

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**Suplementación de Ovinos con Ensilaje de Nopal (*Opuntia spp.*) Adicionado con Melaza y Urea**

**Por:**

**ALONSO LEONEL RIVERA SUAREZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Noviembre de 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Suplementación de Ovinos con Ensilaje de Nopal (*Opuntia spp.*) Adicionado con Melaza y Urea.

Por

ALONSO LEONEL RIVERA SUAREZ

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADA:

Ph. D. Jesús M. Fuentes Rodríguez.

Asesor Principal

M.C. Manuel Torres Hernández

Sinodal

Dr. Fernando Ruiz Zarate

Sinodal

Dr. Ramiro López Trujillo

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México



Noviembre de 2012

## **AGRADECIMIENTOS**

A **DIOS** por haberme dado el regalo más preciado q tengo q es mi vida, todas las situaciones alegres y tristes q he pasado, por ponerme en una familia preciosa y por guiarme siempre por un buen camino en situaciones difíciles.

### **MUCHAS GRACIAS SEÑOR DIOS.**

A mi **ALMA TERRA MATER** por haberme dado el privilegio de estudiar en una escuela con su prestigio, por brindarme los conocimientos y todas las comodidades para poder culminar con mi carrera profesional y por qué en mi estancia en ella pude conocer personas que me hicieron cambiar la forma en que apreciaba la vida.

A mis **PROFESORES** muchas gracias a los profesores de todas las carreras y departamentos con los que tuve el gusto de tomar clase y tomar de ellos su conocimiento y consejos en especial a los profesores de los departamentos de Producción Animal, Nutrición Animal y Recursos Naturales Renovables que fueron pieza fundamental para poder concluir con esta meta en mi vida.

A mis **amigos**: Pedro López, Luis Oscar Pichardo, Miriam Alonso, Ventura Acosta, Eduard Darier, Pedro Guerrero, Luis Felipe Velasco, Ernesto Athiel Jiménez, Felipe, Gustavo, y a los demás compañeros q de alguna manera recorrimos juntos el camino para lograr concluir con nuestros estudios.

Porque con ellos pase buenos y malos momentos pero a final de cuentas siempre encontré en ellos un apoyo y lo más importante su amistad gracias AMIGOS.

**Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez**, por haberme apoyado en la realización de esta investigación además de brindarme su confianza y amistad.

## **DEDICATORIAS**

A mi madre ESTELA RIVERA SUAREZ que desde siempre ha sido el pilar donde se sustenta mi existencia.

Por ser un ser la persona de la cual he tenido su apoyo y consejos en cada momento.

A mi hermano J. EMMANUEL RIVERA por los momentos que compartimos y todas las cosas q me enseñaste.

Al ING. MODESTA GUTIERREZ PEREZ por todo el cariño, comprensión momentos lindos, consejos y por hacer más ameno nuestro paso por esta bella etapa en la vida que es cursar una carrera profesional.

## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

El suscrito Alonso Leonel Rivera Suarez, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 284067 y autor de la presente tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicada por otros autores y utilizada en la presente Tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redacta según su criterio y apreciación de tal manera que no se ha incurrido en el copiado y pegado.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entendiendo que la función y alcance del comité de asesoría, está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente tesis, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionando al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente de parte mía.

**ATENTAMENTE:**



---

Alonso Leonel Rivera Suarez

Tesista de Licenciatura/UAAAN

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>1.INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	<b>3</b>
1.2 Hipótesis	<b>3</b>
1.3 Justificación	<b>3</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1 Generalidades del nopal	<b>4</b>
2.1.1 Origen	<b>5</b>
2.1.2 Botánica	<b>5</b>
2.1.3 Taxonomía	<b>6</b>
2.1.3.1 Clasificación taxonómica	<b>6</b>
2.1.4 Características morfológicas	<b>7</b>
2.1.4.1 Raíz	<b>7</b>
2.1.4.2 Tallo	<b>8</b>
2.1.4.3 Hoja	<b>8</b>
2.1.4.4 Flor	<b>8</b>
2.1.4.5 Fruto	<b>9</b>
2.1.5 Características fisiológicas	<b>9</b>
2.1.6 Ecología del nopal	<b>10</b>
2.1.7 Condiciones agroecológicas para el cultivo del nopal	<b>12</b>
2.1.7.1 Suelo y fertilidad	<b>12</b>
2.1.7.2 Salinidad	<b>12</b>
2.1.7.3 Altitud y latitud	<b>12</b>
2.1.7.4 Clima	<b>13</b>
2.1.7.5 Temperatura	<b>13</b>

2.1.7.6 Precipitación	13
2.1.8 Métodos de propagación del nopal	14
2.1.9 Distribución en el mundo	14
2.1.9.1 Distribución geográfica de las nopaleras en México	15
2.2 Importancia forrajera del nopal	16
2.2.1 Historia del uso del <i>Opuntia</i> como forraje	16
2.2.2 Aspectos a considerar sobre el nopal como forraje	17
2.2.3 Análisis bromatológico de diferentes especies de <i>Opuntia</i>	18
2.2.4 Contenido mineral	19
2.2.5 Contenido de agua	20
2.2.6 Uso del nopal en la alimentación del ganado	21
2.2.7 Sistemas de cosecha como fuente de forraje	21
2.3 El ensilaje	23
2.3.1 Ventajas del ensilaje	24
2.3.2 Desventajas del ensilaje	25
2.3.3 Tipos de silos	25
2.3.4 La Microflora del ensilaje	28
2.3.5 Proceso del ensilaje	29
2.3.6 pH y temperatura	30
2.3.7 Características y evaluación del ensilaje	31
2.3.8 Aditivos para el ensilaje	32
<b>3.MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>34</b>
3.1 Localización del área de estudio	34
3.2 Manejo de los animales y materiales usados	34
3.3 Construcción del silo	35
3.4 Recolección de nopal ( <i>Opuntia spp</i> )	35
3.5 Proceso de picado y ensilaje del nopal	36
3.6 Fase de experimentación y observación	36
3.7 Análisis bromatológico de los ingredientes usados	37
3.8 Análisis estadístico	37

