y lignina principalmente, es solo del 36.8%, por lo que implica que el resto (63.2%) representa el contenido celular y pectinas, estas fracciones (excepto los minerales) se digieren prácticamente en un 100 % (Van Soest, 1994).

La materia seca está formada de PC, cenizas, lípidos y carbohidratos; sin embargo, los nuevos sistemas de alimentación (NRC, 2001) usan la estimación de los carbohidratos no estructurales (CNE) que son totalmente digestibles y se definen como la diferencia entre la materia seca menos la FDN, PC, cenizas y extracto etéreo (EE).

Las *Opuntias* son ricas en carbohidratos no estructurales (61-79%); lo que hace que esta planta suministre un mayor aporte de energía si se compara con el rastrojo de maíz (*Zea mays*) con 2.25 vs 1.69 Mcal/kg, respectivamente (Bezerra *et al.*, 2002; Torres, 2011)

Bezerra *et al.* (2002) concluyeron en su estudio que, la interacción a nivel ruminal de la actividad microbiana y los CNE del nopal (*ficus-indica*) incrementa la

fermentación ruminal y mejora el aprovechamiento del alimento ingerido debido a que permite: una mayor digestibilidad de materia seca y materia orgánica, así como un mayor aprovechamiento de los nutrientes para el desarrollo microbiano. Esta relación positiva entre digestibilidad del alimento y desarrollo microbiano provoca un incremento en la formación de ácidos grasos volátiles (Hall y Herejk, 2001).

Ramírez *et al.* (2000) reportan valores de FDN, PC y cenizas de 36.8, 6.0 y 22.5%, respectivamente, y aunque no estiman EE. Shoop *et al.* (1977) estimaron un valor de energía digestible para cactáceas de 2.61 Mcal/kg , lo que representaría según los cálculos del NRC (1996) un valor de 2.1 Mcal EM/kg (2.61×0.82).

Ramírez *et al.* (2000) reportaron que los macro minerales calcio, magnesio y potasio, así como los minerales trazas zinc, manganeso y fierro se encuentran en adecuadas cantidades en *Opuntias*; sin embargo, el fósforo, sodio y cobre están por debajo de los requerimientos del ganado. Es de esperarse que los requerimientos de vitamina A sean cubiertos fácilmente por estas plantas debido a sus concentraciones de carotenos.

1.7 Las *Opuntias* en la alimentación animal

La utilización de estas plantas implica cierta labor antes de ser administradas a los animales. Las cladodios de las *Opuntias* se les chamuscan las espinas con fuego directo y posteriormente se pica antes de ser ofrecido a los animales.

1.7.1 Porcinos.

Los trabajos disponibles en respecto a la alimentación en cerdos son escasos, sin embargo este campo puede ser una línea de investigación prometedora ya que

Laurenz *et al.* (2003) reportan disminución en los niveles de glucosa sanguíneos al suministrar extracto de nopal a cerdos con diabetes inducida, Qiu *et al.* (2007) reportaron efecto desinflamatorio de compuestos aislados de nopal, antiviral en equinos (Ahmad *et al.*, 1996), antioxidante, (Butera, 2002; Tesoriere, 2004) y hepatoprotector (Galati *et al.*, 2005).

1.7.2 Rumiantes.

Los rumiantes son las especies en las que se utiliza más ampliamente las Opuntias, no se puede utilizar como fuente única de alimento, es necesario complementar la dieta con ingredientes con proteína, energía, fibra y minerales para alcanzar los objetivos de mantenimiento o crecimiento o engorda buscados ya que los animales que consumen solo nopal difícilmente alcanzan a cubrir estos requerimientos. El consumo de nopal forrajero por ovinos y caprinos fluctúa entre 5-12 kg; en bovinos varía de 15-95kg al día (Urrutia *et al.*, 2007). Aguilera *et al.* (2006) menciona que los nutrientes que se deben de complementar en una dieta de nopal son:

Materia seca o alimento seco. Difícilmente un animal en agostadero alcanza a consumir todo lo que necesita de forraje utilizando como fuente el nopal, este tiene en promedio el 12% de materia seca y el 88% restante es agua; esta problemática se acentúa cuando se busca alimentar animales jóvenes.

Proteína cruda (PC). En promedio el nopal posee 4% de PC, los rumiantes como requerimiento mínimo para el buen funcionamiento del rumen necesitan 8% de PC en la dieta, los ingredientes de mejores características nutricionales y precio para cubrir los requerimientos de proteína en dietas de nopal son la pollinaza y la harinolina, la pollinaza es una fuente económica de proteína teniendo una parte de

esta que se degrada rápidamente en rumen y otra con tasa de degradación lenta que ayuda a mantener las condiciones para el crecimiento de microorganismos ruminales, además de tener niveles altos de fósforo que es un mineral muy deficiente en el nopal, la harinolina es un alimento tradicionalmente utilizado en combinación con el nopal, su principal característica es que tiene una degradación ruminal constante pero lenta manteniendo por largos periodos las condiciones de crecimiento de los microorganismos ruminales. Es necesario utilizar alimentos con tasa de degradación de proteína lenta ya que de utilizar alimentos de degradación rápida como pasta de soya o urea la cantidad de proteína que se va a tener que suplementar es mayor.

Fibra o forraje parte del nopal. Esta se digiere en forma rápida, mientras que las fibras de este se degradan de manera muy lenta, es necesario regular con la inclusión de un forraje fibroso como rastrojo de maíz, paja o heno de avena, cebada o trigo la velocidad a la que el nopal pasa por el rumen disminuyendo así las diarreas mecánicas y asegurando también el consumo de materia seca.

Fósforo. Es necesario suministrar alimentos con fósforo ya sea roca fosfórica, preparados comerciales o pollinaza ya que tiene diversas funciones en el animal, sobretodo se ve reflejado en la reproducción.

Sal. Se ofrece sal a libre acceso para que los animales mantengan un balance osmótico en lo relacionado a sodio, cloro y potasio, reduciendo así la incidencia de diarreas mecánicas.

1.7.2.1 Bovinos

Para el caso de bovinos, específicamente el ganado lechero estabulado, Fuentes (1997) menciona que es posible registrar consumos de nopal fresco de entre

10 y 30 kg/día, lo que equivale a un consumo de materia seca de entre 1.2 a 3.6 kg diarios. Recientemente, Torres (2011) reporta vacas comiendo más del 50% de nopal en su dieta, con proporciones superiores a 19kg de leche al día. Por otro lado, Flores y Aguirre (1989) reportan que cuando el nopal es el único forraje disponible, se han registrado consumos promedio de nopal fresco en vacas lecheras de 60 a 77 kg/animal/día, con consumos máximos de 117 kg. Shoop *et al.* (1977) evaluaron el uso de nopal para vaquillas en crecimiento. Al comparar dos grupos consumiendo una dieta a base de heno de gramíneas más un suplemento de harinolina (0.30 kg/animal/d) pero con y sin nopal, se observó que el consumo de materia seca se incrementó hasta en un 40% en el grupo consumiendo nopal y las ganancias diarias de peso en un periodo de 84 días fueron significativamente mayores (0.67 vs. 0.39) en las vaquillas que comieron nopal a razón de 2.5 kg MS/animal/d. los mismos autores comparan al nopal con la alfalfa y lo consideran de similar calidad en cuanto a su digestibilidad y contenido energético.

Pérez *et al.* (2010) determinaron que, la producción láctea se incrementó de 7.1 a 10.9 L/d en vacas cuya dieta fue complementada con nopal. Así mismo, García Guzmán *et al.* (2014), sugieren que la complementación del nopal en la alimentación del ganado es una alternativa, no solo para incrementar la producción láctea en época de estiaje, sino que mejora la calidad de la misma.

Ortiz *et al.* (2011) al evaluar la leche cruda derivada de vacas alimentadas con nopal presentó una mejora en la calidad microbiológica en lo que respecta a UFC/ml de bacterias mesófilas aerobias y organismos coliformes totales. Medina *et al.*, (2006) encontraron que, el aumento de ácidos grasos volátiles por efecto de la dieta complementada con nopal favoreció a la formación de propionato (12.02 nM), el cual

proporciona entre el 25 y 55% de la síntesis de glucosa. Lo cual es muy importante debido a que la producción de lactosa sintetizada en la ubre, está determinada por la cantidad de glucosa (Giraldo *et al.*, 2007).

Flores y Aguirre (1989) reportaron que cuando toretes de 180 a 200 kg de peso vivo son alimentados con nopal y un suplemento proteico-mineral en cantidades de 1.5 a 2.5 kg/animal/día, es posible lograr ganancias diarias en dichos animales similares a las encontradas cuando se usan forrajes de pastoreo (600 a 800 g/animal/día). Además, mencionan que cuando se han comparado forrajes como ensilaje de maíz con nopal, animales alimentados con nopal han mostrado igual comportamiento productivo pero a un costo menor.

1.7.2.2 Ovinos

La principal causa que limita el consumo de nopal en los rumiantes es su alto contenido de agua (Andrade-Montemayor *et al.*, 2011); aunque en condiciones de sequía esto puede representar una ventaja, ya que se ha observado que borregos pueden estar consumiendo nopal fresco por varios meses sin tener acceso a agua de bebida. Cuando se quiera que los borregos consuman mayor cantidad de nopal se recomienda deshidratar o marchitar por unas horas el nopal picado para antes de suministrarlo en los comederos.

Flores y Aguirre (1992) mencionan, que ovinos consumiendo nopal con diferentes concentraciones de materia seca ya sea en forma fresca, oreada o deshidratado, su consumo de agua en bebedero aumentaba considerablemente al disminuir la concentración de agua en el nopal, representando el agua suministrada por el nopal el 99, 77 y 12 %, cuando se ofreció fresco, oreado y seco,

respectivamente. Esto es similar en los bovinos, aunque los borregos y cabras son mucho más eficientes para llenar sus requerimientos de agua a partir del nopal por dos razones: las excretas de ovinos y caprinos contienen mayor materia seca, y porque consumen mayor cantidad de alimento en base a su peso vivo que los bovinos.

Ovinos recibiendo el nopal oreado o fresco consumieron un 22 y 32 % menos materia seca que borregos recibiendo nopal deshidratado (507 g/d). Flores y Aguirre (1989) reportan de 6.5 a 11 kg/animal/día, lo que equivale a un consumo de materia seca de 0.85 a 1.4 kg/animal/día. El nopal incorporado en la dieta de ovinos mejora la ganancia diaria de peso (Gebremariam *et al.*, 2006); así como la conversión alimenticia y los costos por alimento (Aranda *et al.*, 2008).

Es muy importante señalar que para obtener los consumos máximos de forraje deficientes en proteína cruda (como es el nopal) resulta indispensable hacer la suplementación correspondiente para evitar así deficiencias de nitrógeno a los microorganismos del rumen, lo que les imposibilitaría hacer la digestión normal de la fibra (Ramírez Lozano, 2003; Gutiérrez, 2006).

Gutiérrez (2006) alimentó un hato de borregas Damara estabuladas a un lado del cultivo de nopal forrajero, teniendo como objetivo es llegar a alimentarlas a través de su ciclo reproductivo con la mayor cantidad de nopal posible, por lo que a tres corrales de 16 animales cada uno se les suministró diariamente 150 kg de nopal fresco, lo que implica un consumo diario de nopal de 9 kg por animal, concluyendo que estos animales consumen sin ningún problema dicha cantidad, sin embargo al aumentar en 2 o 3 kg la cantidad de nopal ofrecida se observó que algunos presentaban diarrea.

1.7.2.3 Caprinos

Gutiérrez (2006) observó consumos diarios de nopal que variaron de 500 a 600 g de materia seca/animal (3.8 a 4.6 kg/animal base húmeda) en machos adultos con un peso vivo de aproximadamente 50 kg. En el ensayo, el nopal representó el 56 % de la dieta donde el resto de los ingredientes fueron el zacate Buffel (34.1 %), harina de soya (7.1 %) y suplemento mineral (1.8 %). Cuando se compararon los consumos de materia seca de animales alimentados con dietas conteniendo nopal, contra los de aquellos alimentados solo con zacate Buffel y suplemento proteínico y mineral, aquellos animales que recibieron nopal consumieron un 58 % más de materia seca (630 vs. 1000 g/animal/día).

La carne de caprinos alimentados con nopal presenta una mayor proporción de ácidos grasos insaturados y en especial ácido linoléico (Atti *et al.*, 2006). Algunos estudios muestran que es posible producir adecuadamente leche de cabra cuando se incluye el nopal hasta el 40% de la dieta, esto implica que sería posible incluir exitosamente un mayor porcentaje de nopal en animales en gestación o crecimiento, ya que estos procesos requieren menor cantidad de nutrientes.

Azócar (2001) evaluó el consumo y su influencia sobre el peso animal y en la producción de leche en animales alimentados con forraje verde de *Atriplex nummularia* y de nopal, con el 30% en una dieta basada en alfalfa. Los tratamientos fueron: (1) 100% heno de alfalfa; (2) 70% alfalfa y 30% de *A. nummularia*; (3) 70% alfalfa y 30% de nopal. Las cabras fueron confinadas permanentemente y la sustitución de alfalfa con las otras dos fuentes se basó en el contenido de materia seca. El heno de alfalfa fue usado como alimento sin cortar, mientras que los cladodios de *Opuntia* y *A. nummularia* fueron cortados. El consumo fue registrado

diariamente, y la cantidad ofrecida fue ajustada semanalmente. Tanto el peso animal como la producción de leche se midieron al inicio y luego cada 20 días.

Los resultados indicaron diferencias significativas en el consumo de materia seca entre los tratamientos 1 y 2 y en el consumo promedio, siendo este mayor para el tratamiento con nopal. Las ganancias totales en peso y las ganancias diarias se redujeron significativamente con la inclusión de *A. nummularia* y el nopal produjo un efecto positivo en la producción de leche. El investigador concluyó que: (i) Es posible reemplazar hasta el 30% de la ración de heno de alfalfa con nopal, sin afectar significativamente el consumo, el peso y la producción de leche; (ii) La inclusión de cladodios de nopal en la ración diaria de las cabras durante el período de lactancia promueve a un mayor consumo e incrementa la producción de leche. (iii) El reemplazo de heno de alfalfa con 30% de *A. nummularia*, no afectó significativamente el consumo de materia seca, pero tuvo un efecto negativo en el peso del animal y redujo significativamente la producción de leche. Morais *et al.* (2009) estudiaron el efecto del uso del nopal en las características sensoriales de la leche de cabra y concluyeron que el nopal no afecta las características sensoriales de la leche, por lo que su uso no afecta el sabor deseado por los consumidores.

1.8 Literatura Citada

Aguilera, S.J.I., Ramírez L.R.G. y Méndez L.F. 2006. Utilización de nopal como alimento animal en Valdez C.R.D., Blanco M.F., Reveles H.M., Rubio A.F.A., Aréchiga F.C.F. y Urista T.J. eds 2006 El nopal en la producción animal. UAZ, Zacatecas México.

- Anaya-Pérez, M.A. 2001. History of the use of opuntia as forage in Mexico. pp. 5-12.
En Mondragón-Jacobo, C. y Pérez-González S. (Editores). Cactus (*Opuntia spp.*) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169.
- Ahmad, A, Davies J, Randall S, Skinner G.R. 1996. Antiviral properties of extract of *Opuntia streptacantha*. Antiviral Res. 30:75-85.
- Anaya-Pérez, M.A. 2001. Historia del uso de opuntia como forraje en México en Mondragón-Jacobo C., Pérez G.S. Arias E., Reynolds S.G. y Sánchez D.M. 2001 El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje FAO 162, Italia.
- Andrade-Montemayor, H. M., Cordova-Torres, A. V., García-Gasca, T., y Kawas, J. R. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata spp.*) and Nopal (*Opuntia spp.*). Small Rumin. Res. 98: 83-92.
- Aranda, O. G., Flores, V. C., y Cruz, M. F. 2008. Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in Mexico. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 2008: 49-55.
- Atti N., Mahouachi M. y Rouissi H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. Meat Science. 73(2): 229- 235.
- Azocar, 2001. Opuntia como alimento para rumiantes en Chile. En Mondragón-Jacobo C., Pérez G.S. Arias E., Reynolds S.G. y Sánchez D.M. 2001 El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje FAO, Italia.
- Beltrán, O.M.C., Oliva, C.T.G., Gallardo, V.T. y Osorio, R.G. 2009. Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry yellow and white

- types de pitaya cactus fruit *Stenocereus stellatus* Ribocobono. *Agrociencia*. 43:153-162.
- Bezerra, A.D.K., De Andrade, F., Sherlanea, C.V.A., Lima, W.W. y Evandro, S.L. 2002. Digestibilidad e Absorção Aparentes em Vacas da Raça Holandesa Alimentadas com Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em Substituição à Silagem de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *R. Bras. Zoot.* 31:2088-2097.
- Bravo, H. 1978. *Las Cactáceas de México*. Tomo 1. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongionnom A., Allegra, M., Pintaudi, A.M., Kohen, R., y Livrea, M.A. 2002. Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *J Agric Food Chem.* 50:6895-6901.
- Callen, E.O. 1965. Food habits of Some Pre-Columbian Mexican Indians. *Economic Botany* 19:335-343.
- Casillas, G.J., 2004. *El programa nacional de microcuencas: una estrategia de desarrollo integral*, México.
- Chevalier, F. 1982. *La formación de los latifundios en México*. FCE, México. 510 p.
- Colunga, G.B., Arriaga Jordán, C.M., Velázquez Beltran, L., González Ronquillo, M., Smith, D.G., Estrada-Flores, J., Rayas-Amor, A. y 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.* 37:143-157.

- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. 2007. La conservación de suelos un asunto de interés público. Gaceta ecológica. INE, SEMARNAT. México.
- Reyes Agüero, J.A., Aguirre Rivera, J.R. y Flores Flores, J.L. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (*Cactaceae*) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia*, 30:476-484.
- De Kock, G.C. 1998. The use of cactus pear (*Opuntia spp.*) as a fodder source in the arid areas in Southern Africa. p.83-95, En: Proc. International Symposium on Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses. Universidad de Chile, Santiago, and FAO International Cooperation Network on Cactus Pear.
- Flores, V.C.A. y Aguirre, R. 1989. El Nopal como Forraje. Universidad Autónoma de Chapingo. 2ª ed. Chapingo. México
- Flores, V.C.A. y Aguirre, R. 1992. El Nopal como Forraje. CIESTAAMUACH. Chapingo Edo. de México. 2ª reimpresión 80 p.
- Flores, H.A., Murillo S., Borrego, E., y Rodriguez, O. 1995. Variación de la composición química en estratos de la planta de 20 variedades de nopal. In: E. Pimienta-Barrios, C. Neri-Luna, A. Muñoz U. & F. Huerta M. (comp.). Memorias del 6o Congreso Nacional y 4o Internacional sobre et Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jalisco, México.
- Flores, V.C. y Aranda O.G. 1997. *Opuntia*-based ruminant feeding systems in México. *Jour. Prof Assoc. Cactus Development*, 2: 3-8.
- Flores, V.C.A. 2002. El nopal y la lucha contra la desertificación. Reporte de Investigación 59. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y

- Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 1-58.
- Flores-Valdez, C. 2003. Importancia del nopal. pp. 1-18. En: C. A. Flores Valdez, ed. Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización. 1ª Ed. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM. México.
- Fuentes, R.J. 1997. El nopal: alternativa forrajera en las zonas áridas del norte de México. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. FAO, Facultad de Agronomía UANL, Monterrey N. L. p. 82 – 87.
- Galati, E.M., Mondello M.R., Lauriano E.R., Taviano M.F., Galluzzo M., Miceli N. 2005. *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. fruit juice protects liver from carbon tetrachloride-induced injury. *Phytother Res.* 19:796-800.
- Gallegos-Vázquez, C.J. Cervantes-Herrera, L. y Barrientos-Priego, A.F. 2005. Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) SNICS-SAGARPA y UACH. México. 114-116.
- García Guzmán, R. A., Román Bravo, R., Val Arreola, D., Pérez Sánchez, R. E., y Ortiz Rodríguez, R. 2013. Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. *Revista Científica FCV-LUZ* 23:426-433.
- Gebremariam, T., Solomon M. y Yami, A. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131:43-52.

- Giraldo, A.L., Gutierrez, A.L. y Rúa, C. 2007. Comparison between *in vitro* and *in situ* protocols for estimating true digestibility of several tropical forages. *Rev. Col. Cien. Pec.* 20:269-279.
- Granados, S. y Castañeda P.D. 1997. El Nopal: Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. México: Trillas. 227 p.
- Gutiérrez, O.E. 2006. Manejo de dietas a base de nopal en Valdez C.R.D., Blanco M.F., Reveles H.M., Rubio A.F.A., Aréchiga F.C.F. y Urista T.J. 2006 El nopal en la producción animal. UAZ, Zacatecas México.
- Hall, M.B. y Herejk, C. 2001. Differences in yields of microbial crude protein from *in vitro* fermentation of carbohydrates. *J. Dairy Sci.* 84, 2486–2493.
- Han, H. y P. Felker. 1997. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. *J. Arid Environ.* 36: 133-148.
- Inglese, P., F.Basile y M. Schirra. 2002. Cactus pear fruit production. In: Nobel, P.S. (ed.). *Cacti Biology and Uses*. University of California Press, USA 163-183.
- Laurenz, J.C., Collier, C.C. y Kuti, J.O. 2003. Hypoglycaemic effect of *Opuntia lindheimeri* Englem in a diabetic pig model. *Phytother Res.* 17:26-29.
- López-García, J.J. y Fuentes Rodríguez ,J.M. 2001. Producción y uso de opuntia como forraje en el centro-norte de México en Mondragón-Jacobo C., Pérez G.S. Arias E., Reynolds S.G. y Sánchez D.M. 2001 El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje FAO, Italia.
- Mahouachi, M., Atti, N. y 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. *Scientific World Journal* doi:10.1100/2012/3215672012, 321567.

- Márquez-Berber, S. R., Torcuato-Calderón, C., Almaguer-Vargas, G., Colinas-León, M. T., y Khalil Gardezi, A. 2012. El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México: Problemática y alternativas. Revista Chapingo. Serie horticultura, 18:81-93.
- Mathis, C.P. 2000. Protein and Energy Supplementation to Beef Cows Grazing New Mexico Rangelands. Circular 564. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/_circulars/Circ564.html
- Medina, M.R., Tirado, G.E., Mejia, H.I., Camarillo, S.I. y Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad *in situ* de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. Pesq. Agrop. Bras. 41: 1173-1177.
- Morais, D.M., Costa, R.G. y Beltrão Filho, E. M. 2009. Características sensoriais do leite de cabras alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* mill.), e uréia em substituição ao farelo de Soja. Congreso brasileño de Zootecnia. São Paulo.
- Nobel, P.S. 1998. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge Univ. Press. UK, CUP.
- Nobel, P.S. 1994. Remarkable Agaves and Cacti. Oxford University Press. Reino Unido. 166 pp.
- Financiera Rural 2011. Monografía de nopal y tuna. 15 p. Disponible en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna\(jul11\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna(jul11).pdf). Accesado 15/5/2014.

- Nobel. P.S., Garcia-Moya. E. y Quero. E. 1992. High annual productivity of certain agaves and cacti under cultivation. *Plant Cell Environ.* 15: 329-335.
- Nobel. P.S. 1999. *Physicochemical and environmental plant physiology*. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press
- Nobel. P.S. y Bobich. E.G. 2002. *Environmental Biology*. pp. 57-74. In: Nobel P. S. ed. *Cacti, biology and uses*. Ed. University of California Press. Los Angeles, California, Estados Unidos de América.
- Ortiz. R.R., Valdez .A.J.J., Gómez. R.B., López. M.J., Chávez, M.M.P., García, S.P.A. y Pérez, S.R.E. 2012. Yield and microbiological quality of raw milk and fresh cheese obtained from Holstein cows receiving a diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Afr. J. Microbiol. Res.* 6: 3409-3414.
- Pérez, S.R.E., García, S.P.A., Ángel, P.M.E., Valdez ,J.J., Ramos, B., Ortiz, R.R. y Ramirez G. 2010. Producción de la leche provenientes de vacas Holstein bajo una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*). *International Business Community Related to Animal Production*. México.
- Pimienta, E. 1990. *El nopal tunero*. Universidad de Guadalajara, México.
- Pimienta, E. 1997. *El nopal en México y el mundo*. In: *Cactáceas, Suculentas mexicanas*. CVS Publicaciones, México.
- Qiu, Y.K., Zhao, Y.Y., Dou, de Q., Xu, B.X. y Liu, K. 2007. Two new alpha-pyrone and other components from the cladodes of *Opuntia dillenii*. *Arch Pharm Res.* 30:665-669.
- Ramírez Lozano, R.G., Alanís Flores, G. y Núñez González, M.A. 2000. Dinámica estacional de la digestión ruminal de la materia seca del nopal. *Ciencia UANL.* 3(3):267-273.

- Ramírez Lozano, R.G. 2003. Nutrición de Rumiantes Sistemas Extensivos. Ed. Trillas, México.
- Reynolds, S.G. y Arias, E. 2001. Introducción en Mondragón-Jacobo C., Pérez G.S. Arias E., Reynolds S.G. y Sánchez D.M. 2001 El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje FAO, Italia.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, J., García, L., Galletti, V., García, V., Higuera I., Mondragón C., Rodríguez A, Sepúlveda, A. y Varnero, M.A. 2006. Utilización Agroindustrial del Nopal. FAO, Italia.
- SAERT. 1994. Cactus as supplementary food and forage support component of SAERT. Volume VII prepared by UNDP, ECA/FAO. The Regional Government of Tigray and TDA.
- Saenz, C. 2000. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes. J. Arid Environ. 46:209-225.
- Shoop, M.C., Alford, E.J. y Mayland, H.F. 1977. Plains prickly pear is a good forage for cattle. J. Range Manag. 30: 12-17.
- Sudzuki, F. 1999. Anatomía y morfología. pp. 29-36. In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta, E., eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, 132. Roma.
- Sudzuki, F., Muñoz, C y Berger, H. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile.
- Tesoriere, L., Butera, D., Pintaudi, A.M., Allegra, M. y Livrea M.A. 2004. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. Am. J. Clin. Nutr. 80:391-395.

- Torres, S.A. 2011. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil). VX Simposium-Taller Nacional y II Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey”. Rev. Salud Pub. Nutr. 5: 143-151.
- Urrutia, M.J., Díaz, G.M.O., Gámez, V.H., Rivera, L.T., Beltrán, L.S. 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. Quinto Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, Mendoza, Argentina.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant 2nd Ed, Comstock, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. y Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation in animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.
- Villegas, y de Gante, M. 1997. Los Nopales (*Opuntia* spp.) recursos y símbolos tradicionales en México. pp. 271-273. In: Memorias. VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

CAPÍTULO 2

pH Y DIGESTIBILIDAD *IN SITU* DEL ENSILAJE DE ESPECIES DE *OPUNTIAS* ADICIONADAS CON UREA **

2.1 Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el pH y las características de la digestibilidad *in situ* de la materia seca de *Opuntia ficus indica* (OFi), *Opuntia leucotrichia* (OL), *Opuntia streptacantha* (OS) y *Opuntia robusta* (OR), mezcladas con diferentes niveles de urea (base seca) 0, 2, 4, 6 y 8% y ensiladas durante 0, 4, 8, 16, 24 y 28 días. Aproximadamente 300 kg de cladodios maduros de cada especie de *Opuntia* fueron colectados de al menos 60 plantas. Los cladodios fueron picados en trozos de 1 a 3 cm³ y divididos en porciones de 60 kg, para mezclarse con urea con un equipo horizontal de paletas de 4 hp. Las mezclas de cladodios y urea se colocaron en microsilos de PVC (2.5” de diámetro y 50 cm de largo). El pH fue medido cada 2 días en 5 microsilos. En los periodos de 0, 4, 8, 16, 24 y 28 días post ensilaje, el contenido de 3 microsilos fue secado a 60°C/60 h y este material fue utilizado para determinar la digestibilidad *in situ* mediante la técnica de la bolsa de nylon. El pH fue mayor (P<0.01) en los ensilajes de OS (6.4) seguido por OFi (5.8), OR (5.7) y OL (5.2). Asimismo, el promedio del pH fue significativamente más elevado en los silos con urea al 8% (6.4) seguidos con 6% (5.8), 2% (5.3) y 0% (5.1). La degradabilidad efectiva de la MS (DEMS) a una tasa de pasaje ruminal de 6 % h⁻¹ fue similar (P>0.05) para OFi (68.8%) y OL (68.6%), pero ambos fueron mayores (P<0.01) que OS (65.2%) y OR (64.6%). Los ensilajes tratados con urea al 0%, 2%, 4% y 6%

**Aceptado para su publicación Special issue "Fodder potential and integration of cactus in livestock feeding in dry areas" 38
Animal Feed Science and Technology con el título "Effect of specie and urea level on pH and *in situ* degradability of silages of *Opuntia*".

tuvieron una DEMS mayor (68.2%) que los tratados con 8% (64.3%). No se encontró diferencia ($P>0.05$) en la DEMS entre periodos de ensilaje (media =67.2%). El pH obtenido para los ensilajes de OFi, OL y OR fue menor ($P<0.01$) que el OS. El pH se mantuvo después de 10 días post-ensilaje. La adición de urea mejora el valor nutricional del ensilaje y se recomienda el 2% en el ensilaje de OS, 4% en el ensilaje de OFi, OR y OL. Adicionalmente la DEMS fue afectada por la especie y nivel de urea, pero no por la duración del periodo de ensilaje.

2.2 Abstract

The aim of this trial was to evaluate the pH and *in situ* degradability of dry matter of *O. ficus indica* (OFI), *O. leucotrichia* (OL), *O. streptacantha* (OS) and *O. robusta* (OR) mixed with 0, 2, 4, 6 or 8% of urea (dry basis) and ensiled for periods of 0, 4, 8, 16, 24 or 28 days. Approximately 300 kg of mature fresh cladodes of each species of *Opuntia* were randomly collected from at least 60 plants. Cladodes were chopped in pieces of 1 to 3 cm³, divided into portions of 60 kg, and then mixed with urea using a 4 hp horizontal mixer. The mixtures of cladodes and urea were placed in PVC microsílages (2.5" diameter and 50 cm long). The pH was measured every 2 days in 5 microsílages. In the periods of 0, 4, 8, 16, 24 and 28 days post silage, the content of 3 microsílages was dried at 60°C/60 h, and then the *in situ* digestibility was estimated by the nylon bag technique. The average pH was greater ($P <0.01$) in silages of OS (6.4) followed by silages of OFI (5.8), OR (5.7) and OL (5.2). Also, the average pH was significantly greater ($P <0.01$) in silages with 8% of urea (6.4), followed by silages with 6% (5.8), 2% (5.3) and 0% of urea (5.1). The effective degradability of the dry matter (EDDM) at a ruminal outflow rate of 6% h⁻¹ was

greater ($P < 0.01$) for OFI (68.8%) and OL (68.6%) species, followed by OS (65.2%) and OR (64.6%) species. The silages treated with urea at levels of 0%, 2%, 4% and 6% had greater ($P < 0.01$) EDDM (68.2%) than those treated with a level of 8% (64.3%). There was no difference ($P > 0.05$) for EDDM among silage periods (mean = 67.2%). The pH obtained for OFi, OL and OR silages, were lower ($P < 0.01$) than OS silage. The pH was stabilized after 10 d post silage, but addition of 6% and 8% of urea observed the greatest pH values. It is concluded that ensiling can conserve the nutritional value and digestibility of cactus species; however, an appropriate and stable pH was achieved after 10 days post-ensiling. Furthermore, addition of urea can improve the nutritional value of silage, but it is recommended add a maximum of 2% to the silage of OS, 4% to the silage of OFi and OR, and 8% to the silage of OL. Moreover, EDDM was affected by specie evaluated and urea level, but not by duration of silage period.

2.3 Introducción

La escasez de lluvias y suelos susceptibles a la erosión son una constante en las regiones áridas y semiáridas de México, estos terrenos son principalmente utilizados como agostaderos (Méndez-Llorente *et al.*, 2011). La reforestación con especies de alto valor nutricional en la mayoría de las ocasiones resulta infructuosa ya que necesitan para su establecimiento que los agostaderos no sean pastoreados durante largos periodos, que existan precipitaciones abundantes y si no se manejan adecuadamente son las primeras especies que el ganado consume al pastorear (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Las Opuntias son una alternativa para la reforestación de agostaderos áridos y semiáridos ya que resisten el pastoreo del ganado y las condiciones ambientales adversas. El cultivo de *Opuntia ficus indica* (OFi) es una alternativa relevante para las regiones áridas y semiáridas ya que por su rápido crecimiento, fácil cosechado y ausencia de espinas; sin embargo también son susceptibles a plagas, heladas y pastoreo, por lo que se usan con éxito como banco de alimento pero no como plantas de reforestación (Vázquez-Alvarado *et al.*, 2011). Otras especies como *O. leucotrichia* (OL), *O. robusta* (OR) y *O. sterphtacantha* (OS) poseen un potencial de crecimiento menor, pero tienen mayor resistencia que OFi y son parte de la vegetación nativa en los agostaderos del centro norte de México (Aguilera *et al.*, 2006).

Sin embargo, el valor nutricional de las plantas del género *Opuntia* es reducido sobretudo en proteína cruda, que es la principal deficiencia nutricional en la dieta de rumiantes en agostadero en temporada de sequía (Ramírez-Lozano, 2000). La amonificación con urea ha sido utilizada para mejorar el valor nutricional de los forrajes de gramíneas y subproductos industriales, ya que incrementa la cantidad de NNP, la digestibilidad de la fibra, e inhibe el crecimiento de hongos (Sundsol y Coxworth, 1984). Además, cuando la disponibilidad de forraje es limitada, la amonificación es una práctica económicamente factible para incrementar el valor nutricional de los forrajes (Ruiz *et al.*, 2006).

El objetivo del presente fue evaluar los cambios en el pH y la digestibilidad *in situ* de la materia seca de micro silos en periodos de 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días conteniendo muestras de OFi, OR, OL y OS adicionadas con urea al 0, 2, 4, 6 y 8%.

2.4 Materiales y Métodos

2.4.1 Sitios de colecta.

Las especies de plantas estudiadas se recolectaron en cinco lugares situados en tres municipios del estado de Zacatecas, México: Enrique Estrada (22° 58' 37'' LN y 102° 43' 20'' WL) Vetagrande (22° 49' 10'' NL y 102° 34' 36'' WL) y Villa de Cos (23° 32' 43'' LN y 102° 15' 7'' WL). La altitud sobre el nivel del mar varía de 1750 a 2400 msn, la temperatura media anual de 14 a 19 °C y la precipitación pluvial es de 375 hasta 430 mm (Inifap, 2013).

2.4.2 Ensilaje

Aproximadamente, 300 kg de cladodios de cincuenta diferentes plantas de cada una de las especies de *Opuntia ficus indica* (OFi), *Opuntia leucotrichia* (OL), *Opuntia streptacantha* (OS) y *Opuntia robusta* (OR) fueron triturados con ayuda de una picadora helicoidal de 1 hp hasta obtener trozos de 1 a 3 cm³ aproximadamente. Los cladodios picados de cada especie fueron divididos en 5 porciones de 60 kg cada una, y cada porción fue mezclada con urea al 0, 2, 4, 6 u 8% base seca usando una mezcladora horizontal de paletas. Las mezclas de cada especie de *Opuntia* y nivel de urea fueron colocadas en microsilos de PVC de 2.5 pulgadas de diámetro y 50 cm de largo, mismos que fueron compactados para extraer el aire acumulado, sellados con una bolsa plástica, pesados e identificados. Un total de 420 microsilos correspondieron a las cuatro especies de *Opuntia*, cinco niveles de urea, y 7 periodos de ensilaje (0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 días), se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento y periodo.

Al finalizar cada uno de los diferentes periodos de ensilaje los microsilos se pesaron y posteriormente se abrieron para medir el pH, y extraer el contenido, el cual fue secado en una estufa de aire forzado a 65°C durante 60 h. Las muestras secadas fueron molidas en un molino Wiley con malla de 2 mm (Thomas Scientific, Swedesboro, NY) y almacenado en bolsas de plástico.

2.4.3 Composición química

A las muestras sin urea se les determinó la materia seca (MS), cenizas, extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC) usando los procedimientos de la AOAC (2006). Las concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fueron determinadas utilizando un analizador de fibras Ankom 200 (Ankom Technology, Fairport, NY) con los procedimientos descritos por Robertson y Van Soest (1991).

2.4.4 Digestibilidad *in situ*

A los ensilajes en los periodos 0, 4, 8, 16, 24 y 28 d, se les determinó la degradabilidad de la MS (DEMS) mediante la técnica de la bolsa de nylon (Orskov *et al.*, 1980). Se utilizaron 12 ovinos de raza Rambouillet × Friesian (48±5.5 kg) equipados con cánula ruminal a través de la cual se introdujeron bolsas de nylon (5 ×10 cm, 53 µm de tamaño de poro) con 3 g de muestra de los diferentes tratamientos. Durante el experimento los animales fueron alimentados con alfalfa *ad libitum*, los periodos de incubación de las bolsas de nylon con muestras fueron 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h. Después de ser removidas del rumen, las bolsas fueron lavadas en agua fría para

detener la actividad microbiana. El periodo de incubación 0 fue obtenido al lavar bolsas que no fueron incubadas en rumen, de forma similar que las de los diferentes periodos de incubación, para luego ser secadas a 55 °C durante 48 h. La desaparición de la MS en cada periodo de incubación fue calculada por diferencia y expresada en porcentaje. Las características de la digestión fueron estimadas mediante la ecuación propuesta por Orskov y Mc Donald (1979), $p = a + b (1 - e^{-ct})$.

Donde;

p, es la tasa de desaparición de la MS a un tiempo t,

a, es el intercepto representado por la porción de la MS solubilizado al comienzo de la incubación (0 h),

b, es la porción de la MS que se degrada lentamente en rumen,

e, 2.71828 (número de Euler),

c, es la constante de degradación de la fracción b,

t, es el tiempo de incubación.

Los parámetros no lineales a, b, c y la degradabilidad efectiva de la MS (DEMS) fueron calculados utilizando el software Neway (Mc Donald, 1981). El software calcula la $DEMS = (a+b)c/(c+k)(e^{-(ct)LT})$, donde k es la tasa estimada de pasaje ruminal y LT es el tiempo estimado en que las bacterias comenzaron a degradar la muestra. La DEMS se calculó asumiendo una tasa de pasaje de 3, 6 y 9 % h^{-1} .

2.4.5 Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). Los supuestos de normalidad se analizaron mediante el

procedimiento UNIVARIATE de SAS. Los datos se analizaron como un diseño completamente al azar bajo un arreglo factorial, donde las especies de *Opuntia*, periodos de ensilaje y niveles de urea) fueron los factores. Los períodos de ensilaje se analizaron con un diseño de medidas repetidas, usando el procedimiento MIXED de SAS (Littell *et al.*, 1998). Los microsilos fueron considerados como las unidades experimentales. Se examinaron cuatro estructuras de covarianza entre periodos y se eligió la de simetría compuesta con base en los criterios de Akaike y Bayesiano de Schwarz (Littell *et al.*, 1998). Las comparaciones entre medias se establecieron mediante la instrucción PDIFF. Los efectos se consideraron estadísticamente significativos cuando $P < 0.05$.

2.5 Resultados y Discusión

2.5.1 Composición química

Los valores de la composición química se muestran en la Tabla 2.1. Las especies de OL, OFi y OS tuvieron en promedio 4.9% de PC, mientras que OR tuvo 4.4. Fuentes *et al.* (2002) obtuvieron un rango entre 5 y 14% de PC al evaluar especies de *Opuntia* silvestres, mientras que Ramírez-Tobías *et al.* (2007) reportan promedios de 19.2% PC de *Opuntias* en invernaderos hidropónicos, Santos-Haliscak *et al.* (2010) obtuvieron también valores superiores para PC con 8.5% en OR, 7.6 en OFi y hasta 9.7% en *Opuntia rastrera*, por otro lado Batista *et al.* (2009) al evaluar diez variedades de OFi obtuvo en promedio 3.9% de PC y Guerrero *et al.* (2010) reportan

Tabla 2.1. Composición química del ensilaje de especies de *Opuntias* tratadas con urea

Concepto	Niveles de urea, %				
	0	2	4	6	8
<i>Opuntia ficus indica</i>					
Proteína Cruda, %	4.8	9.8	14.9	20.2	26.5
Cenizas, %	16.8	17.4	17.2	17.4	17.3
Extracto etéreo, %	2.6	2.4	2.4	2.4	2.5
Fibra Detergente Neutro, %	32.5	31.8	32	31.9	31.8
Fibra Detergente Ácido, %	18.1	18.7	18.9	18.9	19
<i>Opuntia leucotrichia</i>					
Proteína Cruda, %	5.1	9.9	15.2	20.4	26.7
Cenizas, %	14.5	14	14.8	15.4	15.4
Extracto etéreo, %	2.4	2.2	2.3	2.3	2.2
Fibra Detergente Neutro, %	24.8	24.5	24.7	24.4	24.6
Fibra Detergente Ácido, %	16.8	16.7	16.7	16.6	16.4
<i>Opuntia robusta</i>					
Proteína Cruda, %	4.4	9.4	15.1	20.5	26.2
Cenizas, %	19.5	19.8	20.1	19.7	20.1
Extracto etéreo, %	2.1	1.9	2	2.1	2
Fibra Detergente Neutro, %	29.1	28.7	28.9	28.8	28.7
Fibra Detergente Ácido, %	18.7	18.9	19.1	19	18.9
<i>Opuntia sterpthacantha</i>					
Proteína Cruda, %	4.8	9.2	14.4	19.9	26.4
Cenizas, %	17.5	17.4	17.5	17.8	17.9
Extracto etéreo, %	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2
Fibra Detergente Neutro, %	26.4	25.8	26.2	26.1	25.9
Fibra Detergente Ácido, %	17.9	18.2	18.1	18.3	18.2

valores de 4.9% de PC de *Opuntias* consumidas por cabras en agostadero, en OL obtuvieron 4.6%, mientras que en este estudio el valor de PC para OL fue de 5.1%.

Pinos-Rodríguez *et al.* (2006) reportan mayor concentración de PC en OFi que en OR, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio. Las variaciones en los valores de PC en las especies de *Opuntia* y entre regiones en la misma especie pudieran deberse a factores como tipo del suelo, fertilización y clima.

En este estudio, en todas las especies evaluadas, la concentración de PC es insuficiente para mantener a los microorganismos ruminales, lo que pudiera provocar disminución del consumo voluntario de rumiantes, por lo que el uso solo de *Opuntias* como alimento, puede ser limitante para sostener la productividad de los rumiantes (Pretorius *et al.*, 1997).

El contenido de cenizas fue mayor para OR (19.5%) seguido por OFi y OS (17.2%) y OL (14.5%; Tabla 1). Contenidos de cenizas mayores a los de este estudio fueron reportados por Guerrero-Cervantes *et al.* (2009) y Santos-Aliscak *et al.* (2010) quienes obtuvieron valores de 31% en *Opuntias* silvestres, Ramírez-Tobías *et al.* (2007).

Con porcentajes de 29 en *Opuntias* en ambiente hidropónico, Curek y Ozen (2004) reportaron valores de 24.7% en *Opuntia* fresco y 36% en el ensilaje del mismo. Sin embargo, Batista *et al.*, (2009) obtuvieron valores menores de 8.2% en diferentes variedades de OFi. Los elevados valores de cenizas en *Opuntias* se deben a los elevados niveles de minerales del suelo, que generalmente aumentan el contenido de cenizas en las plantas (Dubeux *et al.*, 2006)

El contenido de Extracto Etéreo (EE) de las diferentes especies de *Opuntia* se muestra en la Tabla 2.1. El promedio de EE en las plantas fue de 2.2%. El promedio

más alto fue para OFi (2.4%) y el más bajo para OR con (2.0%, Tabla 2.1). Estos porcentajes son parecidos a los reportados por Mciteka (2008) quien obtuvo un promedio de 2.2 % dentro de un rango de 1.9 % en la *O. fusicaulis* y 2.4% en OFi variedad Castello. Estos resultados son relativamente altos si se comparan con los datos (1.6-2.1%) de Fuentes *et al.* (1991).

En este estudio, en promedio, el porcentaje de FDN (Tabla 2.1) fue mayor en OFi (32.0) seguida por OR (28.8), Os (26.1) y OL (16.6). El porcentaje de FDA fue mayor en OR (18.9) seguida por OFi (19.7), OS (18.1) y OL (16.6). Pinos-Rodríguez *et al.* (2006) y Batista *et al.* (2009) reportan valores similares de FDN y FDA a los obtenidos en este estudio. Santos-Aliscak *et al.* (2010) obtuvieron en promedio valores de 27% y 16% de FDN y FDA, en *O. rastrera* y OR.

En este estudio, el contenido de PC en los ensilajes de las especies estudiadas, se incrementó en los diferentes niveles de urea, desde el nivel 0 hasta el 8%, y esto puede explicarse por la adición de nitrógeno no proteico a las plantas. Esto coincide con lo reportado por Fall (1988) y Aregherore (2005) quienes reportan un incremento del contenido de PC de 6 a 15% cuando adicionaron el 7% de urea a rastrojo de maíz, mientras que Ramírez *et al.* (2007) mencionan que el porcentaje de PC inicial fue de 4.4, 6.2, 7.4 y 3.0% para zacates buffel y bermuda, rastrojo y olote de maíz respectivamente mientras que al adicionar el 6.5% de urea obtuvieron 16.3, 22.9, 15.6 y 16.7% de PC en los ingredientes antes mencionados. Gregory y Felker (1992) mencionan que forrajes entre con niveles inferiores a 8% de PC, responden satisfactoriamente a la suplementación proteica.

La adición de urea no afectó los niveles de FDN y FDA, lo cual contrasta con lo reportado por Ramírez *et al.* (2007), donde al adicionar urea a pajas gramíneas

tuvo incrementos en FDA y hemicelulosa, mientras que disminuyó la FDN, misma tendencia es reportada por Rodríguez *et al.* (2002) al adicionar el 6% de urea a *Brachiaria humidicola*, Caneque *et al.* (1988) con paja de cebada y Oji *et al.* (2007) con subproductos de maíz.

2.5.2 pH

El pH promedio obtenido en las diferentes especies se muestra la Tabla 2.2. El pH del ensilaje mostró diferencias significativas ($P<0.01$), OS tuvo un pH mayor 6.4; seguido por OF 5.8 y OR 5.7; siendo menor para OL con menor 5.2. El pH promedio en los diferentes niveles de urea se muestra en la Tabla 2.2. Se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.01$) en el pH en los diferentes niveles de urea, 0% y 2% de urea tuvieron un pH similar 5.1 y 5.3 respectivamente, seguidos de 4% con 5.8 de 6% con 6.2 y 8% con 6.4. El pH de los ensilajes de *Opuntia* fue diferente ($P<0.01$) en los periodos iniciando en 6.2 en día 0, manteniéndose alrededor de 6.0 en los primeros 8 días de ensilaje, y a partir de día 10 hasta el 28 que fue de 5.6.

Opuntia ficus indica Los valores de pH del ensilaje de OFi en los diferentes periodos se muestran en la Figura 1. El pH inicial fue similar ($P>0.05$), mientras que en los periodos iniciales D2 y D4 el pH de los ensilajes conteniendo urea fueron mayores con un rango entre 6.2 y 6.9, mientras que en el tratamiento U0 el pH para D2 fue de 5.5 y para D4 de 5.0. Los tratamientos U6 y U8 mostraron mayor alcalinidad que los otros tratamientos durante todos los periodos, U8 presentó valores promedio cercanos a 7.0, mientras que para U6 fueron de 6.5, en el tratamiento U4 tuvo valores alrededor de 6.0 de pH durante los primeros 10 d de ensilaje, mientras

Tabla 2.2. pH de los ensilaje de las diferentes especies de *Opuntias*

Concepto	pH
Especie	
<i>Opuntia ficus indica</i>	5.8 ^b
<i>Opuntia leucotrichia</i>	5.2 ^c
<i>Opuntia robusta</i>	5.7 ^b
<i>Opuntia sterpthacantha</i>	6.4 ^a
EEM	0.1
Nivel de Urea, %	
0	5.1 ^c
2	5.3 ^c
4	5.8 ^b
6	6.2 ^a
8	6.4 ^a
EEM	0.2
Periodo ensilaje, días	
0	6.2 ^a
2	6.1 ^a
4	6.1 ^a
6	5.9 ^a
8	5.9 ^a
10	5.8 ^{ab}
12	5.7 ^{ab}
14	5.6 ^b
16	5.6 ^b
18	5.6 ^b
20	5.6 ^b
22	5.6 ^b
24	5.6 ^b
26	5.6 ^b
28	5.6 ^b
EEM	0.1

^{abc}Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas ($P < 0.05$); EEM = error estándar de las medias.

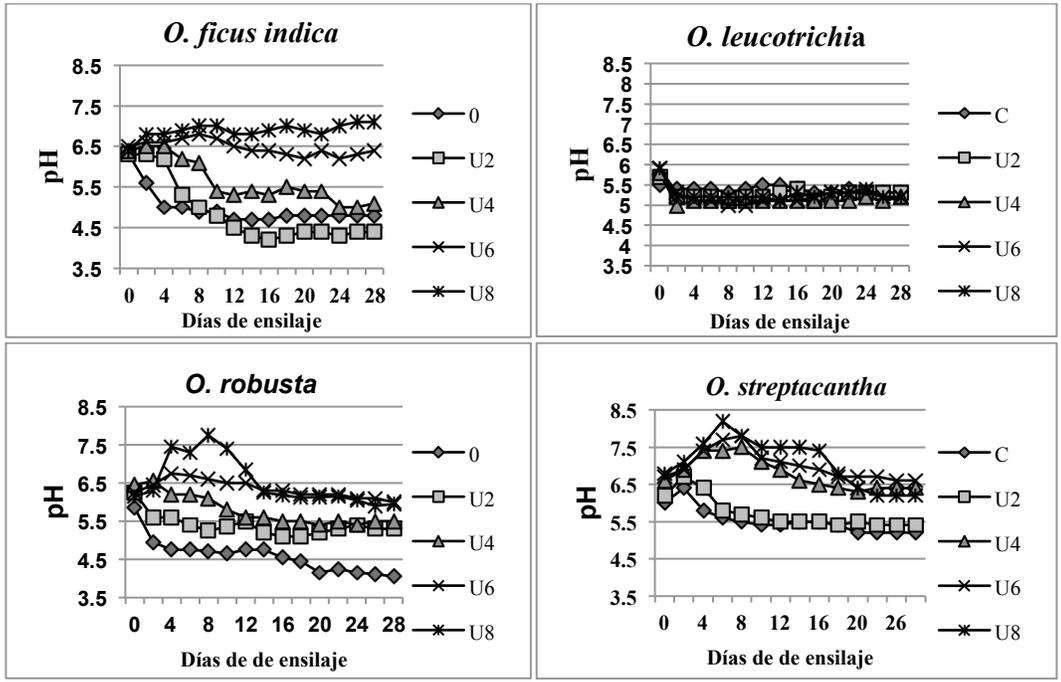


Figura 2.1. pH del ensilaje de las diferentes especies de *Opuntias*.

que en los periodos de D12 hasta D28 fueron valores inferiores a 5.5. El tratamiento U2 tuvo pH superiores a 6.0 durante en D0 hasta D4 mientras que de D6 hasta D12 tuvo un rango de pH de 5.5 hasta 4.5 y a partir del D12 mostro valores inferiores a 4.5. El tratamiento U0 mostró valores de pH en un rango de 5.0 hasta 4.8 desde de D4.

Opuntia streptacantha. Los valores de pH obtenidos durante los diferentes periodos se muestran en la figura1. Los valores que describen la curva de pH para U4, U6 y U8 fueron similares, obteniéndose los valores más altos del D2 hasta D16, para luego estabilizarse desde D16 hasta D24, pero nunca fueron valores inferiores a 6.2, asimismo los tratamientos U0 y U2 mostraron curvas y valores similares con valores superiores a 6.0 desde D0 hasta D6, para luego presentar valores inferiores a 5.5 desde D8 hasta D28.

Opuntia robusta. Los valores pH obtenidos del ensilaje con OR durante los diferentes periodos se muestran en la figura1. Al igual que en las especies descritas con anterioridad los tratamientos U6 y U8 mostraron valores superiores a 6.0 durante todos los periodos, mientras que U4 mostró valores intermedios de D0 (6.5) hasta D10 (5.8), mientras que de D12 hasta D28 sus valores fueron inferiores a 5.5.

El tratamiento U2 mostró pH inferior a 5.5 desde D2 hasta D28, mientras que U0 tuvo tendencia similar pero con valores inferiores a 5.0 desde D2 hasta D14 e inferiores a 4.5 desde D16 hasta D28.

Opuntia leucotrichia. Los valores de pH de OL se muestran en la figura1. A diferencia de las otras especies evaluadas en el ensilaje de OL mostró valores similares con los diferentes niveles de inclusión de urea con valores inferiores a 5.4 desde el D2 hasta D28.