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>38</b>
4.1 Análisis bromatológico	38
4.2 Consumo de alimento durante el experimento	39
4.3 Ganancia de peso de los ovinos durante el periodo experimental	40
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>6. LITERATURA CITADA</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PAGINA</b>
2.1 Clasificación taxonómica del nopal.	7
2.2 Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (por ciento en base a materia seca).	18
2.3 Contenido mineral de cactus <i>Opuntia spp</i> (%).	19
2.4 Contenido de Ca, P y K en diferentes especies de nopal comparados con ensilados de sorgo y maíz.	19
2.5 Comparativo de niveles máximos y mínimos de agua en diferentes variedades de <i>Opuntia</i> en el municipio de Saltillo, Coahuila.	20
3.1 Ingredientes proporcionados diariamente por individuo en el experimento (Kg, peso fresco)	35
4.1 Análisis bromatológico de los ingredientes que componen la ración diaria durante el experimento	38
4.2 Contenido nutricional de las raciones (%)	39
4.3 Cantidad de materia seca contenida en los ingredientes de la ración usada en el experimento (Kg)	39
4.4 Comparativo de ganancia de peso en ovinos alimentados con y sin ensilaje de nopal en la ración diaria	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PAGINA</b>
4.1 Comportamiento productivo (ganancia de peso) de ovinos suplementados con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza	41
4.2 Ganancia total de peso (GTP) de ovinos tratados con y sin ensilaje de nopal en su dieta.	42
4.3 Ganancia diaria de peso (GDP) de ovinos tratados con y sin ensilaje de nopal en su dieta.	43

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Unidad Caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista Saltillo Coahuila México. El objetivo principal fue evaluar la factibilidad de alimentar ovinos con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza. Se evaluó el incremento de peso de 20 animales con un peso inicial promedio de 38.86 kg a los que en su ración diaria se les proporcionó 2.400 kg de ensilaje de maíz y 0.560 kg de heno de triticale al T1 (testigo), los animales asignados al T2 recibían esta ración más 0.320 kg de ensilaje de nopal. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar. Los resultados obtenidos en este experimento muestran claramente que al consumir el ensilaje de nopal se ve una ligera ganancia de peso diario mayor (36.8 g) en comparación con los animales que no lo consumen. Por lo cual se puede concluir que la hipótesis planteada es aceptada y que la inclusión de nopal adicionado con urea y melaza en la dieta de ovinos logra incrementar el peso de los animales que lo consuman. En base a estos resultados obtenidos se puede mencionar también que al aplicar un método de conservación de forrajes en este caso el ensilaje y la adición de otros productos como la melaza y la urea es una buena alternativa para aprovechar las especies vegetales que en algunos lugares se consideran invasoras aprovechándolas como alimento. Sin embargo falta estudiar otras características como los niveles de adición a las dietas y comportamiento con otros alimentos, entre otras para poder promover su uso.

**Palabras clave:** Ovinos, ensilaje, ganancia de peso, nopal (*Opuntia spp.*), silo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la ganadería nacional está buscando la manera de incrementar la productividad en todos los sistemas de explotación, pero sin incrementar los costos, sabiendo que dependiendo del sistema de explotación los costos por concepto de alimentación son de los que tienen mayor importancia, es necesario el uso alternativo de insumos poco comunes en la nutrición tradicional.

Por lo regular siempre existe una época en la que la disponibilidad de alimentos decrece y esto lleva a un incremento en el precio de los mismos, esto ocurre principalmente en el invierno, los productores pecuarios han recurrido a aplicar métodos de conservación de insumos alimenticios para estas épocas críticas, como lo son ensilajes (en sus diferentes modalidades), henos y pacas.

Estas problemáticas de alguna manera orillan a idear nuevas alternativas para seguir incrementando la productividad sin incrementar los costos de producción, esto hace ver al nopal forrajero como alternativa para la alimentación de ovinos en épocas críticas.

El Nopal es una planta extremadamente tolerante a los cambios de temperatura y a la falta de lluvia. El género *Opuntia* se adapta fácilmente a las zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y tierras pobres sujetas a erosión, gracias a que se han desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales con el fin de mantener su desarrollo en este ambiente adverso.

La idea de utilizar la *Opuntia* para alimentar el ganado no es reciente. En el siglo XIX hubo un abundante comercio de este cactus en las zonas ganaderas de Texas en Estados Unidos.

Las especies más importantes de uso forrajero son: *Opuntia leucotricha*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia robusta*, *Opuntia cantabrigensis*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia lindheimeri* y *Opuntia phaeacantha* (López, 2010).

El nopal es un forraje interesante porque transforma el agua en materia seca, o energía digerible, con mucha más eficiencia que los pastos y las leguminosas, responde bien a la fertilización, tolera una poda intensa y se puede suministrar al ganado como forraje fresco o ya ensilado.(Vázquez *et al.*, 2008)

Como alimento de emergencia y fuente fiable de forraje en las zonas donde llueve poco es una excelente alternativa (Vázquez *et al.*, 2008)

Las hojas del nopal (cladodios) contienen mucha agua (80 a 95%). Una vez secas, contienen abundantes cenizas (hasta un 33%), poca proteína cruda, fósforo y sodio, y los niveles de manganeso, cobre, zinc, magnesio y hierro son aceptables en general para la alimentación de los rumiantes. Los cladodios tienen un bajo contenido de proteína cruda y deben ser suplementados con otras fuentes de proteína, además de que se consideran bajos en fósforo y sodio (Vázquez *et al.*, 2008)

Los análisis también han mostrado un gran contenido de calcio y oxalatos, que podrían explicar el efecto laxante del nopal en los animales que lo consumen. Este cactus es útil no solo porque sobrevive a las sequías, sino también por su conversión energética es más eficiente que la de pastizales C3 y las plantas C4 de hoja ancha. Sin embargo, a pesar de todos estos valores, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta diaria de cualquier ganado, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio (Nobel, 2003)

A pesar de las características que favorecen al nopal en su uso como forraje, no tiene los nutrientes suficientes para poder competir con otros forrajes o alimentos, por ello se tiene que recurrir al uso de métodos de conservación y además el uso de aditivos que mejoren de alguna forma el contenido nutrimental del nopal; esto se puede lograr empleando el método de ensilaje y además añadiendo nitrógeno no proteico (urea) y melaza.