La acidez de los ensilajes se utiliza como indicador del grado de conservación, aunque el pH ideal se alcanza con valores inferiores a 4.2, se puede considerar un valor mínimo de 5.5 de pH ya que las actividades de clostridios y enterobacterias son muy reducidas a partir de este punto (Rooke y Hatfield, 2003). Existen pocos trabajos donde se reporte el pH en el ensilaje de *Opuntia*, Curek y Ozen (2004) secaron *Opuntia* hasta alcanzar 35% de MS para luego ser ensilados obteniendo pH en cladodios tiernos de 4.1 y en los maduros 3.8, mientras que Mciteka (2008) ensiló *Opuntia fuscicaulis* con diferentes gradientes de materia seca (10, 20, 30 y 40%) obteniendo 5.3, 5.7, 6.0 y 6.5 de pH. Los valores relativamente altos de pH en el ensilaje de *Opuntias* podrían ser ocasionados por la capacidad buffer de los componentes de la planta (Stintzing *et al.*, 2005).

2.5.3 Digestibilidad *in situ*

Las características de la degradabilidad de la MS de las diferentes especies de *Opuntia* se muestran la Tabla 2.3. La fracción rápidamente degradable (a) fue diferente ($P < 0.01$) en todas las especies siendo mayor para OFi (49.2%) seguido por OL (44.5%), OS (42.3%) y OR (38.7%). En este estudio, la fracción a tuvo valores más bajos a los reportados por Guerrero-Cervantes *et al.* (2009), quienes obtuvieron 55% en OL, mientras que Batista *et al.* (2009) reportan valores menores en esta fracción (31.5%). La fracción b también fue significativamente diferente entre especies siendo OR (46.5%) con el valor más alto, OS (42.5%) y OL (41.7%) tuvieron valores intermedios y OFi (37.5%) fue el menor.

La degradabilidad potencial (a+b) de la MS en todas las especies fue de similar ($P > 0.05$) con una media general de 86.2%. Batista *et al.* (2009) y Guerrero-Cervantes

Tabla 2.3. Características de la digestibilidad *in situ* de la materia seca del ensilaje de diferentes especies de *Opuntia*

Concepto	Especies				EEM
	<i>leucotrichia</i>	<i>ficus indica</i>	<i>robusta</i>	<i>sterpthacantha</i>	
a, %	44.5 ^y	49.2 ^x	38.7 ^z	42.3 ^y	0.41
b, %	41.7 ^y	37.5 ^z	46.5 ^x	42.5 ^y	0.47
a+b, %	86.3 ^x	86.7 ^x	85.2 ^y	84.8 ^y	0.21
c, % h ⁻¹	7.8 ^y	9.4 ^x	7.2 ^y	7.7 ^y	0.4
DEMS					
3, % h ⁻¹	74.0 ^x	74.9 ^x	71.3 ^y	72.5 ^y	0.26
6, % h ⁻¹	68.6 ^x	68.8 ^x	64.6 ^y	65.2 ^y	0.35
9, %, h ⁻¹	66.0 ^x	65.0 ^x	60.9 ^y	61.4 ^y	0.43

a= fracción de la materia seca perdida a la hora del lavado; b= fracción de la materia seca degradable; c= tasa de degradación de la materia seca; DEMS degradabilidad efectiva de la materia seca a diferentes tasas de pasaje ruminal % hr⁻¹; ^{xyz} Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas (P<0.05).

EEM = error estándar de las medias.

et al. (2009) reportaron valores muy parecidos en variedades de OFi con 88.1% y 88.4% *Opuntia rastrera*, respectivamente. La tasa de degradación (c) fue mayor significativamente mayor para OFi (9.1 % h⁻¹) comparada con OL, OS o OR con 7.8, 7.7 y 7.2 % h⁻¹, respectivamente. Las altas tasas de degradación encontradas en el presente (de 7.1 a 9.2% h⁻¹) coinciden con lo reportado por Batista *et al.* (2003) y Batista *et al.* (2009) quienes reportaron tasas de degradación de 7 a 10% h⁻¹; mientras que Guerrero-Cervantes *et al.* (2009), obtuvieron tasas menores de 3.0 a 5.9% h⁻¹, mientras que Crek y Olsen (2004) reportaron tasas de degradación de 10% h⁻¹ en pencas jóvenes y 6.7% h⁻¹ en pencas maduras.

La degradabilidad efectiva de la MS a una tasa de pasaje ruminal de 6 % h⁻¹ fue mayor (P<0.01) para OFi y OL 68.8 y 68.6% mientras que para OS y OR fue de 65.2 y 64.6 %. Todas las especies de *Opuntia* mostraron altos valores de digestibilidad, resultados similares han sido reportados por Fuentes *et al.* (1997), Batista *et al.* (2003), Batista *et al.* (2009) y Guerrero-Cervantes *et al.* (2009), quienes reportaron valores que variaron de 60 hasta 85%. Elevados porcentajes de degradabilidad efectiva de la MS pudieran deberse al alto contenido de carbohidratos no estructurales y reducido nivel de lignina en las *Opuntias* (Batista *et al.*, 2009).

Las características de la degradabilidad de la MS de acuerdo a los diferentes niveles de urea se muestran en el Tabla 2.4. La fracción a fue mayor (P<0.01) con 0% urea que con los otros niveles de urea. En la fracción b también se detectaron diferencias estadísticas (P<0.01) obteniendo el porcentaje más fue alto con 2% urea, seguido por 4%, 6%, 8% y 0%. La fracción a+b fue mayor (P<0.01) para 0% seguido por 2%, 4%, 6% y 8%. La fracción c fue mayor en los tratamientos 2%, 4% y 6% comparados con 0% y 8% que tuvieron tasas más bajas. La DEMS a una tasa de

Tabla 2.4. Características de la digestibilidad *in situ* de la materia seca del ensilaje de *Opuntias* adicionado con urea

Concepto	Nivel de urea, %					EEM
	0	2	4	6	8	
a, %	48.1 ^x	41.6 ^y	43.3 ^y	43.3 ^y	42.1 ^y	0.54
b, %	39.4 ^z	45.0 ^x	41.6 ^y	41.9 ^y	41.3 ^y	0.59
a+b, %	87.5 ^x	86.6 ^x	84.9 ^y	85.2 ^y	83.4 ^z	0.27
c, % h ⁻¹	6.3 ^y	10.3 ^x	9.2 ^x	8.5 ^x	6.4 ^y	0.5
DEMS						
3, % h ⁻¹	73.8 ^x	74.6 ^x	73.1 ^x	74.5 ^x	71.0 ^y	0.34
6, % h ⁻¹	68.2 ^x	68.2 ^x	68.2 ^x	68.4 ^x	64.3 ^y	0.45
9, % h ⁻¹	65.5 ^x	64.3 ^x	63.9 ^x	65.6 ^x	60.5 ^y	0.56

a= fracción de la materia seca perdida a la hora del lavado; b= fracción de la materia seca degradable; c= tasa de degradación de la materia seca; DEMS degradabilidad efectiva de la materia seca a diferentes tasas de pasaje ruminal % hr⁻¹; ^{xyz} Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas (P<0.05).

EEM = error estándar de las medias.

pasaje ruminal de $6 \% h^{-1}$ fue similar para 0%, 2%, 4% y 6%, pero fueron mayores que 8%. La adición de 8% de urea disminuyó la degradabilidad efectiva del ensilaje de *Opuntias*, lo anterior coincide en lo reportado por Gobbi *et al.* (2005) quienes trataron heno de *Brachiaria decumens* con 0, 2, 4, 6, 8 y 10% de urea encontrando una digestibilidad *in vitro* máxima de 69% con un nivel de 7% de urea, por otro lado Ramírez *et al.* (2007) evaluaron el efecto del adicionar 0, 4.5 o 6.5% de urea en el tratamiento de subproductos de gramíneas, quienes reportan que el tratamiento con urea incrementó la digestibilidad *in situ* de los forrajes evaluados, sin embargo al comparar los niveles de inclusión de urea 4.5 vs 6.5% el heno de zacate bermuda y el rastrojo de maíz mantuvieron valores similares de degradabilidad efectiva, mientras que en el heno de zacate buffel y el olote de maíz los porcentajes de degradabilidad disminuyeron. El NNP aportado por la urea podría contribuir a un mayor crecimiento de bacterias ruminales y por consecuencia obtener una mayor degradabilidad (Ruiz *et al.*, 2006).

En este estudio, el hecho de que la adición de urea no tuvo un gran efecto en la DEMS de los ensilajes de *Opuntias*, podría deberse a su bajo contenido de FDN. Rodríguez-Romero *et al.* (2002) y Guedes *et al.* (2006) reportaron que los forrajes con alto contenido de FDN son los que responden en mayor medida al tratamiento con urea. Sin embargo, en sistemas de producción donde los animales consumen dietas deficientes en PC y altas en FDN, la inclusión de ensilajes de *Opuntias* tratados con urea, podría mejorar el medio ambiente ruminal y estimular la degradación de la fibra presente en la dieta (Aguilera *et al.*, 2007).

Las características de la degradabilidad de la MS de acuerdo a los diferentes periodos de ensilaje se muestran en el Tabla 2.5. Las fracción a fue similar ($P > 0.05$)

Tabla 2.5. Características de la digestibilidad *in situ* de la materia seca de *Opuntias* durante diferentes periodos de ensilaje

Concepto	Periodo de ensilaje, días						EEM
	0	4	8	16	24	28	
a, %	43.8	43.7	42.8	43.4	43.9	44.1	0.59
b, %	43.4	42.3	43.2	42.5	40.5	41.8	0.66
a+b, %	87.3 ^x	86.0 ^y	86.0 ^y	86.0 ^y	85.6 ^y	85.9 ^y	0.29
c, % h ⁻¹	6.7 ^y	8.2 ^x	9.0 ^x	9.1 ^x	8.6 ^x	7.6 ^x	0.62
DEMS							
3, % h ⁻¹	72.5	73.2	73.3	73.5	73.6	73.5	0.38
6, % h ⁻¹	66.6	66.9	66.9	67.7	67.5	68.1	0.49
9, %, h ⁻¹	63.9	64.1	63.8	64.2	63.9	64.4	0.62

a= fracción de la materia seca perdida a la hora del lavado; b= fracción de la materia seca degradable; c= tasa de degradación de la materia seca; DEMS degradabilidad efectiva de la materia seca a diferentes tasas de pasaje ruminal % hr⁻¹; ^{xyz} Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas (P<0.05).

EEM = error estándar de las medias.

para todos los periodos de ensilaje, mientras que la degradabilidad potencial fue superior ($P < 0.01$) para el día 0 comparado con los demás periodos; sin embargo, la tasa de degradación fue mayor ($P < 0.01$) para los periodos de ensilaje desde el día 4 hasta el 28. La DEMS fue similar en los diferentes periodos de ensilaje ($P > 0.05$), promediando 67.2% con una tasa de pasaje ruminal de $6 \%h^{-1}$.

2.6 Conclusión

Se puede concluir que el ensilaje con OFi, OL, OS y OR alcanza niveles adecuados y estables de pH (menores a 5.6) que permiten la conservación del valor nutricional después de 10 días de ensilaje. Adicionalmente la adición de urea mejora el valor nutricional del ensilaje y se recomienda adicional un máximo de 2% en el ensilaje de OS, 4% de urea en OFi, OR y OL. En general, la DEMS fue mayor para OFi y OL comparada con OR y OS. Los parámetros de digestibilidad *in situ* y DEMS fueron similares a niveles de 0, 2, 4 y 6% de urea, mientras que al 8% de urea fueron más bajos. El ensilaje conserva la DEMS de las diferentes especies de Opuntia evaluadas, independientemente del periodo de ensilaje.

2.7 Literatura citada

Aguilera, S.J.I, Aréchiga-Flores, C.F., Ramírez, R.G. 2007 Utilización del nopal en nutrición animal. In Aréchiga-Flores, C.F., Aguilera-Soto, J.I., Valdez-Cepeda, R.D. Ed. El nopal en la producción animal. 1st ed. UAZ, Zacatecas, México, pp. 149.

AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. 18th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC.

- Aregheore, E. M. (2005). Effect of *Yucca schidigera* saponin on the nutritive value of urea-ammoniated maize stover and its feeding value when supplemented with forage legume *Calliandra calothyrsus* for goats. *Small Rum. Res.* 56, 95-102.
- Batista, A.M.V, Ribeironeto, A.C., Lucena, R.B., Santos, D.C., Dubeux Jr, J., Mustafa, A.F. 2009. Chemical Composition and Ruminant Degradability of Spineless Cactus Grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecol. Manag.* 62, 297-301.
- Batista, A.M.V., Mustafa, A.F., McAllister, T., Wang, Y., Soita, H., J. McKinnon. 2003. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. *J. Sci. Food Agric.* 83, 440-445.
- Caneque, V., Velasco, S., Sancha, J. L., Manzanares, C., Souza, O. 1998. Effect of moisture and temperature on the degradability of fiber and on nitrogen fractions in barley straw treated with urea. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74, 241-258.
- Çürek, M., Özen, N. 2004. Feed value of cactus and cactus silage. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 28, 633-639.
- Dubeux, J.C.B Jr, Ferreira dos Santos, M.V., de Amrader Lira, M., Cordeira dos Santos, D., Farias, I., Lima, L.E., Ferreira, R.L.C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *J. Arid Environ.* 67, 357-372.
- Fall, S., 1988. Utilisation digestive par les ruminants domestiques de ligneux fourrages disponibles au Senegal. Rapport ISRA-LNERV No. 59 Ahm. Nut. Dakar, Senegal, pp. 100.

- Fuentes-Rodriguez, J. 1997. A comparison of the nutritional value of Opuntia and Agave plants for ruminants. J. Prof. Assoc. Cactus Dev, 2, 20-23.
- Fuentes, J. M., Jiménez, C. L., Suárez, G.L., Torres, H. M., Murillo, S.M.E., López, G. J. J., Ortiz, R.B. (2006). In situ digestibility of four cactus pear (Opuntia spp.) species. Acta Hort. 728, 275-278.
- Gobbi, K.F., Garcia, R., Garcez Neto, A.F., Pereira, O.G., Bernardino, F.S., Rocha, F.C. 2005. Composição química e digestibilidade in vitro do feno de *Brachiaria decumbens* Stapf. tratado com uréia. Revista Brasileira de Zootecnia. 34, 720-725.
- Guedes, C.M., Rodrigues, M.M., Gomes, M.J., Silva, S.R., Ferreira, L.M., Mascarenhas-Ferreira, A. 2006. Urea treatment of whole-crop triticale at four growth stages: effects on chemical composition and on *in vitro* digestibility of cell wall. J. Sci. Food Agric., 86, 964-970.
- Guerrero-Cervantes, M., Ramírez, R.G., Cerrillo-Soto, M.A., Montoya-Escalante, R., Nevárez-Carrasco, G., and Juarez-Reyes, A.S. (2009). Dry matter digestion of native forages consumed by range goats in North Mexico. J. Anim. Vet. Adv. 8, 408-412.
- INIFAP 2013 Red de Monitoreo Agroclimático del Estado de Zacatecas Boletines Mensuales. Available at: <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/folletos.php>, accessed on April 20th, 2013.
- Littell, R.C., Henry, P.R., Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. J. Anim. Sci. 76, 1216-1231.
- McDonald I. 1981. A revised model for estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci., 96, 251-252.

- Mciteka, H. 2008. Fermentation Characteristics and Nutritional Value of *Opuntia Ficus-indica* Var. *Fuscaulis* Cladode Silage (Doctoral dissertation, University of the Free State). Available at: <http://etd.uovs.ac.za/ETD-db/theses/available/etd-10092009-162148/unrestricted/McitekaH.pdf>, accessed in april 10th 2013.
- Mendez Llorente, F., Ramirez Lozano, R.G., Lopez Carlos, M.A., Rodriguez-Frausto, H., Arechiga Flores, C.F., Bonilla-Salazar, A., Nuñez-González A. M and Aguilera-Soto, J.I. (2011). Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *Journal of Applied Animal Research*. 39, 248-251.
- Nefzaoui, A., Ben Salem, H., & Inglese, P. (2001). *Opuntia*-A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the Wana region. In Mondragón-Jacobo, C., Pérez-González, S., A. Enrique., G.R. Stephen and Sanchez D.M. *Cactus (Opuntia spp.) as forage* (Vol. 169). FAO. pp 73-89.
- Oji, U.I., Etim, H.E., Okoye, F.C. 2007. Effects of urea and aqueous ammonia treatment on the composition and nutritive value of maize residues. *Small Rumin. Res.* 69, 232-236.
- Ørskov, E.R., McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, 92, 499-503.
- Ørskov, E.R., Hovell, F.D., Mould, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.*, 5, 195-213.
- Pinos-Rodríguez, J.M., Duque-Briones, R., Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R., García-López, J.C., González-Muñoz, S. 2006. Effect of Species and Age on

- Nutrient Content and in vitro Digestibility of *Opuntia* spp. *J. Appl. Anim. Res.*, 30, 13-17.
- Pretorius, C. C., Rethman, N. F. G., Wessels, A. B. (1997). Effect of irrigation on total yield and nutritive value of *Opuntia ficus-indica* cultivars as livestock feed. *Appl. Plant Sci.* 11, 53-55.
- Ramírez-Lozano, R.G., G.F. Alanís F., M.A. Nuñez G. 2000. Dinámica estacional de la digestión ruminal de la material seca del nopal. *Ciencia UANL* 3: 267-273.
- Ramírez-Tobías, H.M.R., Reyes-Agüero, J.A., Pinos-Rodríguez, J.M., Aguirre-Rivera, J.R. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia*, 41, 619-626.
- Ramírez, L.R.G, Aguilera-González, J. C., García-Díaz, G., Núñez-González, A. M. 2007. Effect of urea treatment on chemical composition and digestion of *Cenchrus ciliaris* and *Cynodon dactylon* hays and *Zea mays* residues. *J. Anim. Vet. Adv.* 6, 1036-1041.
- Rodríguez-Romero, N., Araujo-Febres, O., González, B. 2004. Efecto de la adición de urea sobre la composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de heno de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick cosechado a diferentes edades. *Arch. Latin. Prod. Anim.* 12, 52-58.
- Rooke, J. A. Hatfield, R. D. 2003. Biochemistry of ensiling. In: *Silage Science and Technology* (Ed. D. R. Buxton, R. E. Muck and J. H. Harrison). ASA Inc., Madison, WI, U.S.A., pp. 95-140.
- Ruiz, O., Castillo, Y., Aguilera, J.I., Arzola, C., Rodriguez, C., Jimenez, J.A., Rubio, H. 2006. Oat husk treated with urea and an enzymatic additive on the intake, digestibility and rumen kinetics of steers. *Cuban J. Agr. Sci.* 40, 433-438.