## **1.1 Objetivos**

Comprobar que, al utilizar adecuadamente aditivos y un buen proceso de conservación de alimentos se puede obtener un alimento de calidad, en este caso ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza.

Evaluar el comportamiento productivo de ovinos suplementados con ensilado de nopal adicionado con urea y melaza como alternativa de forraje de emergencia.

## **1.2 Hipótesis**

**Ho:** La suplementación con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza mejorará la ganancia de peso de ovinos en confinamiento.

## **1.3 Justificación**

La investigación se realiza para evaluar la factibilidad que tiene el usar el nopal como forraje de emergencia en épocas críticas usando un método de conservación como lo es el ensilaje, además de mejorar las propiedades nutritivas del nopal con la adición de melaza y urea en forma económica y aportar este método a los productores pecuarios de la región como alternativa para la producción animal y promover un uso adecuado del nopal ya sea que se cultive o sea nativo en determinada zona del país.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del nopal

El nopal (*Opuntia spp.*), es reconocido generalmente como un cultivo frutícola en las regiones subtropicales y semiáridas alrededor del mundo. Actualmente algunos países como: Argentina, Brasil, Chile, Italia, México, Sudáfrica, Estados Unidos, Eritrea, España, Etiopia, entre otros; están estudiando y reconociendo las características que este género tiene en la alimentación humana y animal. En realidad su mayor importancia radica en la producción de forraje, si se considera la superficie total cultivada y las áreas silvestres en países donde se encuentra nativa, así como en lugares donde se ha naturalizado. Las estadísticas mundiales muestran un rango desde poco menos de 687, 000 ha (Nobel, 1994) hasta 2.3 millones ha. Este último dato incluye poblaciones de baja densidad repartidas a lo largo del norte de México. Y se ha estimado que el 92 por ciento de estos recursos son potencialmente útiles como alimento.

Según De Alba (1971), la causa principal de la baja productividad del ganado en México se debe a la alimentación deficiente del mismo, principalmente en las zonas áridas y en las semiáridas donde la producción de forrajes es pobre e irregular durante el año y variable en cada año.

Por esta razón existe una búsqueda permanente de las plantas que puedan tolerar limitantes climáticas y ayuden a contrarrestar el deterioro de la tierra. En este contexto, *Opuntia* tiene un potencial interesante, como ya se ha demostrado en los centros de origen o de mayor diversidad y en muchas otras áreas del mundo, que por razones históricas, se han beneficiado de la introducción y dispersión de *Opuntia*. (Herrera, 2011)

### 2.1.1 Origen

El nopal es originario de América tropical y sub tropical y hoy en día se encuentra en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también cultivan o se encuentran en forma silvestre (Sáenz, 2006).

Una de las explicaciones de tal distribución podría ser el centro de origen del género. Granados y Castañeda (1997). Señalan tres teorías al respecto: una de ellas menciona que el género *Opuntia* es originario de América debido a la gran variedad de especies que presenta; la segunda teoría tomo como base las similitudes morfológicas con las portulacáceas, se piensa que las cactáceas derivo de las portulacáceas y su origen podría estar en México, puesto que en este país existe el mayor número de géneros e individuos. La tercera teoría considera que probablemente fueron dos los centros de diversificación, uno en el norte y otro en el sur del continente, ambas zonas están separadas por el istmo de Panamá, cuyo clima impide la producción de los taxas de un lugar a otro. La teoría más aceptada es que el centro primitivo de diferenciación de las cactáceas fue el sistema del Golfo de México y del Caribe, desde donde emigraron para constituir las dos zonas categóricas actuales una en América del Norte y otra en América del Sur.

### 2.1.2 Botánica

Existen casi 300 especies del genero *Opuntia* (Scheinvar, 1999).Solamente en México, Bravo,(1978) registró 104 especies y variedades. De acuerdo con Scheinvar (1995), el nombre de *Opuntia* viene de un antiguo pueblo griego en la región de Leocrid, Beocia: *Opus*, u *Opuntia* en donde Toumerford encontró una planta con espinas que le recordó a la *Opuntia* americana, que incluye 11 subgéneros: *Opuntia*, *Consolea*, *Austrocylindropuntia*, *Bracilopuntia*, *Corynopuntia*, *Cilindropuntia*, *Grusonia*, *Marenopuntia*, *Nopalea*, *Stenopuntia*, y *Tephrocactus*.

### **2.1.3 Taxonomía**

La taxonomía es complicada por diferentes razones: sus fenotipos, que varían en gran medida de acuerdo a las condiciones ecológicas y la poliploidia , con gran número de poblaciones que se reproducen vegetativa y sexualmente; así como la existencia de numerosos híbridos inter específicos. Ya que casi todas las especies florecen durante el mismo periodo del año y no hay barreras biológicas que las separe (Scheinvar, 1999)

Sin embargo, actualmente se cuenta con técnicas analíticas de precisión, como la electroforesis, que permiten la identificación de una planta, mediante la obtención de secuencias de moléculas químicas de determinados órganos vegetales. Este tipo de estudios a nivel molecular no sustituyen del todo al estudio de las características anatómicas visibles, si no que se complementan entre sí, al igual que las características deseables de rendimiento y calidad para cultivares de interés comercial. (Herrera, 2011).

Todo ello es examinado mediante el uso de herramientas estadísticas de análisis multivariado, que se han convertido en aliados de los investigadores para reducir el grado de parentesco o distancia genética existente entre ecotipos y, de esta manera, orientar de forma precisa la decisión sobre la clasificación taxonómica y el registro de especies, sub-especies y variedades (García, 2003).

#### **2.1.3.1 Clasificación taxonómica**

El cuadro 2.1 muestra la clasificación taxonómica del nopal (*Opuntia spp.*) presentada por Bravo (1978).