- Santos-Haliscak A., R.E. Vázquez-Alvarado, E. Gutiérrez-Ornelas, H. Morales-Treviño. 2010. Evaluación de la productividad y caracterización de tres variedades de nopal mejorado y tres criollos. *Revista Salud Pública y Nutrición* 5, 243-250.
- Stintzing, F.C., Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 492, 175-194.
- Sundstol, F., Coxworth, E.M. 1994. Ammonia Treatment. In: Sundstol and E. Owen (Eds.), *Straw and Other Fibrous By-Products as Feed*. Elsevier Publishing, N.Y. USA. pp. 196.
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.
- Vázquez-Alvarado, R.E., Blanco-Macías, F., del Carmen Ojeda-Zacarías, M., Martínez-López, J.R., Valdez-Cepeda, R.D., Santos-Haliscak, A., Háuad-Marroquín, L.A. 2011. Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. *Revista Salud Pública y Nutrición.* 5, 185-203.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS, DIGESTIVAS Y CALIDAD DE CANAL DE OVINOS EN ENGORDA ALIMENTADOS CON *OPUNTIA* *LEUCOTRICHIA*.

3.1 Resumen

En el norte de México la *Opuntia leucotrichia* (OL) es abundante y ampliamente distribuido. Tradicionalmente los cladodios de OL son utilizados como alimento de emergencia para el ganado durante el estiaje; sin embargo los estudios acerca el uso de *Opuntias* en dietas de animales en producción son escasos. En una prueba de alimentación se utilizaron cincuenta corderos Rambouillet X Dorper (10 animales por dieta) de 19 ± 2.8 kg que fueron asignados aleatoriamente a las dietas experimentales que contenían 0%, 10% 20%, 30% o 40% de OL en base seca. En el día 91 los animales fueron sacrificados para la evaluación de la canal y la calidad de la carne. En el segundo experimento cinco borregos canulados fueron utilizados en una prueba de metabolismo y digestión. El consumo de materia seca fue significativamente mayor para 0% (1344 g d^{-1}) seguido de 10% (1153), 20% (1098), 30% (955) y 40% (982) de OL en la dieta. La ganancia diaria de peso también fue significativamente diferente entre las dietas (329 g d^{-1} , 227, 212, 185 y 253, respectivamente). La conversión alimenticia fue mayor en la dieta al 20% (5.2) seguida por 30% (4.5), 10% (4.3), 40% (4.1) y 0% (4.1). El rendimiento en canal fue mayor conforme se incrementó el nivel de OL. El consumo de agua fue de (3.8 l d^{-1}

3.3, 2.1, 1.3 y 0.8, respectivamente) disminuyendo al incrementarse el nivel de OL. La digestibilidad de la proteína cruda fue mayor en la dieta al 40% (72%) que en los demás niveles (promedio = 69%). El pH ruminal (promedio = 6.1) y amoníaco (13.8 mg dl⁻¹) fueron similares entre los tratamientos. La inclusión de OL en la dieta de ovinos en engorda es una buena opción en los sistema de producción donde este recurso está disponible.

3.2 Abstract

In northern Mexico the cacti *Opuntia leucotrichia* (OL) is abundant and widely distributed. Traditionally, OL cladodes are used as emergency feed for livestock during dry seasons; however, scarce research has been carried out using OL cladodes on high production diets for sheep. In a performance trial, fifty intact Rambouillet × Dorper male lambs (10 lambs x diet) of 19±2.8 kg of body weight, were randomly assigned to experimental diets containing 0%, 10%, 20%, 30% or 40%, OL (dry matter basis). At day 91 animals were slaughtered for carcass and meat quality evaluation. In trial two, five ruminal cannulated Rambouillet male rams were used in a digestion study. Dry matter intake of lambs was significantly higher for 0% (1344 g d⁻¹) diet than 10% (1153), 20% (1098), 30% (955) or 40% diet (982). The average daily gain of lambs was also significantly different among diets (329 g d⁻¹, 227, 212, 185 and 253, respectively). Feed efficiency was significantly higher for 20% diet (5.2) followed by 30% (4.5), 10% (4.3), 40% (4.1) and 0% (4.1) diet. Carcass dressing was increasing as OL was augmented. Water intake (3.8 l d⁻¹ 3.3, 2.1, 1.3 and 0.8, respectively) decreased as consumption of OL increased. Crude protein was

digested higher ($P < 0.05$) in lambs fed 40% diet (72%) than other lambs (mean = 69). Ruminant pH and ammonia-N were not significantly different among treatments. Inclusion of OL on feedlot lambs diets is a good option for production systems where this resource is available.

3.3 Introducción

Aspectos como escasez de agua, suelos de mala calidad y suministro insuficiente de alimentos son las principales limitaciones de la ganadería de pastoreo desarrolladas en las regiones áridas y semiáridas de México. Estas áreas se caracterizan por condiciones secas, lluvias erráticas y suelos expuestos a la erosión. Sin embargo, las plantas de cactáceas del género *Opuntia* están bien adaptadas a las regiones áridas, debido a que han desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales para sostener su progreso en estos ambientes adversos (Kueneman y Kudo, 2001). En ciertas regiones del noreste de México, pencas de las plantas de *Opuntia* son utilizados por el ganado y la vida silvestre de animales domésticos como alimento y agua de emergencia (Reynolds y Arias, 2001).

Se reconocen 104 especies que pertenecen al género *Opuntia*. Son abundantes y ampliamente distribuidas en grandes áreas donde predominan llamadas "nopaleras", de los cuales el 60 % se encuentra en el desierto de Chihuahua. Las especies más importantes que se utilizan como fuente de forraje son *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*. Sin embargo, *O. leucotricha* (OL) es de amplia distribución, resistente a la sequía, de alta productividad y es suculenta (Elizondo *et al.*, 1987).

En México cladodios de OL se utilizan tradicionalmente como alimento de emergencia para el ganado, sobre todo durante los períodos de sequía. Sin embargo, cuando los cladodios de *Opuntias* son utilizados como única fuente de alimento, se presenta pérdida de peso, disminución de la grasa de la leche (Santos *et al.*, 1990) también se presentan timpanismos y diarreas (Tegegne *et al.*, 2005).

La investigación del uso de *Opuntias* en los sistemas de producción intensivos es escasa. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar los parámetros productivos, digestivos y calidad de la canal de ovinos en engorda alimentados con dietas con diferentes niveles de cladodios de *Opuntia leucotrichia*.

3.4 Materiales y métodos

Se realizaron dos pruebas simultáneas donde se evaluaron cinco dietas iso-proteicas e iso-energéticas con; 0, 100, 200, 300 o 400 g/kg de cladodios de OL en base seca. Como fueron encontradas en el agostadero, cerca del 25% de cladodios inmaduros de plantas jóvenes fueron cosechados, para después remover las espinas mediante quemador de gas butano y triturarlos en una picadora helicoidal eléctrica y para después mezclarlos en las dietas.

Se utilizaron 50 corderos Rambouillet X Dorper (19 ± 2.8 kg de peso), los cuales fueron vacunados, desparasitados y aleatoriamente asignados a uno de los grupos experimentales (10 animales por tratamiento). Los corderos fueron adaptados a las dietas durante 10 d para después continuar con un periodo experimental de 90 d. Las dietas se ofrecieron dos veces al día (8:30 y 16:00 h) ofreciendo el 5% más de acuerdo al consumo del día anterior. El consumo de alimento fue registrado

diariamente restando el alimento ofrecido menos el alimento rechazado. Se realizaron pesajes al principio del periodo de adaptación y posteriormente cada 15 d. El peso inicial de los corderos fue ajustado mediante covarianza.

Durante el día 91 se retiró el alimento manteniendo el acceso permanente al agua para ser sacrificados. El peso vivo fue obtenido inmediatamente antes del sacrificio, mientras que la canal y los componentes no incluidos en la canal fueron pesados inmediatamente después del sacrificio. La canal fue colgada e introducida a una cámara fría a 4°C. Los componentes no incluidos en la canal (cabeza, piel, tracto digestivo lleno y vacío, los pulmones, corazón y tráquea fueron pesados como una sola pieza y se les llamó asadura). Se midió el pH de la canal el musculo semimembranoso usando un potenciómetro portátil. La pérdida por cocción y la capacidad de retención de agua se utilizaron para evaluar la calidad de la carne para lo cual se obtuvieron muestras del músculo semimembranoso a la hora 6 y 24 postsacrificio. La pérdida por cocción fue determinado mediante la diferencia de peso después de cocinar la carne a 76°C durante 45 min (Destefanis *et al.*, 2003). La capacidad de retención de agua fue determinada por la modificación de técnica de Grau y Hamm propuesta por Alarcón *et al.* (2005).

Para la prueba metabólica se utilizaron 5 borregos Rambouillet (80.5±2.3 kg de peso) equipados con cánula ruminal, en un diseño de cuadrado latino 5 X 5 con periodos de 21 d (14 d adaptación y 7 d para la toma de muestras). Los borregos fueron alimentados *ad libitum*, las mismas dietas experimentales utilizadas en la prueba de alimentación. Los animales se alojaron en jaulas metabólicas de 50 X 100 cm con acceso permanente a agua. Las dietas se ofrecieron dos veces al día (8:00 y 16:00 h). El consumo de alimento fue registrado diariamente en los días 14 a 21 del

periodo restando el alimento ofrecido menos el alimento rechazado. Muestras de la dieta y alimento rechazado fue colectado diariamente y secado a 55°C durante 48 h y molido en un molino Wiley con criba de 1 mm, se agruparon por periodo y se almacenaron para análisis posteriores. El día 15 de cada periodo, después de la alimentación matutina, se obtuvieron muestras de líquido ruminal a las 0, 1.5, 3 y 6 h. Una vez obtenidas fueron exprimidas con manta y filtradas con gasas, posteriormente se utilizó un potenciómetro para determinar pH, inmediatamente después a 30 ml del fluido ruminal se le agregaron 8 gotas de ácido sulfúrico al 97% y se congelaron a -12 °C. Después las muestras fueron analizadas para el contenido amoniacado mediante los procedimientos descritos por FAO (1986).

Se realizó la colección total de heces del día 16 al 21. Las heces fueron pesadas y mezcladas obteniéndose una muestra del 5% para luego congelarse a -12 °C. Las heces fueron posteriormente secadas a 55°C durante 48 h y después molidas a 1 mm. A las muestras de la dieta, rechazo y heces se les determinó materia seca, cenizas y proteína cruda (AOAC, 1997), fibra detergente ácido y fibra detergente neutro (Van Soest *et al.*, 1991). Los coeficientes de digestibilidad *in vivo* fueron calculados de acuerdo a lo descrito por Van Soest (1994).

Los datos de la prueba de alimentación fueron estadísticamente analizados utilizando un diseño de bloques al azar, mientras que los datos de la prueba de metabolismo y digestión se analizaron mediante un diseño de cuadrado latino 5 X 5, se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2000). Las medias se compararon mediante prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

3.5 Resultados y discusión

El peso final de los corderos fue significativamente diferente entre tratamientos (Tabla 3.1). La ganancia total y la GDP mostraron una tendencia similar al peso final. Los corderos que no consumieron OL crecieron cerca de 40% más que los alimentados con OL. El Consumo de Materia Seca (CMS) también fue diferente entre los grupos experimentales los animales consumieron menos alimento conforme se incrementó el nivel de OL. La eficiencia alimenticia fue también significativamente diferente entre tratamientos, los animales del grupo sin o con 40% de OL requirieron menos alimento para ganar peso (tabla 3.1). En este estudio la adición de OL a la dieta de corderos grano de cebada puede ser sustituido por cladodios de *Opuntia ficus indica* sin afectar la ganancia de peso de corderos raza Barbarine.

Aparentemente el uso de proteína de sobrepaso mejora la ganancia de peso en comparación con otras fuentes de proteína. En este estudio la inesperada superioridad en la ganancia de peso de los corderos consumiendo 40% de OL comparados con los de 30% (Tabla 3.1) puede ser explicada por la mayor cantidad de harina de pescado (4.8 vs 2.4% de la dieta, respectivamente). Una respuesta similar fue reportada recientemente por Aguilera *et al.*, (2008) cuando alimentaron corderos con dietas con diferentes niveles de bagazo de cervecería y harina de pescado. Así mismo, Tien y Beynen (2005) reportan que la adición de harina de pescado mejoró la GDP ADG (145 g d⁻¹) al compararla con la pasta de cacahuete (130 g d⁻¹) en corderos suplementados con 32% de *Opuntia elator*. Degu *et al.* (2009) también encontraron mayor GDP en corderos con dietas con semilla de algodón en comparación semillas de *Guizotia* adicionadas a una dieta basal de *Opuntia Ficus indica* y paja de *Eragostis tef*.

Tabla 3.1. Parámetros productivos y características de la canal de ovinos alimentados con diferentes niveles de *Opuntia leucotrichia*.

Item	Porcentaje de OL en las dietas, BS					EEM	P>
	0	10	20	30	40		
Peso inicial, kg	19.2	19.3	19.3	19.2	19.2	0.2	1.00
Peso final, kg	49 ^a	43 ^b	40 ^c	38 ^d	41 ^b	0.3	0.01
Ganancia total, kg	29 ^a	24 ^b	21 ^d	19 ^e	22 ^c	0.1	0.01
Ganancia diaria de peso, g	329 ^a	254 ^b	213 ^c	185 ^c	227 ^{bc}	14.0	0.01
Consumo de MS, g/d	1344 ^a	1153 ^b	1099 ^b	955 ^c	982 ^c	22.0	0.01
Conversión alimenticia ¹	4.1 ^c	4.5 ^b	5.2 ^a	5.2 ^a	4.3 ^{bc}	0.1	0.01
Características de la canal							
Rendimiento canal caliente, %	46.9 ^c	47.2 ^c	48.6 ^b	48.4 ^b	49.6 ^a	0.3	0.03
Rendimiento canal fría, 24 h, %	45.4 ^c	45.6 ^c	47.2 ^b	46.9 ^b	48.2 ^a	0.3	0.03
Asadura ² , %	7.5	7.6	7.7	7.4	7.6	0.3	0.35
Hígado ² , %	4.5	4.5	4.4	4.4	4.3	0.1	0.48
Rumen vacío ² , %	6.8 ^b	7.3 ^a	7.3 ^a	7.5 ^a	7.6 ^a	0.1	0.04
pH	6.2	6.3	6.1	6.3	6.4	0.1	0.72
Grasa dorsal ajustada ³ , mm	5.1 ^a	4.9 ^a	4.4 ^b	4.4 ^b	3.8 ^b	0.2	0.01
Perdida por cocción, %	27.6	28.6	27.9	28.2	27.5	0.2	0.54
Capacidad de retención de agua, %	61.7	61.5	62.3	61.9	61.9	0.4	0.31
Perdida por goteo, %	5.1	5.2	5.1	5.3	5.2	0.1	0.82

¹Calculado en base al consumo de material seca/ Ganancia diaria de peso.

²Calculado en base a porcentaje del peso de la canal.

³Variable ajustada al peso de la canal caliente.

^{ab}Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

Las características de la canal y la carne se muestran en la Tabla 3.1. La inclusión de OL mejora el rendimiento en canal, el porcentaje más alto se obtuvo en la dieta con 40% de OL (49.6) comparado con (46.9) de la dieta control. Aunque las canales de las dietas de animales alimentados con OL fueron más livianas que las del grupo control, el rendimiento en canal fue mayor en los animales alimentados con *Opuntia*, lo cual coincide con lo reportado por Tien and Beynen (2005), mientras que Atti *et al.* (2006) en cabritos; Veras *et al.* (2005), Einkamerer (2009) y Fuentes-Rodríguez *et al.* (2009) en corderos quienes reportan rendimientos en canal y peso de órganos similares en dietas con y sin Opuntias; mientras que Abidi *et al.* (2009) mencionan que no encontraron diferencias en el rendimiento en canal de ovejas, pero si en la de cabras, encontrando una reducción en los animales alimentados con *Opuntia ficus indica* (42.3 vs 45.6%).

El rumen expresado como porcentaje del peso en canal fue mayor en los corderos de las dietas con OL (7.4%) comparados con la dieta control (6.8%), esto podría ser explicado por los fragmentos remanentes de espinas o por algunos cambios en la estructura histológica del rumen como fue reportado por Neiva *et al.* (2006) quienes encontraron papilas ruminales más desarrolladas en dietas de ovinos alimentados con 30 o 60% de *Opuntia ficus indica* al comparados con el grupo control 0%. La grasa dorsal ajustada disminuyó conforme se aumentó el nivel de OL con 5.1 mm para la dieta control, comparado con 3.8 mm en la dieta con 40% de OL. Atti *et al.*, (2009) quienes adicionaron 0, 34, 38 o 42% *Opuntia ficus-indica f. inermis* en dietas de cabritos encontraron una reducción de 28% en la grasa corporal total en los animales alimentados con *Opuntia*. La asadura, hígado, pH, pérdida por cocción, capacidad de retención de agua y pérdida por goteo no fueron afectadas por la adición

de OL, los cual coincide por lo reportado por Atti *et al.* (2009) y Fuentes-Rodríguez *et al.* (2009).

En este estudio conforme se incrementó el OL, el CMS se redujo (Tabla 3.2). Sin embargo basados en los requerimientos de MS de ovinos en mantenimiento (2–2.5% PV) y crecimiento (4–4.5% PV) (Van Soest, 1994; NRC, 2007), todos los tratamientos satisficieron los requerimientos de mantenimiento para CMS; mientras que las dietas con 0, 10 o 20% de OL suministraron nutrientes adicionales para crecimiento. En contraste, Tegegne *et al.* (2007) en ovinos y Vieira *et al.* (2008a) en caprinos reportan aumento en el CMS conforme se incrementó el nivel de *Opuntia* en la dieta, sin embargo en las dietas de ambos autores las *Opuntias* sustituían paja y heno de zacate, mientras que en le presente el nopal era sustituido por grano de maíz y heno de avena.