**Cuadro 2.1 Clasificación taxonómica del nopal.**

Reino	<i>Vegetal</i>
Subreino	<i>Hembriophyta</i>
División	<i>Hembriophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Genero	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Opuntia (antes platyopuntia)</i>
Especie	<i>Spp.</i>

Fuente: Bravo (1978).

### **2.1.4 Características morfológicas**

La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales. Esta puede considerarse como el sello distintivo de su parte aérea (tallos, flores y frutos) y resulta de la producción masiva de células de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con el aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución de los espacios intracelulares. Este fenómeno permite a los órganos de esta planta acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves periodos de humedad y por otra parte, las formas esféricas o succulentas representan los cuerpos más eficientes para evitar evapotranspiración (Kramer, 1989).

#### **2.1.4.1 Raíz**

Aun que son semejantes a cualquier planta, la diferencia de la generalidad es que sus raíces desarrollan pelos radiculares cuando se encuentran en el suelo húmedo y pueden desaparecer en los suelos secos. Es una característica que permite a la planta absorber de una manera rápida toda el agua posible mientras esté presente. La raíz deriva de una raíz principal y en algunos casos puede derivarse

del tallo. Son gruesas y su tamaño es proporcional al tamaño de la parte aérea. El tiempo de vida de la raíz es permanente (Nobel, 1999; Aguilar, 1998; Monroy, 1989).

#### **2.1.4.2 Tallo**

El tallo se caracteriza por tener una cutícula gruesa y cubierta por una cera de una sustancia grasosa llamada cutina, suave al tacto. Esta primera capa del tallo se llama dermis y tiene las siguientes funciones principales:

- Evita la pérdida de agua por el proceso de transpiración.
- Regula el movimiento de la entrada de dióxido de carbono y la salida de oxígeno por la planta.
- Retiene agua dentro del cuerpo
- Protege a la planta del ataque de hongos, esporas, insectos y luminosidad intensa (Sudzuki, 1999; Granados y Castañeda, 1996).

El tallo multiarticulado, se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discordes llamados cladodios o pencas. Estos cladodios son aplanados en forma de raqueta, son suculentos y almacenan gran cantidad de agua, su principal función es fotosintética (Monroy, 1989).

#### **2.1.4.3 Hoja**

En el nopal solamente existen los renuevos de pencas (cladodios) cuando están bien tiernas, son hojitas cilíndricas y caducas, en forma de cuernitos; herbáceas, en cuyas axilas se haya las areolas de las cuales brotan espinas. Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, es decir, en unos cuantos días, en cuyo lugar quedan las espinas (Monroy, 1989).

#### **2.1.4.4 Flor**

La flor de la planta se produce en las areolas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en la misma época de floración, ya que algunas pueden brotar en el primer año y otras en el segundo o

tercero. Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, etc., es onilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (cinco a diez); el androceo posee gran cantidad de estambres. (Herrera, 2011).

Son hermafroditas anatómicas, algunas, sin embargo, son unisexuales (*Opuntia robusta*). La floración tiene lugar en la primavera, durante los meses de marzo, abril, mayo, aunque hay entidades en las que ocurre en otras épocas del año (Monroy, 1989).

#### **2.1.4.5 Fruto**

El fruto del nopal (tuna) es carnoso, de forma ovoide a esférica; sus dimensiones y coloraciones pueden variar según la especie, encontrándose frutos de 4 a 12 cm, o más de longitud de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso, etc. Tiene semillas lenticulares, con testa clara y arillo ancho. Las características morfológicas de las *Opuntias* pueden variar tanto como lugares donde se distribuyen (Monroy, 1989).

#### **2.1.5 Características fisiológicas**

Las especies del genero *Opuntia spp.* Han desarrollado adaptaciones estructurales, fenológicas y fisiológicas favorables para su desarrollo en ambientes áridos, en donde el agua es la principal limitante en la mayoría de los vegetales. Su adaptación más notable es su reproducción asincrónica, y su Metabolismo del Ácido Crasuláceo (MAC), el cual combinado con adaptaciones estructurales, tales como la succulencia, le permiten sobrevivir largos periodos de sequía, y alcanzar niveles de producción aceptables inclusive en años de sequía realmente severa. (Herrera, 2011).

*Opuntia* es particularmente atractivo como alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca, y por lo tanto en energía digestible. (Herrera, 2011).

Este caso es útil no solo porque sobrevive a la sequía, sino también por su conversión que es más eficiente que la de pastizales C3 y las plantas C4 de hoja ancha. La generación de biomasa por unidad de agua es en promedio tres veces

más alta que en plantas C4, y cinco veces más que en plantas C3. Bajo condiciones óptimas, los diferentes tipos de plantas pueden producir cantidades similares de materia seca por área de superficie, pero bajo condiciones áridas y semiáridas, las plantas MAC son superiores a las C3 y C4 (Nobel, 1995).

Otro aspecto importante en la fisiología de las *Opuntias* son los potenciales hídricos que mantiene. El potencial hídrico define la energía que necesita la planta para conservar y proveerse de agua. Su valor generalmente está dado en Mega Pascales (MPa) y siempre es negativo debido a que el agua que se mueve por las plantas no está libre de solutos y su movimiento obedece a un gradiente negativo. (Herrera, 2011).

El potencial hídrico de las *Opuntias* (-0.3 a -0.6 MPa) es significativamente mayor a la de cualquier planta con la que pueda co-habitar aun de especies tolerantes a la sequía -1.0 a -3.0MPa (Turner y Jones, 1980).

Lo anterior significa que mientras más negativo es el valor de potencial hídrico de la planta, es mayor la energía requerida para tomar agua del suelo, por lo que las *Opuntias* cuentan con una gran ventaja al presentar potenciales hídricos más positivos, es decir un menor gasto de energía para adquirir y conservar el agua dentro de ellas. (Herrera, 2011).

Mientras las variedades sin espinas necesitan protegerse contra los herbívoros, las variedades más tolerantes al frío con espinas no requieren de tanta protección. Sin embargo, es necesario quemar las espinas antes de poder utilizarlo como forraje para el ganado (Elizondo *et al.*, 1987).