El consumo de agua disminuyó conforme se incrementó el nivel de OL en la dieta (Tabla 3.2). Lo cual es similar a lo reportado por Tegegne *et al.* (2007) en ovinos, Carvalho *et al.* (2005) en vacas en lactancia y Vieira *et al.* (2008a) en cabras al incluir *Opuntia* en las dietas. Según parece, el agua incluida en los cladodios representa una fuente importante de agua para los requerimientos de los animales. De Kock (2001) reporta que ovejas de lana sobrevivieron durante 500 días, utilizando cladodio como única fuente de agua. Por lo que la suplementación con OL como fuente de agua es importante en zonas áridas y semiáridas como lo son el centro y norte de México donde la disponibilidad de agua es limitada (Aguilera *et al.*, 2007).

La concentración de amoniaco en líquido ruminal fue similar en las dietas en los borregos alimentados con 0, 10 y 20% de OL, pero fueron más altas que las de los

Tabla 3.2. Consumo de nutrientes, parámetros ruminales y coeficientes de digestibilidad de ovinos alimentados con diferentes niveles de *Opuntia leucotrichia*

Item	Porcentaje de OL en las dietas, BS					EEM	P>
	0	10	20	30	40		
Consumo de MS							
g d ⁻¹	3065 ^a	2898 ^b	2655 ^c	2288 ^d	2240 ^d	34	0.01
g kg ⁻¹ d ⁻¹	38 ^a	36 ^b	33 ^c	28 ^d	28 ^d	0.4	0.01
g kg ^{0.75} d ⁻¹	114 ^a	108 ^b	99 ^c	85 ^d	83 ^d	0.9	0.01
% de PV	3.8 ^a	3.6 ^b	3.3 ^c	2.8 ^d	2.8 ^d	0.1	0.01
Consumo de agua							
L d ⁻¹	8 ^a	7 ^b	4 ^d	3 ^d	2 ^e	0.1	0.01
ml kg ⁻¹ d ⁻¹	103 ^a	91 ^b	55 ^c	35 ^d	22 ^e	3	0.01
ml kg ^{0.75} d ⁻¹	308 ^a	273 ^b	170 ^c	105 ^d	65 ^e	6	0.01
% de PV	10 ^a	9 ^b	6 ^c	4 ^d	2 ^e	0.3	0.01
Parámetros ruminales							
Amoniaco (mg dl ⁻¹)	14.8 ^a	14.2 ^a	14.4 ^a	12.9 ^b	13.0 ^b	0.3	0.02
pH	5.9	5.9	6.2	6.3	6.1	0.2	0.4
Digestibilidad (%)							
Materia seca	65	65	64	64	64	2	0.5
Materia orgánica	68	67	68	68	67	2	0.7
Proteína cruda	69 ^b	68 ^b	68 ^b	68 ^b	72 ^a	1	0.03
Fibra detergente neutra,	58	61	59	58	61	1	0.3
Fibra detergente ácida	47	45	46	46	44	2	0.2

^{ab} Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

animales en las dietas de 30 y 40%. Bisop *et al.* (2007) en ovinos and Vieira *et al.* (2008a) en cabras también reportaron una reducción en NH₃-N ruminal conforme el nivel de Opuntias se incrementó. En este estudio, el pH ruminal fue similar (P>0.05) entre las diferentes dietas experimentales (Tabla 3.2), lo cual coincide por lo reportado por Bisop *et al.* (2007).

La digestibilidad de los ovinos fue similar (P>0.05) en MS, MO, FDN y FDA. Sin embargo se obtuvo una digestibilidad mayor en la PC en los animales con dietas de 40% de OL (Tabla 3.2). Como se discutió con anterioridad esto podría explicarse por la inclusión de mayores cantidades de harina de pescado en la dieta con 40% de OL, lo cual aumentaría la digestibilidad de la PC de la dieta. Bisop *et al.* (2007) cuando incorporaron 0, 14, 28, 42 o 56% de *Opuntia ficus indica* en substitución de zacate Elefante, reportaron coeficientes de digestibilidad mayores de MS y MO en las dietas que incluían *Opuntias*, pero no encontraron diferencias entre las dietas que incluían *Opuntias*. Tegegne *et al.* (2007) también encontró coeficientes de digestibilidad similares de MS, MO y PC, en corderos que consumieron dietas con 0, 20, 40 o 60% de *Opuntia ficus indica*; sin embargo todos los coeficientes se redujeron en las dieta con 80%. Por otro lado, Gebremariam *et al.* (2006) reportan que los porcentajes de digestibilidad de PC, FDN y FDA disminuyeron conforme los niveles de *Opuntia* incrementaron, mientras que los coeficientes de digestibilidad fueron similares para MS y MO.

3.6 Conclusión

La inclusión de OL en la dieta de animales en engorda soporta parámetros productivos y coeficientes de digestibilidad de nutrientes razonables. Por lo que el uso de OL puede ser considerado una buena alternativa que suministra nutrientes y agua para rumiantes en sistemas de producción donde este recurso está disponible.

3.7 Literatura citada

- Abidi, S., Ben Salem, H., Vasta, V., Priolo A. 2009. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica f. inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.*, 87: 9-16.
- Aguilera, J.I., Ramírez, R.G., Arechiga, C.F., Mendez-Llorente, F., Lopez-Carlos, M.A., Silva-Ramos, J.M., Rincon-Delgado, R.M. and Duran-Roldan F.M., 2008. Effect of feed additives in growing lambs fed diets containing wet brewers grains. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 21: 1425-1434.
- Aguilera J.I., Ramírez, R.G., Arechiga, C.F., Lopez, M.A., Bañuelos, R., Duran, M. and Rodríguez, E.R. 2007. Influence of wet brewers grains on rumen fermentation, digestion and performance in growing lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6: 641-645.
- Alarcón, R.A.D., Duarte, J.O., Rodríguez, F.A. and Janacua H. 2005. Incidence of PSE and DFD muscle in pigs slaughtered in Mexico's Bajío region. *Tec. Pecu. Mex.*, 43: 335-346.

- AOAC, 1997. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A. and Ben Salem, L. 2004. Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia L.*) as alternative supplements for browsing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small Rumin. Res.*, 51: 65-73.
- Bispo, S.V., Ferreira, M.A. and Veras, A.S.C. 2007. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante: efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. *R. Bras. Zootec.*, 36: 1902-1909.
- Carvalho, C.C., Ferreira, M.A. and Calvalcanti, C.V.A. 2005. Efeito da substituição do feno de capim Tifton (*Cynodon spp*) por palma forrageira (*Opuntia Ficus indica Mill*) sobre o comportamento ingestivo de vacas em Holandesas em lactação. *Acta Scientiarum*, 27:505-512.
- De Kock, G.C. 2001. The use of *Opuntia* as a fodder source in arid areas of South Africa. In: Mondragon, C. and Gonzalez, S. (eds.). *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. FAO Plant Production and Protection. Paper 169, pp. 73-90.
- Degu, A., Melaku, S.G. and Berhane, S. 2009. Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus-indica*)–tef straw (*Eragrostis tef*) based feeding of Tigray Highland sheep. *Anim Feed Sci Tech.*, 148: 214-226.
- Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M.T. and Lazzaroni, C. 2003. Effect of castration on meat quality in Piemontese cattle. *Meat Sci.*, 64: 215-218.

- Einkamerer, O.B., de Waal, H.O., Combrinck, W.J. and Fair, M.D. 2009. Feed utilization and growth of Dorper wethers on *Opuntia*-based diets. S. African J. Anim. Sci. 39: 53-57.
- Elizondo, E.J., López, J.J., Dueñez, G.J. 1987. El Género *Opuntia* (Tournefort) Miller y su Distribución en el Estado de Coahuila. 2a Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto del Biología, UNAM, México. p. 35.
- FAO, 1986. Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding. Research Guidelines, FAO, Rome. Paper 50/2. pp. 18-26.
- Fuentes-Rodriguez, J., Murillo, S.M., Torres, H.M., Murillo, S.M.E., Lopez, G.J.J., Rodríguez, D.K. and Ortiz, R.B. 2009. Carcass characteristics of sheep supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia spp.*) and mezquite (*Prosopis spp.*). Acta Hort., 811: 343-348.
- Gebremariam, T., Melaku, S. and Yami, A. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) strawbased feeding of sheep. Anim. Feed Sci. Tech., 131: 43-52.
- Kueneman, E. and Kudo, H. 2001. Foreword In: Mondragon, C. and Gonzalez, S. (eds.). Cactus (*Opuntia spp.*) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper, 169. pp. iii.
- Neiva, G.S.M., da Mota, D., Vieira, B.A.M., and de Sousa-Rodrigues, C.F. 2006. Mucous Membrane of the rumen of ovines, fed with spineless, forage cactus or palm (*Opuntia ficus indica* Mil): hystochemical study by means of light microscopy. Int. J. Morphol., 24:723-728.

- NRC, 2007. National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids, 1st Edition. National Academies Press Washington, D.C., pp. 39-81.
- Reynolds, S. and Arias, E. 2001. Introduction. In: Mondragon, C. and Gonzalez, S. (eds.). Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper, 169. pp. 1-36.
- Santos. M.V.F., Lira, M.A. and Farias, I. 1990. Estuo do comportamento das cultivares de palma forrageira gigante redonda (*Opuntia ficus-indica*) e miùda (*Nopalea cochenillifera*) na producao de leite. Rev. Soc. Bras. Zoot., 19: 504-511.
- SAS, 2000. SAS/STAT® User's Guide (8.1Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Steel, R.G. and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York, NY., pp. 107-133.
- Tegegne, F., Peters, K.J. and Kijora, C. 2005. Cactus pear (*Opuntia ficus indica*): a strategic crop in combating food and feed insecurity and desertification in Tigray, northern Ethiopia. Proc. Society. Nutr. Physiol., 14: 60-73.
- Tegegne, F., Kijora, C. and Peters, K.J. 2007. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small Rumin. Res., 72: 157-164.
- 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.

- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd Ed. Cornell University Press, Ithaca, NY., pp. 373.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 66: 2109-2115.
- Vasta, V., Abidi, S., Ben Salem, H., Nefzaoui, A., and Priolo, A. 2004. Effects of the supplementation of olive cake and cactus pad silage on sheep intramuscular fatty acid composition. *Options Méditerranéennes*, 78: 341-344.
- Veras, R.M.L., Ferreira, M.A., Cavalcanti, C.V., Vera, A.S.C., Carvalho, F.F.R., Santos, G.R.A., Alves, K.S. and Maior Junior, R.J. 2005 Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dietas de ovinos em crescimento. *Desempenho. Rev. Bras. Zoo.*, 34: 249-256.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS, CONDUCTUALES Y CALIDAD DE CANAL DE PORCINOS EN ENGORDA ALIMENTADOS CON *OPUNTIA ROBUSTA***

4.1 Resumen

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar los parámetros productivos, conductuales, calidad de la canal y la carne de porcinos alimentados con diferentes niveles de *Opuntia robusta* (OR). Sesenta cerdos castrados Landrance X Duroc (45±4 d de edad; 16.2±1.2 kg de peso vivo) fueron divididos aleatoriamente cuatro dietas (15 animales por dieta) que contenían 0%, 5% 10% o 15% de OR en base seca. El periodo de alimentación duró 130 d. Durante los días 70 al 76 se grabó el comportamiento de los cerdos mediante cámaras de seguridad. Los animales fueron sacrificados al alcanzar 102 kg, midiéndose las características de la canal y la carne. El consumo de materia seca (CMS) fue mayor ($P<0.05$) para los animales consumiendo 0 y 5% de OR (1825 y 1785 g día⁻¹) seguidos por los que consumieron 10% (1725 g día⁻¹) y finalmente 15% (1634 g día⁻¹). La ganancia total de peso (GT) y la ganancia diaria de peso (GDP) tuvieron un comportamiento similar al CMS. Los cerdos alimentados con OR tuvieron mayor porcentaje de tiempo echados (72.5%) comparados con el grupo control (70.8%). Además, los animales alimentados con OR utilizaron el 78% de su tiempo parados en comer, comparado con 71% del grupo control; asimismo, las peleas también disminuyeron en los animales alimentados con OR 2.7% comparados con 16.9% en los animales con 0% de OR. El rendimiento en

canal no fue diferente ($P>0.05$) entre tratamientos; sin embargo, el peso de hígado, intestinos, grasa dorsal y mesentérica disminuyeron conforme se incrementó OR en la dieta. El área del ojo de la chuleta (56.5 vs. 52.7 cm²) y la resistencia al corte (6.3 vs. 7.3 kg/cm²) fue mayor en la carne de los animales alimentados con OR en comparación al control. La inclusión de OR en dietas de cerdos en engorda mantiene los parámetros productivos, mejora la conducta, disminuye la grasa dorsal y mesentérica y aumenta el área del ojo de la chuleta por lo que es una buena alternativa en la producción de porcinos.

4.2 Abstract

This study was conducted with the aim to evaluate growth performance of pigs fed a growing diet with graded levels of *Opuntia robusta* (OR). Sixty castrated male pigs Landrace x Duroc (45±4 d of age; 16.2±1.2 kg BW) were randomly allotted to four diets containing 0, 5, 10 and 15% OR (dry matter basis). The feeding period lasted 130 d. During the 70 to 76 days security cameras recorded the behavior. When the pen group reach 102 kg of weight then animals were send to slaughterhouse where carcass and meat characteristics were measured. Individual weight of animals was recorded every 15 days. The dry matter intake (DMI) was higher ($P<0.05$) for those animals feeding 0% and 5% of OR (1825 and 1785 g day⁻¹) followed by 10% (1725 g day⁻¹) and finally 15% (1634 g day⁻¹). Total gain weight (TG) and average daily gain (ADG) showed similar pattern as DMI. The pigs in OR diets were longer lying (72.5%) compared with control group (70.8%); of their standing time pigs on the OR diets spend 78% of time eating and control pigs 71%; the fighting time also were reduced in the OR diets (2.7%) vs. (16.9%) in the control

group. The carcass dressing were unaffected by OR addition ($P>0.05$), however liver, gut, dorsal and mesenteric fat were reduced as OR level increased. The rib eye area (56.5 vs. 52.7 cm^2) and shear force (6.3 vs. 7.3 kg/cm^2) were higher on the OR diets meat compared with control. The addition of OR on fattening pig diets sustain performance and enhance the behavior, reduce the dorsal and mesenteric fat and increase the rib eye area, therefore is good alternative to swine production.

4.3 Introducción

El interés de los humanos por las cactáceas data de miles de años, y están muy relacionados con la historia de los pueblos mesoamericanos, siendo un símbolo importante para México desde el imperio Azteca. Se reconocen 104 especies que pertenecen al género *Opuntia*, las cuales son abundantes y ampliamente distribuidas en grandes áreas donde predominan llamadas "nopaleras", de los cuales el 60 % de se encuentra en el desierto de Chihuahua. Las especies más importantes que se utilizan como fuente de forraje son *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*. Sin embargo, *O. robusta* (OL) es de amplia distribución, resistente a la sequía, de alta productividad y presenta pocas espículas (Elizondo *et al.*, 1987).

En México cladodios de Opuntias se utilizan tradicionalmente como alimento de emergencia para el ganado, sobre todo durante los períodos de sequía. Sin embargo, al ser utilizados como única fuente de alimento, se presenta pérdida de peso, disminución de la grasa de la leche (Santos *et al.*, 1990), timpanismos y diarreas (Tegegne *et al.*, 2005).

Los sistemas de alimentación tradicional porcina basada en pastas de oleaginosas y granos presentan una baja o nula utilidad para pequeños y medianos porcinocultores, por lo que importante evaluar fuentes no convencionales de alimento, una de las estrategias de para identificar posibles ingredientes es la observación de los hábitos alimenticios cerdos en vida libre. Taylor y Hellgren (1997) mencionan que las *Opuntias* forman una parte importante de la dieta de porcinos ferales durante todo el año. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar los parámetros productivos, etológicos y calidad de la canal de porcinos en engorda alimentados con dietas con diferentes niveles de cladodios de *Opuntia robusta*.

4.4 Materiales y Métodos

Se utilizaron 60 cerdos machos castrados Landrace x York de 45 ± 4 días de edad y 16.2 ± 1.2 kg de peso, los cuales fueron divididos en 12 grupos experimentales de 5 animales y luego aleatoriamente asignados a cuatro dietas experimentales (15 animales por dieta), conteniendo OR a niveles de 0, 50, 100 y 150 g kg^{-1} en base seca. Se consideraron 3 etapas de alimentación: iniciación, crecimiento y finalización en base a las recomendaciones del NRC (1998), se utilizó una dieta base en cada etapa de alimentación (Tabla 4.1) a la que se le agregaron los diferentes niveles de OR.

Como fueron encontradas en el agostadero, cerca del 25% de cladodios inmaduros de plantas jóvenes fueron cosechados, para después remover las espinas mediante quemador de gas butano y triturarlos en una picadora helicoidal eléctrica, para después mezclarlos en las dietas.

Tabla 4.1. Ingredientes y composición química (base seca) de las dietas basales para cerdos en diferentes etapas de alimentación

Concepto	Dietas base		
	Iniciación	Crecimiento	Finalización
Ingrediente			
Trigo grano, g kg ⁻¹	647	712	790
Soya pasta, g kg ⁻¹	323	259	181
Carbonato de calcio, g kg ⁻¹	8	7	7
Fosfato monobásico, g kg ⁻¹	2	2	2
Premezcla, g kg ⁻¹	20	20	20
Composición química			
Materia seca, g kg ⁻¹	935.1	937.6	941.8
Cenizas, g kg ⁻¹	41.6	39.0	37.7
Proteína cruda, g kg ⁻¹	223.5	205.8	181.1
Fibra cruda, g kg ⁻¹	34.0	34.7	33.1
Extracto etéreo, g kg ⁻¹	43.0	33.5	34.5
Energía metabolizable, Kcal kg ⁻¹	3212.0	3214.0	3209.0
Lisina, g kg ⁻¹	1.25	1.10	0.92
Metionina, g kg ⁻¹	0.40	0.35	0.31

Los cerdos fueron adaptados a las dietas durante 10 d para después continuar con un periodo experimental de 120 d. Las dietas fueron suministradas dos veces al día (8:30 y 16:00 h) ofreciendo el 5% más de acuerdo al consumo del día anterior. El consumo de alimento fue registrado diariamente restando el alimento ofrecido menos el alimento rechazado. Se realizaron pesajes al principio del periodo de adaptación y posteriormente cada 20 d. Los datos considerados para la fase de alimentación fueron hasta los 130 d de engorda. El peso inicial de los lechones fue ajustado mediante un análisis de covarianza. A las muestras de la dieta se le determinó la materia seca, cenizas y proteína cruda (AOAC, 1997), fibra detergente ácido y fibra detergente neutro (Van Soest *et al.*, 1991). En base a los datos de GDP, CMS, CA y precios de los alimentos fueron calculados los costos de alimentación por kg de peso ganado y la inversión en alimento para alcanzar 100 kg de peso.

Durante los días 70 al 76 con el uso de cámaras de video de seguridad se grabó durante 48 h en cada corral el comportamiento de los cerdos, cada cerdo fue marcado con pintura para facilitar su identificación. El video fue analizado y se registró la ocurrencia y duración de los siguientes eventos: comiendo, bebiendo, echados, peleando, comportamiento oral no alimenticio (cuando los cerdos mordieron objetos inanimados dentro del corral), socializando (cuando los cerdos trompeando, oliendo y en contacto con los otros), inactivos (cuando los animales estuvieron de pie pero sin moverse) de acuerdo a la metodología propuesta por Holt *et al.* (2006).

Una vez que los animales alcanzaron un peso superior a 95 kg, se les retiró el alimento manteniendo el acceso permanente al agua durante 16 h previo al sacrificio. El peso vivo fue obtenido inmediatamente antes del sacrificio, mientras que la canal y los componentes no incluidos en la canal fueron pesados inmediatamente después del

sacrificio. La canal fue colgada e introducida a una cámara fría a 4°C. Los componentes no incluidos en la canal (cabeza, piel, tracto digestivo lleno y vacío, los pulmones, corazón y tráquea fueron pesados como una sola pieza y se le llamó asadura).

Se midió el pH de la canal en el músculo semimembranoso usando un potenciómetro portátil. Se midió el espesor de la grasa dorsal con una regla sobre la línea media a lo largo de la región dorsal a la altura de la 10^{ma} y 12^{ava} vértebras torácicas. La profundidad de la chuleta se midió con una regla, longitudinalmente desde la base del músculo *longissimus dorsi* en la columna vertebral, hasta la región distal del mismo músculo, haciendo un corte a la altura de la 12^{ava} vértebra torácica. La predicción de la cantidad de cortes primarios se estimó con la ecuación propuesta por Velásquez y Beldar (1998) utilizando los valores de la canal caliente, espesor de la grasa dorsal y profundidad de la chuleta.

Los datos fueron analizados estadísticamente con un diseño completamente al azar utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2000). Las medias se compararon mediante prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

4.5 Resultados y Discusión

La ganancia de peso de los cerdos fue significativamente ($P < 0.05$) diferente entre los tratamientos durante todas las etapas de alimentación (Tabla 4.2). Durante el periodo de iniciación (0-40 d) cerdos alimentados con 0% y 5% de OR fueron 7 y 11 % más pesados que los alimentados con 10 o 15% de OR, en el periodo de

Tabla 4.2 Parámetros productivos de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de *Opuntia robusta* (OR)

Concepto	Porcentaje de OR en las dietas, BS				EEM	P >
	0%	5%	10%	15%		
Peso, kg						
Inicial	16.3	16.2	16.5	16.4	0.2	1.0
40 d	38.1 ^a	37.4 ^a	35.9 ^b	34.3 ^c	0.2	0.01
80 d	69.0 ^a	66.6 ^{ab}	63.3 ^b	59.9 ^c	0.2	0.01
Final 130 d	103.2 ^a	100.8 ^{ab}	97.5 ^b	92.7 ^c	0.2	0.01
Ganancia total	86.9 ^a	84.6 ^b	81 ^c	76.3 ^d	0.2	0.01
Consumo de materia seca, g/día						
0-40 d	1162 ^a	1126 ^a	1027 ^b	958 ^c	22.1	0.01
40-80 d	1786 ^a	1687 ^b	1581 ^c	1474 ^d	34.5	0.01
80-130 d	2388 ^a	2391 ^a	2400 ^a	2302 ^b	33.5	0.01
0-130 d	1825 ^a	1785 ^{ab}	1725 ^b	1634 ^c	37.5	0.01
Ganancia diaria de peso						
0-40	483.9 ^a	469.1 ^a	432.1 ^b	399.2 ^c	22	0.01
40-80	687.3 ^a	648.9 ^{ab}	608.1 ^{bc}	567.5 ^c	22	0.01
80-130	853.5 ^a	854.3 ^a	857.4 ^a	822.0 ^a	22	0.01
0-130 d	668.5 ^a	650.8 ^a	623.1 ^{ab}	586.9 ^b	22	0.01
Eficiencia ^x	2.73	2.74	2.77	2.78	0.08	0.3
Días para 100 kg	125 ^a	129 ^a	134 ^b	142 ^c	2	0.01

*En la dieta 5%, los porcinos consumieron 50 g OR kg⁻¹ BS; en 10% OR, 100; y en 15%OR, 150.

EEM = error estándar de la media.

^xCalculada en base al consumo de materia seca/Ganancia diaria de peso.

^{ab}Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

crecimiento (80 d) los cerdos alimentados con 0% y 5% OR fueron 9 y 15% más pesados que los de las dietas 10 o 15% de OR; sin embargo, durante la etapa de finalización las diferencias fueron menores ya que los cerdos en las dietas con 10 o 15% de OR, fueron 5 y 8% más livianos que los de las dietas 0% y 5% de OR. La ganancia total de peso fue menor en 7 y 14% en las dietas con 10 y 15% de OR al compararlas con las obtenidas en los cerdos con las dietas de 0 o 5% de OR. Los cerdos de las dietas con 0 y 5% de OR mostraron pesos similares durante todas las etapas de alimentación.

Como era previsible el consumo de materia seca (CMS) fue incrementando de acuerdo al crecimiento de los cerdos, de igual manera en esta variable también se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Durante los primeros periodos de alimentación 0-40 d y 40-80 d, el CMS disminuyó de forma lineal conforme se incrementaron los niveles de OR en las dietas. Mientras que para el periodo 80-130 d, los cerdos con las dietas con 0%, 5% y 10% de OR mostraron CMS similar y mayor en que los de la dieta con 15% de OR.

La GDP fue significativamente diferente entre los diferentes tratamientos durante los diferentes periodos de alimentación. Durante la fase de iniciación las ganancias mayores ($P < 0.05$) fueron para los animales alimentados con 0% y 5% de OR seguidos por el grupo alimentado con 10% y 15%, durante el periodo de crecimiento también fueron detectadas diferencias ($P < 0.05$) en la GDP similar al período de iniciación. Sin embargo, para la etapa de finalización la GDP obtenida fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos con un promedio de 846.2 g día^{-1} . La conversión alimenticia fue similar ($P > 0.05$) entre las diferentes dietas experimentales. El periodo

de engorda para los animales alimentados con 10% o 15% de OR fue 9 y 17 días mayor que el obtenido en los animales en las dietas de 0% y 5%.

En este estudio la inclusión de OR redujo la ganancia de peso (GP). Se ha establecido que la disminución en GP puede estar asociada con una reducida ingestión o digestibilidad de nutrientes (Van Soest, 1994). Aunque no se encontró, en la fuentes de información científica, algún estudio científico relacionado con el uso de Opuntia en la alimentación de porcinos, se puede comparar con la inclusión de ingredientes fibrosos en la dieta de cerdos en engorda. Yaakugh *et al.* (1994) obtuvieron una tendencia similar a la encontrada en este estudio al incluir 0, 12, 24 o 36% de bagazo de cervecería húmedo en la dieta de finalización de porcinos obteniendo 890 g d⁻¹ 0% BCS, 655 en 12% y 24% y 550 en 36%. Altizio *et al.* (2000) incorporó 25% de bagazo de cervecería húmedo en dietas de cerdos en engorda a partir de los 40 kg obteniendo un consumo de alimento similar, pero una GDP menor de 930 g d⁻¹ (Control) vs 833 g d⁻¹ (20% de bagazo de cervecería húmedo). Widmer *et al.* (2008) incorporaron 10 o 20% de grano seco de destilería en la dieta de cerdos en engorda y obtuvo GDP mayor en los cerdos en el periodo de crecimiento del 10% (873 gr/d) comparados con el 0% (805 gr/d) y 20% (828 gr/d), mientras que en el de engorda las GDP fueron similares (990 gr/d).

Sin embargo, Aletor y Ogunyemi (1990) usaron 0, 10, 20 y 40% de BCS, encontrando que solo durante los primeros 15 días la GDP fue diferente, y similar durante los periodos subsecuentes. Wang *et al.* (2008) alimentaron porcinos con 0, 10, 15 o 20% de harina de alfalfa a cerdos en engorda, reportando mayores CMS y GDP en los animales alimentados con alfalfa. Durante la última década, diversos investigadores han estudiado la digestibilidad de la fibra en porcinos; en función del

nivel de ingestión o composición de la fibra (Schrama *et al.*, 1998; Rijnen *et al.*, 2003a), además del peso o madurez del animal ya que al irse incrementando el peso es mayor el tiempo de retención del alimento en el intestino (Le Goff *et al.*, 2002).

En la evaluación de la postura de los cerdos se observó que los animales cuya dieta contenía OR pasaron mayor ($P < 0.05$) tiempo echados que los animales con la dieta control (Tabla 4.3). Sin embargo, el porcentaje de tiempo que los cerdos pasaron sentados fue similar ($P > 0.05$) con un promedio de 4.5. Los resultados de este estudio difieren con los resultados obtenidos por Holt *et al.* (2006) en cerdas con 40 y 80 días de gestación alimentadas con una dieta alta en fibra; las cerdas alimentadas con mayores concentraciones de fibra presentaron menor porcentaje de tiempo echadas sentadas, pero coinciden con lo reportado Ramonet *et al.* (1999) quienes observaron que aumentando el nivel de fibra en la ración de cerdas reproductoras se reducía la actividad en pie y el comportamiento oral no alimenticio.

El porcentaje de tiempo que los cerdos pasaron comiendo fue mayor ($P < 0.01$) en las dietas que incluían OR (Tabla 4.3), lo cual coincide con lo reportado por Holt *et al.* (2006) y Ramonet *et al.* (2000) al evaluar el dietas con 29%, 23% y 8% de fibra en cerdas en gestación. En este estudio, el porcentaje de tiempo que pasaron los cerdos bebiendo agua también fue afectado por el consumo de OR. Los valores más altos fueron para los tratamientos 5% y 10%, mientras que los animales con dietas de 0% y 15% obtuvieron porcentajes inferiores. Como era de esperarse la inclusión de OR disminuyó el tiempo que los animales destinan a beber. Lo anterior concuerda con lo reportado por Tegegne *et al.* (2007) en ovinos, Carvalho *et al.* (2005) en bovinos en lactancia y Vieira *et al.* (2008) en cabras. Gran parte del contenido de la materia seca de Opuntias es material inorgánico.

Tabla 4.3 Parámetros conductuales de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de *Opuntia robusta*.

Concepto	Porcentaje de OR en las dietas, BS				EEM	P>
	0%	5%	10%	15%		
Postura						
Echados	70.8 ^b	72.0 ^a	72.6 ^a	72.4 ^a	1.7	0.03
Sentados	4.8	4.3	4.4	4.5	0.6	0.2
Parados	24.4 ^a	23.7 ^b	23.0 ^b	23.1 ^b	1.5	0.2
Actividad de pie						
Comiendo	70.9 ^c	75.5 ^b	76.5 ^b	82.8 ^a	1.9	0.01
Bebiendo	7.1 ^b	12.6 ^a	11.9 ^a	6.6 ^b	1.1	0.01
Mordiendo	0.0 ^b	0.4 ^b	2.6 ^a	2.8 ^a	0.1	0.01
Peleando	16.9 ^a	3.7 ^b	1.8 ^b	2.6 ^b	0.8	0.01
Socializando	3.7	6.8	5.0	4.2	1.1	0.01

*En la dieta 5%, los porcinos consumieron 50 g OR kg⁻¹ BS; en 10%, 100; y en 15%, 150.

EEM = error estándar de la media.

^{ab}Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

Asimismo, Seynaeve *et al.* (1996) reportó que a mayor concentración de algunos minerales, aumenta en el consumo de agua debido a que el organismo necesita eliminar ese exceso de minerales mediante la orina.

Los cerdos en las dietas de 10 y 15% de OR presentaron mayor porcentaje de tiempo mordiendo comparados con 0 y 5%; Por otra parte, Holt *et al.* (2006) no reportó diferencias significativas, lo que contrasta con lo reportado por Ramonet *et al.* (2000) quienes obtuvieron un menor porcentaje de este comportamiento en cerdas alimentadas con niveles altos de fibra; sin embargo, estos animales estaban alimentados en forma restricta.

En este estudio, el tiempo que los cerdos pasaron socializando fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos con un promedio general de 5.2%. Mientras que el porcentaje de tiempo que los cerdos pasaban peleando fue diferente ($P<0.05$) siendo mayor en los animales de la dieta con 0% de OR comparados con los que consumieron OR. Ha sido demostrado que la actividad física disminuye conforme se aumentan los niveles fibra en la dieta de cerdos de engorda (Scharma *et al.*, 1998) o reproductoras (Rijnen *et al.*, 2003b). El gasto energético debido a la actividad física se reduce hasta 24% en dietas con ensilaje de remolacha (Scharma *et al.*, 1996) lo cual podría ser debido a: 1) la actividad de fermentación intestinal relacionada con los productos finales de dicha fermentación, 2) la disponibilidad más gradual de la energía de la ración durante el día, 3) la sensación de saciedad causada por el efecto de lastre o llenado del TGI, y/o 4) los efectos relacionados con la composición de FC de los ingredientes de las dietas.

Los días de engorda para alcanzar el peso al mercado se incrementaron conforme se incrementaron los niveles de OR y esto está directamente relacionado

con la GDP. González *et al.* (2002) encontraron que eran necesarios 11 y 34 d mas de engorda al incorporar 58 o 76% de harina de camote en dietas de cerdos en engorda. Asimismo, Yaakugh *et al.* (1994) reportaron que fueron necesarias dos semanas más de alimentación al incluir 12 o 24 % de BCS, mientras que al incluir el 36% el periodo de alimentación se alargó en 24 d.

No hubo diferencias significativas entre tratamientos en el peso de la canal caliente, peso de la canal fría, rendimiento en canal o pH *postmortem* (Tabla 4.4). Resultados similares fueron reportados por Atti *et al.* (2006) en cabritos; Veras *et al.* (2005), Einkamerer (2009) y Fuentes-Rodríguez *et al.* (2009) en corderos; sin embargo, Abidi *et al.* (2009) mencionan que no encontraron diferencias en el rendimiento en canal de ovejas, pero si en la de cabras, encontrando una reducción en los animales alimentados con *Opuntia ficus indica* (42.3 vs 45.6%). Lo cual contrasta con lo reportado por Méndez-Llorente *et al.* (2011) quienes reportan rendimiento en canal mayor en corderos alimentados con *Opuntia leucotrichia* y coincide con lo reportado por Tien y Beynen (2005).

La grasa dorsal disminuyó conforme se aumentó el nivel de OR en la dieta. La misma tendencia presentó la grasa mesentérica. Resultados similares fueron reportados por Méndez-Llorente *et al.* (2011) al alimentar corderos con *Opuntia leucotrichia* y reportan con 5.1 mm de grasa dorsal para la dieta control, comparado con 3.8 mm en la dieta con 40% de *Opuntia leucotrichia*. Atti *et al.* (2006) quienes adicionaron 0, 34, 38 o 42% *Opuntia ficus-indica f. inermis* en dietas de cabritos encontraron una reducción de 28% en la grasa corporal total en los animales alimentados con *Opuntia*.

Tabla 4.4. Características de la canal de cerdos alimentados con diferentes niveles de *Opuntia robusta*.

Concepto	Porcentaje de OR en las dietas, BS				EEM	P<
	0%	5%	10%	15%		
Peso al sacrificio, kg	102.1	101.8	102.0	101.9	1.9	0.2
Peso canal, kg						
Caliente con cabeza	66.1	65.7	65.9	65.3	0.8	0.1
Caliente sin cabeza	61.9	61.6	61.7	61.1	0.6	0.1
Canal fría 24 h	62.3	58.2	58.3	58.6	0.6	0.2
Rendimiento canal, kg						
Caliente con cabeza	64.9	64.6	64.7	64.1	1.6	0.5
Caliente sin cabeza	61.0	60.5	60.8	61.0	1.5	0.6
pH <i>postmortem</i>						
45 min	6.3	6.3	6.3	6.4	0.2	0.8
24 h	5.9	5.8	5.8	5.9	0.2	0.7
Grasa dorsal, mm						
10 ^{ma} vértebra	15.6 ^a	11.2 ^b	10.4 ^b	5.9 ^c	2.5	0.01
Cabeza, g	3935	4222	4260	4230	145	0.8
Hígado, g	2104 ^a	1864 ^b	1893 ^b	1888 ^b	62.3	0.01
Corazón, g	431	437	421	427	21.5	0.7
Pulmones, g	970	992	951	955	43.5	0.6
Asadura, g	1620	1570	1540	1560	65.8	0.4
Estomago vacío, g	668	684	651	716	28.3	0.2
Intestino delgado, g	2176 ^a	2251 ^a	1965 ^b	1650 ^c	45.8	0.01
Intestino grueso, g	1504 ^a	1555 ^a	1260 ^b	1285 ^b	30.7	0.01
Grasa mesentérica, g	1777 ^a	1176 ^b	892 ^c	905 ^c	24.2	0.01

*En la dieta 5%, los porcinos consumieron 50 g OR kg⁻¹ BS; en 10%, 100; y en 15%, 150.