### **2.1.6 Ecología del nopal**

El conocimiento de la ecología del nopal incluye el estudio de sus interacciones con el medio biótico o abiótico. Por lo tanto la ecología del nopal se refiere a la relación con todo tipo de factor que le rodea tanto vivo como no vivo (Theron y Vallin, 1987).

El nopal al igual que otras plantas co-habita con otras plantas y animales. A diferencia que otras plantas con requerimientos específicos, el nopal al igual que las plantas que pertenecen a la familia de las cactáceas tienen propiedades que les permiten establecerse en lugares cuyas características pueden definir de manera extrema frío-calor; árido-húmedo, sin embargo su hábitat predilecto es el árido y semiárido. (Herrera, 2011).

La importancia ecológica del nopal radica en ese poder de adaptación que le permite distribuirse en tan diferentes ambientes. Su adaptación ha llevado al género a cambiar sus aspectos morfológicos dependiendo de las exigencias del sitio donde se desarrolla. De esta manera conocer su ecología, es decir, como es el lugar donde nacen, crecen, se desarrolla, permite entender sus estrategias de vida. En un sentido aplicado, la información generada acerca de su ecología puede ser utilizada por el hombre para su cultivo. (Herrera, 2011).

Dicha información permite conocer los requerimientos naturales para su desarrollo, lo cual permite a su vez manejar de manera más efectiva dichos requerimientos, con el fin de lograr mejores producciones. Esto conlleva a una explotación racional de las *opuntias* con el cuidado de no exterminarlas (Kiesling, 1999).

Las condiciones para la vida en un desierto deben obedecer a adaptaciones para climas con temperaturas extremas, alta radiación solar, fuertes vientos, poca humedad en el ambiente y suelo, suelos salinos y generalmente arenosos.

Aunado a ello, deben enfrentarse a precipitaciones erráticas o nulas en largos periodos de tiempo. Por lo que el agua se convierte en el factor limitante para su vida. Las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del nopal han permitido su permanencia en estas regiones gracias a que juntas se combinan para lograr una economía del agua. La fisiología de los nopales al igual que la gran mayoría de las plantas de las zonas áridas o semiáridas debe evitar al máximo la pérdida de agua a procesos de transpiración que enfrentan (Nobel, 1999).

## **2.1.7 Condiciones agroecológicas para el cultivo de nopal**

### **2.1.7.1 Suelos y fertilidad**

En México el nopal prospera en una amplia gama de suelos; desde ácidos hasta alcalinos, se desarrolla mejor en suelos sueltos y poco profundos (40-70 cm.) y con un buen drenaje. Las exigencias de nutrimentos del nopal, no son una limitante ya que los niveles de elementos nutritivos son relativamente fáciles de recuperar mediante la aplicación de estiércoles o fertilizantes químicos (Sáenz, 2006).

### **2.1.7.2 Salinidad**

La mayoría de las especies de *Opuntia* son sensibles a la salinidad. El crecimiento de sus raíces es inhibido de manera drástica a concentraciones de sodio de un quinto de la encontrada en el agua de mar. La alta sensibilidad del nopal a la salinidad tiene muchas consecuencias; por esto cuando se riega por goteo los cactus usados para la producción de fruta, se debe tener cuidado de evitar la acumulación de sodio en la zona de enraizamiento; esta restricción puede eliminarse mediante la selección de tipos tolerantes y por esfuerzos de mejoramiento genético, los cuales están claramente garantizados por la gran productividad potencial y la importancia comercial del nopal (Sáenz, 2006).

### **2.1.7.3 Altitud y latitud**

El nopal, se ubica en mayor abundancia en zonas con una altitud entre los 800 y 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm), de esta forma se justifica que algunas especies de nopal se desarrollan muy cerca del nivel del mar como *Opuntia stricta* y otras como *Opuntia streptacantha* crecen sin dificultad en altitudes de hasta 2700 msnm (Sáenz, 2006).

#### **2.1.7.4 Clima**

Las poblaciones silvestres de nopal se encuentran distribuidas principalmente en zonas con una precipitación media anual de 150 mm. O más. En climas semisecos o esteparios, con lluvias en verano, con lluvias escasas en todas las estaciones del año y en climas desérticos con lluvias en verano, en cualquier época del año y en invierno, las raíces del nopal tienden a ubicarse a profundidades someras en suelos porosos y arenosos. Así las raíces someras están idealmente situadas para responder de manera rápida a lluvias ligeras. Lo anterior, adicionalmente a las propiedades de conservación de agua por parte de los tallos y pencas del nopal, ayuda a mantener un alto contenido hídrico en la planta (Sáenz, 2006).

#### **2.1.7.5 Temperatura**

Los nopales pueden tolerar altas temperaturas, entre 50-55 °C cuando están aclimatados adecuadamente. El nopal y otras cactáceas se encuentran en lugares donde las temperaturas medias anuales se aproximan a los 23 °C. Las principales zonas nopaleras se ubican en aquellas zonas con temperaturas medias anuales que oscilan entre 16 y 20°C. Sin embargo debido a su amplia adaptación, las especies del género *Opuntia*, pueden soportar temperaturas extremas de 10 a 50°C, mínima y máxima, respectivamente. En cuanto a bajas temperaturas, se tiene que las especies cultivadas para obtener tunas y forraje pueden sufrir daños con las heladas de -5 a -10 °C sobre todo en plantas jóvenes durante los dos primeros años de desarrollo. Con relación a las bajas temperaturas, los nopales pueden tolerar niveles bajos, siempre y cuando la temperatura del aire disminuya gradualmente en un periodo de días o semanas, lo que generalmente ocurre durante el otoño (Sáenz, 2006).

#### **2.1.7.6 Precipitación**

Respecto a la precipitación, el nopal es poco exigente y presenta amplios márgenes de tolerancia, debido a su fisiología y a una facultad de almacenar agua en sus tejidos. La gran mayoría de las zonas productoras de nopal tunero, en

nuestro país, se encuentran ubicadas, en regiones con una precipitación que oscila entre los 300 y 700 mm de lluvia anual (Sáenz, 2006).