EEM = error estándar de la media.

^{ab} Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

En este estudio, la asadura, hígado, pH, pérdida por cocción, capacidad de retención de agua y pérdida por goteo no fueron afectadas por la adición de OR, lo cual coincide por lo reportado por Atti *et al.* (2006) y Fuentes-Rodríguez *et al.* (2009). En porcinos, Shriver *et al.* (2003) reportan disminución en la grasa dorsal al incluir cascarilla de soya a la dieta de porcinos, al igual que Pond *et al.* (1988) en dietas con alfalfa.

Los componentes no incluidos en la canal como cabeza, corazón, pulmones, asadura y estomago no fueron diferentes ($P>0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, el hígado de los animales alimentados con OR fue más liviano ($P<0.05$) comparado con la dieta control. Estos resultados coinciden con lo reportado con Yaakugh *et al.* (1994) quienes mencionan que el peso del hígado disminuyó conforme se incrementaron los niveles de fibra en dietas de porcinos. El hígado entre sus múltiples funciones, regula el almacenaje de lípidos y el metabolismo de ácidos grasos, si el metabolismo energético es menor se ve reflejado en el peso del hígado (Leite *et al.*, 2012).

El peso del intestino delgado disminuyó conforme se incrementó el nivel de OR en las dietas; mientras que el intestino grueso pesó en promedio 1530 gr en los tratamientos 0 y 5% de OR y 1270 gr en los animales alimentados con 10 o 15% de OR. Méndez-Llorente *et al.* (2011), Atti *et al.* (2006) y Fuentes-Rodríguez *et al.* (2009) no encontraron diferencias en los componentes no incluidos en la canal de ovinos alimentados con Opuntias.

En este estudio, los órganos del TGI no fueron afectados por la inclusión de OR en la dieta. Cambios en tamaño y peso de los órganos del aparato digestivo son atribuidos a la adaptación de los animales a dietas específicas, el peso del TGI vacío

fue 10% mayor en cerdos alimentados con 30% de aceite de palma africana en comparación con el control (Terán *et al.*, 2004). Kass *et al.* (1980) y Pond *et al.* (1988) reportan que estómago, intestino delgado, colon y ciego de porcinos fueron más pesados conforme se incrementó el nivel de alfalfa en la dieta.

En este estudio, la resistencia al corte de la carne fue mayor ($P < 0.05$) en los animales alimentados con OR comparados con los de la dieta control (Tabla 4.5). Mientras que la pérdida por goteo fue mayor ($P < 0.05$) para los tratamientos con 0 y 5% de OR comparados con 10 y 15% de OR. La pérdida por cocción y capacidad de retención de agua fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos. El área del ojo de la chuleta fue mayor ($P < 0.05$) en los cerdos alimentados con OR comparados con el grupo testigo. En un estudio realizado por Méndez-Llorente *et al.* (2011) mencionan que la capacidad de retención de agua y pérdida por goteo no fueron afectadas por la adición de *Opuntia leucotrichia* en las dietas de ovinos.

4.6 Conclusión

El uso de dietas con OR puede ser una buena alternativa en la alimentación de porcinos debido a que mantiene y/o reduce parcialmente los parámetros productivos, aunque mejora las características de la conducta, disminuye la grasa dorsal y mesentérica y aumenta el área del ojo de la chuleta, por lo que es una alternativa para producir cerdos magros y con menores problemas de conducta.

Tabla 4.5. Características de la carne de cerdos alimentados con diferentes niveles de *Opuntia robusta*

Concepto	Porcentaje de OR en las dietas, BS					
	0%	5%	10%	15%	EEM	P<
Resistencia al corte kg/cm ²	6.3 ^b	7.1 ^a	7.4 ^a	7.3 ^a	0.64	0.01
Pérdida por goteo, %	4.6 ^a	4.8 ^a	3.8 ^b	3.9 ^b	0.46	0.01
Pérdida por cocción, %	25.8	26.3	24.9	25.0	1.23	0.3
Capacidad Retención Agua, %	74.5	75.1	74.8	74.6	2.2	0.3
Área del ojo chuleta, cm ²	52.6 ^b	55.3 ^a	57.0 ^a	56.7 ^a	3.4	0.01

*En la dieta 5%, los porcinos consumieron 50 g OR kg⁻¹ BS; en 10%, 100; y en 15%, 150.

EEM = error estándar de la media.

^{ab} Medias dentro de la misma hilera con diferentes literales indican diferencias significativas.

4.7 Literatura citada

- Abidi, S., Ben Salem, H., Vasta, V. and Priolo A. 2009. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica f. inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.*, 87: 9-16.
- Aletor, V.A. and Ogunyemi, O. 1990. The performance, haematology, serum constituents and economics of producing weaner-pigs on dried brewer's grain. *Nigerian J. of Techn. Res.* 2:85-89.
- Altizio, B.A., Wohlt, J.E. and Schoknecht, P.A. 2000. Nutrient content of spent microbrewery grains and variation with pub and brew type. *J. Anim. Sci.* 78 (Suppl 1): 223.
- AOAC, 1997. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Atti, N., Mahouachi, M., and Rouissi, H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. *Meat science* 73:229-235.
- Carvalho, C.C., Ferreira, M.A. and Calvalcanti, C.V.A. 2005. Efeito da substituição do feno de capim Tifton (*Cynodon spp*) por palma forrageira (*Opuntia Ficus indica Mill*) sobre o comportamento ingestivo de vacas em Holandesas em lactação. *Acta Scientiarum*, 27:505-512.

- Einkamerer, O.B., de Waal, H.O., Combrinck, W.J. and Fair, M.D. 2009. Feed utilization and growth of Dorper wethers on *Opuntia*-based diets. S. African J. Anim. Sci. 39: 53-57.
- Elizondo E.J., J.J. López, G.J. y Dueñez A. 1987. El Género *Opuntia* (Tournefort) Miller y su Distribución en el Estado de Coahuila. 2a Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto del Biología, UNAM, México.
- Fuentes-Rodriguez, J., Murillo, S.M., Torres, H.M., Murillo, S.M.E., Lopez, G.J.J., Rodríguez, D.K. and Ortiz, R.B. 2009. Carcass characteristics of sheep supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia spp.*) and mezquite (*Prosopis spp.*). Acta Hort., 811: 343-348.
- González, C., Díaz, I., León, M., Vecchionacce, H., Blanco, A. and Ly, J. 2002. Growth performance and carcass traits in pigs fed sweet potato (*Ipomoea batatas* L) root meal. Livestock Research for Rural Development 14: 6.
- Holt, J. P., Johnston, L. J., Baidoo, S. K., and Shurson, G. C. 2006. Effects of a high-fiber diet and frequent feeding on behavior, reproductive performance, and nutrient digestibility in gestating sows. J. Anim. Sci. 84: 946-955.
- Kass, L.M., Van Soest, P.J., Pond, W.G., Lewis, B. and McDowell, R.E. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. J. Anim. Sci. 50: 175-191
- Le-Goff, G., Van Milgen, J. and Noblet, J. 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. Anim. Sci. 74: 503–515.

- Leite, J. O., Ratliff, J., Volek, J. S., McGrane, M. M., y Fernandez, M. L. 2012. Effects of increased dietary cholesterol with carbohydrate restriction on hepatic lipid metabolism in Guinea pigs. *Comparative medicine* 62:109-115.
- Mendez Llorente, F., Ramirez Lozano, R. G., Lopez Carlos, M. A., Rodriguez-Frausto, H., Arechiga Flores, C. F., Bonilla-Salazar, A., and Aguilera-Soto, J. I. 2011. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *J. Applied Anim. Res.* 39:248-251.
- Mosenthin, R. 2011. The use of alternative feed ingredients in pig nutrition. Disponible en: http://www.kgzs-ms.si/users_slike/metkab/ZED11/ZED-09-Mosenthi.doc, accesado 15/06/2014.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th Revised edition. The National Academic Press., USA., pp. 16-30
- Pond, W.G., Jung, H.G. and Varel, V.H. 1988. Effect of dietary fiber on young adult genetically lean, obese and contemporary pigs: body weight, carcass measurements, organ weights and digest content. *J. Anim. Sci.* 66: 699-706.
- Ramonet, Y., Meunier-Salaun, M.C. and Dourmad, J.Y. 1999. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *J. Anim. Sci.* 77: 591-599.
- Rijnen, M.M.J.A., Verstegen, M.W.A., Heetkamp M.J.W. and Schrama, J.W. 2003a Effects of two different dietary fermentable carbohydrates on activity and heat production in group-housed growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1210-1219.
- Rijnen, M.M.J.A., Verstegen, M.W.A., Heetkamp M.J.W. and Schrama, J.W. 2003b Effects of dietary fermentable carbohydrates on behavior and heat production in group-housed sows. *J. Anim. Sci.* 81: 182-190.

- Santos M.V.F. dos, Lira M.A., y Farias I., 1990. Estuo do comportamento das cultivares de palma forrageira gigante redonda (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochenillifera*) na producao de leite. *Rev. Soc. Bras. Zoot.* 19:504-511.
- SAS, 2000. SAS/STAT® User's Guide Version 8.1 Edition. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Schrama, J.W., Bosch, M.W., Verstegen, M.W., Vorselaars, A.H., Haaksma, J. and Heetkamp, M.J. 1998. The energetic value of nonstarch polysaccharides in relation to physical activity in group-housed, growing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 3016-3023.
- Schrama, J.W., Verstegen, M.W., Verboeket, P.H., Schutte, J.B. and Haaksma, J. 1996 Energy metabolism in relation to physical activity in growing pigs as affected by type of dietary carbohydrate. *J. Anim. Sci.* 74: 2220-2225.
- Seynaeve, M., De Wilde, R., Janssens, G. and De Smet, B. 1996. The influence of dietary salt level on water consumption, farrowing, and reproductive performance of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 74:1047-1055.
- Shriver, J.A., Carter, S.D., Sutton, A.L., Richert, B.T., Senne, B. W. and Pettey, L.A. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 492-502.
- Steel, R.G. and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York, NY. pp. 107-133.
- Taylor, R. B. and Hellgren, E. C. 1997. Diet of feral hogs in the western South Texas Plains. *The Southwestern Naturalist*, 33-39.

- Tegegne, F., Kijora, C. and Peters, K.J. 2007. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Rumin. Res.*, 72: 157-164.
- Tegegne, F., Peters, K.J. and Kijora, C. 2005. Cactus pear (*Opuntia ficus indica*): a strategic crop in combating food and feed insecurity and desertification in Tigray, northern Ethiopia. *Proc. Sco. Nutr. Physiol.* 14: 60-73.
- Terán, M.G., Sarmiento, F.L., Segura, C.J.C, Torres-Acosta, F. y Santos R.R.H. 2004. Comportamiento productivo, características de la canal y peso del tracto gastrointestinal de cerdos alimentados con aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*). *Tec. Pecu. Mex.* 42:181-192.
- 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.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd Ed. Cornell University Press, Ithaca, NY., pp. 373.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 66: 2109-2115.
- Velásquez, M.P.A. and Belmar, C.R. 1998. Predicción del contenido de cortes primarios en canales porcinas. Folleto técnico INIFAP-UAdY.
- Veras, R.M.L., Ferreira, M.A., Cavalcanti, C.V., Vera,s A.S.C., Carvalho, F.F.R., Santos, G.R.A., Alves, K.S. and Maior Junior, R.J. 2005 Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dietas de ovinos em crescimento. *Desempenho. Rev. Bras. Zoo.*, 34: 249-256.

- Vieira, E. L., Batista, Â., Guim, A., Carvalho, F. F., Nascimento, A. C., Araújo, R. F. S., and Mustafa, A. F. 2008. Effects of hay inclusion on intake, *in vivo* nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. Anim. Feed Sci. Tech. 141:199-208.
- Wang, C. Z., Li, D. F., Yan, X. B., Wang, Y. H., Guo, Y. X. and Jiang, Y. B. 2008. Effects of alfalfa meal on production performance and serum of fattening pigs. Acta Prataculturae Sinica, 6:10-18.
- Widmer, M.R., McGinnis, L.M., Wulf, D.M., and Stein, H.H. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. J. Anim. Sci. 86: 1819-1831.
- Yaakugh, I.D.I., Tegbe, T.S.B., Olorunju, S.A.S. and Aduku, A.O. 1994. Replacement value of brewers' dried grain for maize on performance of pigs. J. Sci. Food Agri. 66: 465-71.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES GENERALES

Se puede concluir que el ensilaje con OFi, OL, OS y OR alcanza niveles adecuados y estables de pH (menores a 5.6) que permiten la conservación del valor nutricional después de 10 días de ensilaje. Adicionalmente la adición de urea mejora el valor nutricional del ensilaje y se recomienda adicional un máximo de 2% en el ensilaje de OS, 4% de urea en OFi, OR y OL. En general, la DEMS fue mayor para OFi y OL comparada con OR y OS. Los parámetros de digestibilidad *in situ* y DEMS fueron similares a niveles de 0, 2, 4 y 6% de urea, mientras que al 8% de urea fueron más bajos. El ensilaje conserva la DEMS de las diferentes especies de Opuntia evaluadas, independientemente del periodo de ensilaje.

La inclusión de OL en la dieta de animales en engorda soporta parámetros productivos y coeficientes de digestibilidad de nutrientes razonables. Por lo que el uso de OL puede ser considerado una buena alternativa que suministra nutrientes y agua para rumiantes en sistemas de producción donde este recurso está disponible.

El uso de dietas con OR puede ser una buena alternativa en la alimentación de porcinos debido a que mantiene y/o reduce parcialmente los parámetros productivos, aunque mejora las características de la conducta, disminuye la grasa dorsal y mesentérica y aumenta el área del ojo de la chuleta, por lo que es una alternativa para producir cerdos magros y con menores problemas de conducta.

CAPÍTULO 6

RESUMEN CURRICULAR

Fabiola Méndez Llorente

Candidato para el Grado de
Doctor en Ciencias con Acentuación en Alimentos

Tesis: UTILIZACIÓN DE OPUNTIAS EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES

Campo de Estudio: Ciencias Veterinarias

Datos personales: Nacida en Huixquilucan, Estado de México, el 31 de Agosto de 1984, hija de Pedro Méndez Gutiérrez y Socorro Aurora Llorente Bousquets. Casada con Jairo Iván Aguilera Soto.

Educación: Egresada de la Universidad Autónoma de Zacatecas, grado obtenido Médico Veterinario Zootecnista en 2007.

Experiencia profesional: Profesor investigador en la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas de Abril de 2009 a la fecha.

Publicaciones en revistas indexadas:

- Aguilera-Soto, J.I., **Méndez-Llorente, F.**, López-Carlos M.A., Ramírez, R.G., Carrillo-Muro, O., Escareño-Sánchez L.M., Medina-Flores, C.A. 2014 Effect of fermentable liquid diet based on tomato silage on the performance of growing finishing pigs. *Interciencia* 39:428-431.
- Méndez-Llorente, F.**, Aguilera-Soto, J.I., López-Carlos M.A., Ramírez, R.G., Carrillo-Muro, O., Escareño-Sánchez L.M., Medina-Flores, C.A. 2014. Preservation of fresh tomato waste by silage. *Interciencia* 39:432-434.
- López-Carlos, M. A., Aguilera-Soto, J. I., Ramírez, R. G., Rodríguez, H., Carrillo-Muro, O., **Méndez-Llorente, F.** 2014. Effect of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass characteristics of wether goats. *Small Rumin. Res.* 117:142-150.
- López-Carlos, M. A., Ramírez, R. G., Aguilera-Soto, J. I., Rodríguez, H., Aréchiga, C. F., **Méndez-Llorente, F.**, Silva, J. M. 2012. Effect of the administration

program of 2 β -adrenergic agonists on growth performance and carcass and meat characteristics of feedlot ram lambs. *J. Anim Sci.* 90:1521-1531.

Mendez Llorente, F., Ramirez Lozano, R. G., Lopez Carlos, M. A., Rodriguez-Frausto, H., Arechiga Flores, C. F., Bonilla-Salazar, A., Aguilera-Soto, J. I. 2011. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *J. Applied Anim. Res.* 39:248-251.

López-Carlos, M. A., Ramírez, R. G., Aguilera-Soto, J. I., Aréchiga, C. F., **Méndez-Llorente, F.**, Rodríguez, H., Silva, J. M. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Lives. Sci.* 131:23-30.

Aguilera-Soto, J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., **Mendez-Llorente, F.**, Lopez-Carlos, M. A., Pina-Flores, J. A., Gutierrez-Banuelos, H. 2009. Effect of feed additives on digestibility and milk yield of Holstein cows fed wet brewer grains. *J. Applied Anim. Res.* 36:227-230.

Aguilera-Soto, J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., Gutiérrez-Bañuelos, H., **Mendez-Llorente, F.**, Lopez-Carlos, M. A., ... & Rodríguez-Tenorio, D. 2009. Effect of Fermentable Liquid Diets Based on Wet Brewers Grains on performance of Growing Pigs. *J. Applied Anim. Res.* 36:271-274.

Aguilera-Soto, J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., **Mendez-Llorente, F.**, Lopez-Carlos, M. A., Silva-Ramos, J. M., Duran-Roldan, F. M. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grains. *J. Applied Anim. Res.* 34:17-21.

Aguilera-Soto, J. I., Ramirez, R. G., Arechiga, C. F., **Mendez-Llorente, F.**, Lopez-Carlos, M. A., Silva-Ramos, J. M., Duran-Roldan, F. M. 2008. Effect of feedadditives in growing lambs fed diets containing wet brewers' grains. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 21:1425-1434.