### **2.1.8 Métodos de propagación del nopal**

El nopal se puede propagar mediante dos métodos: multiplicación asexual (pencas y fracciones de pencas) y multiplicación sexual (semillas). La multiplicación asexual es la más recomendable debido a que la propagación es más sencilla y se logran mantener las características de la variedad escogida como madre. (Herrera, 2011).

La propagación del nopal por medio de la semilla es poco conocida y más compleja que la propagación vegetativa. En forma resumida, los pasos principales del proceso son: germinación de la semilla, establecimiento de plántulas y crecimiento de las plantas hasta alcanzar el tamaño y madurez deseados (Flores y Gallego, 1993).

### **2.1.9 Distribución en el mundo**

El poder de adaptación que tienen las *opuntias* les permite colonizar casi cualquier medio, su amplio intervalo para modificar su morfología al paso del tiempo, ha permitido que este género se adapte a una gran diversidad de hábitats. (Herrera, 2011).

Gracias a sus características se ha registrado la presencia de *Opuntia* en gran parte del mundo en países como: Chile, Perú, México, Bolivia, Argentina, Colombia, Estados Unidos, Italia, España, Sudáfrica, África del Norte, Medio Oriente, poseen algunas especies de este género. (Herrera, 2011).

No obstante su amplia distribución, en la mayoría de los casos el establecimiento de las opuntias obedece a sitios con características de zonas áridas y semiáridas. Tal es el caso de la parte desértica Del Sur de Estados Unidos, la Altiplanicie Mexicana y parte Norte de África. (Herrera,2011)

### 2.1.9.1 Distribución geográfica de las nopaleras en México

Marroquín *et al.*, (1964) reconocieron tres grandes regiones cubiertas con *Opuntia* en el Norte de México y se basa en la abundancia de nopal y su incidencia natural. Las tres zonas son las siguientes:

- a) Zona nopalera principal: comprende a Zacatecas y partes de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.
- b) Zona nopalera del noreste: Norte de Tamaulipas y Noroeste de Nuevo León.
- c) Zona nopalera difusa: Incluye solo las partes cálidas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

López y Elizondo (1990) dieron a conocer un enfoque más amplio, considerando todo el país, reconocieron cuatro regiones ocupadas por nopaleras explotadas para forraje o fruta, o ambas.

**A. Zona centro-sur.** Que incluye partes de los estados de Puebla, Querétaro y Oaxaca, se caracteriza por tres tipos de nopaleras cultivadas para cladodios tiernos (nopalitos), fruta (tunas) y forraje. Las especies principales son *O. ficus-indica* (nopal de Castilla), *O. amychlaea* (nopal Alfajayucan), con algunas variedades cultivadas (Barrientos, 1972), *O. megacantha* (tuna amarilla) y *O. tomentosa*. (López y Elizondo, 1990)

**B. Zona del altiplano.** Que se ubica principalmente en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, pero que también comprende partes de Aguascalientes, Durango, Guanajuato, y Jalisco. Incluye vegetación arbórea de *O. leucotricha* (nopal duraznillo), *O. streptacantha* (nopal cardón) así como plantas arbustivas de *O. robusta* (nopal tapón), *O. cantabrigiensis* (nopal cuijo), *O. rastrera* (nopal rastrero), *O. lindheimeri* (nopal cacanaipo) y *O. leptocaulis* (nopal tasajillo). (López y Elizondo, 1990)

**C. Zona norte.** Ubicada en el desierto chihuahuense, es la región de mayor tamaño e incluye los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Coahuila. Está representada por vegetación arbustiva de *O. cantabrigiensis*, *O. phaeacanta* (nopal rastrero), y *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y *O. rastrera*. (López y Elizondo, 1990)

**D. Zona costera del Golfo de México.** Cubre parte de los estados de Coahuila, norte de Nuevo León y Tamaulipas. Plantas arbustivas de *O. lindheimeri* asociadas con otras especies forrajeras. (López y Elizondo, 1990)

## **2.2 Importancia forrajera del nopal**

Los cactus, y específicamente *Opuntia spp.*, ha constituido una fuente de forraje extremadamente útil en tiempos de sequía, primordialmente porque provee de energía digestible, agua y vitaminas no solo para el ganado, pues también ha sido usada como forraje para cerdos, sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta diaria, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio. Ya que crece en tierras severamente degradada, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy pocos cultivos logran desarrollarse y producir. (Gutiérrez *et al.*, 2009).

### **2.2.1 Historia de uso de *Opuntia* como forraje en México**

Desde el arribo del hombre a las zonas desérticas y semi-desérticas de México, aproximadamente hace 20 000 años, la especie *Opuntia* ha sido una fuente importante de alimentación, y como bebida o medicinal. Mucho antes de conocer el manejo hortícola de *Opuntia*, los mexicanos antiguos lo consumían en su forma silvestre. Los pocos registros del uso de *Opuntia* durante las eras coloniales y de post-independencia indican que era usada como alimento para animales, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país. Su uso se incrementó a principios del siglo XVII con la introducción del ganado a las áreas semiáridas y la subsiguiente disminución de pastizales. La situación obligó a los

ganaderos a cortar los cladodios de *Opuntia* y, después de quemar las espinas, usarlo para alimentar al ganado, especialmente durante las sequías (Anaya, 2003)

### **2.2.2 Aspectos a considerar sobre el nopal como forraje**

Los cladodios de nopal se comportan como los forrajes comunes:

- Conforme la edad del cladodio aumenta, el contenido de materia seca y de fibra aumenta y el de proteína cruda disminuye.
- Poseen alto contenido de agua (90 por ciento), cenizas (20 por ciento) y calcio (1, 4 por ciento), carbohidratos solubles y vitamina A.
- Son pobres en proteína cruda (4 por ciento MS), fibra (10 por ciento MS) y P (0,2 por ciento MS).
- Su digestibilidad puede ser comparada a un buen forraje, el promedio varia del 60 al 70 por ciento de la materia orgánica, 35 a 70 por ciento de la proteína cruda y 40 a 50 por ciento de la fibra cruda. Cuando se suministra a los animales, estos muestran algunas diferencias con los forrajes y se comportan más como a los alimentos ricos en carbohidratos (similar a los cereales y melazas), de hecho cuando el nivel de nopal en la dieta se incrementa:
  - Hay un incremento del consumo de alimentos fibrosos, y los ácidos grasos volátiles del rumen, el conteo de protozoarios del rumen, así como la concentración de amoniaco.
  - Se incrementa el consumo de agua, la actividad celulolítica del rumen y de la proporción de ácido acético/ácido propiónico.

Los cladodios de nopal son altamente palatables, mostrando consumos diarios promedio de 6 a 9 kg por ovinos y de 50 a 80 kg en bovinos. Tienen muy baja capacidad de saciedad, debido a que su consumo no reduce el consumo de alimentos fibrosos y las condiciones mejoradas del rumen aumentan el consumo de forrajes fibrosos (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

### 2.2.3 Análisis bromatológico de diferentes especies de *Opuntia*

López *et al.*, (2003) citan un estudio bromatológico de diferentes especies del género *Opuntia*. (Cuadro 2.2).

**Cuadro 2.2 Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (por ciento en base a materia seca).**

Especie	M S	M O	P C	G C	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>Nopalea spp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.51	17.21	26.21	50.7	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.11	4.32	26.55	64.33	Palomo, 1963
<i>O. tenuispina</i>	12.45	70.21	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	"
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.44	68.87	"
<i>O. rastera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	"
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	"
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	"
<i>O. engelmannii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	"
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	"
<i>O. lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	"
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	"
<i>O. streptacantha</i>	16.01	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. leucotricha</i>	14.01	74.01	7.56	2.66	14.01	26.00	49.78	"
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	"
<i>O. cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.21	27.49	54.04	"
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	"
<i>O. duranguensi</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91	Bauer y Flores, 1969
<i>O. ficus - indica</i>	11.29	86.93	3.81	1.38	7.62	13.07	74.13	"
Var. Amarillo oro								
<i>O. ficus - indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Bauer y Flores, 1969
<i>O. spp.</i>	10.01	-----	5.71	3.01	8.11	12.01	55.01	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	8.01	-----	6.81	1.01	-----	8.88	81.25	" " "
<i>O. ficus-indica</i>	7.96	-----	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	" " "
<i>O. imbricata</i>	10.41	-----	5.01	1.81	7.81	17.30	68.11	" " "

(Clave: MS: materia seca, MO; materia orgánica, PC; proteína cruda, GC; Grasa cruda, ELN; extracto libre de nitrógeno).

Los datos tienen cierto grado de variación, esto se puede justificar por diversos factores como lo es la especie o variedad, época de análisis, localización del cultivo entre otros.

#### 2.2.4 Contenido mineral

De acuerdo con datos de la NRC (1975), los cactus *Opuntia spp*, presentan un contenido mineral que se presenta en el cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3 Contenido mineral de cactus *Opuntia spp.* (%).**

Calcio	1.8
Fierro	0.05
Magnesio	0.28
Fosforo	0.01
Potasio	0.21
Sodio	0.05

Fuente: (NRC 1975)

Torres (2010) muestra el cuadro 2.4 comparando el contenido de calcio (Ca), Fósforo (P), y Potasio (K) entre especies de *Opuntia* y ensilado de sorgo y maíz.

**Cuadro 2.4 Contenido de Ca, P y K en diferentes especies de nopal comparados con ensilados de sorgo y maíz.**

VARIABLES	CULTIVARES DE NOPAL				ENSILADOS	
	Redonda	gigante	Miúda	Clone IPA-20	Sorgo	Maíz
<b>Calcio</b>	2.88	2.78	2.25	2.80	0.43	0.36
<b>Fosforo</b>	0.14	0.13	0.10	0.10	0.12	0.22
<b>Potasio</b>	2.45	2.11	1.50	1.70	1,18	1.57

Fuente (Torres, 2010)

Este estudio compara cuatro especies de *Opuntia* usadas como forraje en Brasil con ensilajes de sorgo y maíz, se puede apreciar que el nopal contiene, en

términos generales mayores cantidades de calcio y potasio que los dos ensilajes y un contenido de fósforo por debajo solamente del ensilaje de Maíz.

Rosquero (2001) en un estudio realizado en el estado de Coahuila asevera que existe una variación del contenido mineral de acuerdo con la época del año y entre especies.

### 2.2.5 Contenido de agua

Otro aspecto importante a considerar entre las cualidades del nopal es su contenido de agua, ya que esta característica le da muchas ventajas sobre de otros forrajes en las zonas áridas y semiáridas, ya que el agua contenida en el nopal de alguna manera es utilizada por el ganado. Aunque este factor es muy variable entre especies.

López *et al.*, (2003) muestran el siguiente cuadro 2.5 en donde se pueden comparar los niveles máximos y mínimos de agua en especies y variedades de *Opuntia* con uso principalmente forrajero en Saltillo, Coahuila.

**Cuadro 2.5 Comparativo de los niveles máximos y mínimos de agua en diferentes variedades de *Opuntia* en el municipio de Saltillo, Coahuila.**

Especie	Contenido de Agua (%)	
	Máxima	Mínima
<i>O. ficus –indica</i>	93	88
<i>O. cantabrigiensis</i>	84	68
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>tricolor</i>	86	72
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>subarmata</i>	87	76
<i>O. imbricata</i>	84	70

En el cuadro 2.5 se puede apreciar que el contenido de agua en el nopal (*Opuntia spp.*) es muy variable y va desde un 93 a un 70%, esto puede deberse a la época en que se realizó la prueba entre otros factores.

### **2.2.6 Uso del nopal en la alimentación del ganado**

Las características nutritivas del nopal varían de acuerdo con la edad de las pencas, característica que se debe de tomar en cuenta al momento de utilizarlos en la alimentación del ganado, Guzmán y Chávez (2007) al realizar el análisis de composición química de cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*) encontraron que el cladodio de un mes de edad es más rico en vitamina C, carbohidratos y proteínas, mientras que el cladodio de un año de edad presenta contenidos mayores de calcio, sodio, potasio y hierro, así como de fibra.

El nopal se ha usado con éxito para disminuir los costos de producción de carne en ganado bovino en un 48 a 65 % con resultados exitosos cuando se incluye en proporciones que varían desde el 15 al 30%(en base a peso seco) de la dieta como lo expresan los resultados obtenidos por Aranda-Osorio *et al.*, (2008) al usar dietas en las que incluyo nopal fresco picado.

El contenido de nutrientes para el ganado depende de la especie, la variedad, así como del manejo que se le dé a la planta en condiciones cultivadas, aunque su contenido de proteínas no es muy alto, el nopal constituye una fuente de alimento para el ganado a un costo relativamente bajo. (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Valdés y Flores (1967), observaron mayores consumos en borregos alimentados con *O. ficus-indica* (11 kg/ día) que con *O. robusta* (6,5 kg día). Monjauze y Le Houerou (1965), reportaron valores de consumo que variaron de 2,5 a 9 kg día. También se ha reportado que se observan mayores consumos cuando el contenido de agua de los cladodios es mayor.

López *et al.*, (2003) reportan consumos de 3-5 kg/día, en ovinos en pastoreo.

### **2.2.7 Sistemas de cosecha como fuente de forraje**

El uso de *Opuntia* como fuente de forraje para ganado vacuno, ovino o caprino es una tradición antigua en el Norte de México. La cosecha de cladodios varía desde

el consumo directo por el animal en el campo hasta varios tipos de cosecha practicadas por los rancheros. (López *et al.*, 2003).

Las variantes observadas en las explotaciones ganaderas intensivas son: (López, *et al.* 2003).

**Consumo directo.** Las plantas de nopal son consumidas completas, incluyendo las espinas por las el ganado vacuno, caprino u ovino. Esta práctica es ineficiente y resulta en daños serios a los animales incluyendo la muerte.

**Despunte.** La porción superior de la penca -que posee la más alta densidad de espinas- es removida con cuchillo permitiendo posteriormente al animal alimentarse de las plantas. La principal desventaja es el desperdicio de cladodios.

**Chamuscado en pie.** La planta es expuesta al fuego completamente, usando un quemador de gas o keroseno, y se permite que los animales consuman la planta hasta la base. Esta práctica es combinada con el pastoreo en el caso de ovejas y cabras.

**Chamuscado y picado in situ.** Los cladodios son cosechados y las espinas eliminadas con leña o quemador de gas. Posteriormente los cladodios son picados y ofrecidos a los animales.

Un caso especial es la cosecha de nopal para usarse en los establos suburbanos. Las plantas se cosechan enteras y se transportan hasta los establos, donde se chamuscan y pican. Dependiendo del tamaño del establo, el picado de nopal se hace manualmente o con maquinaria especialmente adaptada.

Desafortunadamente, todos los sistemas son destructivos hasta cierto punto, ya que están basados en los nopales silvestres, y deben de ser regulados porque ninguno considera la replantación, conduciendo al agotamiento de este recurso natural. (López, *et al.*, 2003).

Una práctica adecuada consiste en cortar cladodios en forma extensiva, chamuscarlos para eliminar las espinas y permitir el consumo animal directamente en el campo, o picarlos en porciones pequeñas para facilitar el consumo. Prácticas de cosecha alternativas y más eficientes, incluyen la cosecha de comunidades densas, transporte a los establos, chamuscado y picado en porciones pequeñas para alimentar a los animales (López *et al.*, 2003).

**Ensilaje.** Es posible hacer un buen ensilaje con cladodios al triturarlos con paja de avena, alfalfa de bajo grado o cualquier otro forraje, empleando 84 partes de la masa de cladodios con 16 partes de forraje, complementados con melaza. Cuando se usan cladodios con fruta en el ensilaje, la adición de melaza no es necesaria, y el ensilaje se realiza de la manera convencional (De Kock, 2003)

La fruta de la *Opuntia* y sus cladodios, aun los tipos con espinas, pueden ensilarse con heno de baja calidad, y luego suplementados con distintas fuentes de proteína (semilla de algodón o girasol, y urea) y mineral de fósforo y sodio (hueso o sal). Con lo que se puede mantener la producción de lácteos en áreas rurales áridas y semiáridas durante períodos de sequía (De Kock, 2003).

### **2.3 El ensilaje**

La fermentación anaeróbica de residuos orgánicos (producción de ensilaje) es un método comúnmente utilizado en la preservación de sus nutrientes (Kung, 2000; Rees, 1997; Mc Donald, 1981). El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes preservados por la acción de ácidos orgánicos (principalmente ácido láctico) los cuales son producidos por microorganismos en ambientes anaeróbicos (Woolford, 1984). Para que una fermentación sea efectiva se requiere de una proporción de materia seca adecuada (aproximadamente 40%), ya que el exceso de materia seca dificulta la compactación del material y por lo tanto la exclusión del oxígeno.

Otras condiciones son un medio acuoso óptimo para el crecimiento de bacterias productoras de ácido láctico (BAL) deseables (Kung, 2000); y un contenido

mínimo entre 6-8% de carbohidratos solubles, los cuales sirven de fuente de energía para las BAL durante el proceso de fermentación (Mc Donald, 1981).

Casi todos los cultivos pueden conservarse mediante el ensilado, aunque los más habituales son las gramíneas, leguminosas, plantas de cereales enteras (especialmente maíz) y los residuos industriales, este tipo de ingredientes se refieren a aquellos subproductos de las industrias procesadoras de cereales, semillas oleaginosas, azúcar y mieles, cerveza y alcohol, frutas etc.(Bernal, 1991).

Las pérdidas del ensilaje se presentan por varios factores. Hay algunos que se detectan fácilmente como lo son los bordes del ensilado (parte superior y partes laterales). Pero también hay otro tipo de perdidas como las que se dan por respiración u oxígeno en el medio, que es cuando por exceso de oxígeno en el forraje aumenta la temperatura; las perdidas por fermentación, que son cuando la fermentación se detiene antes de que se haya producido el suficiente ácido láctico y los microorganismos presente en el ensilaje se consumen sus nutrientes. Además de estas, también se presentan perdidas por efluentes, por lavado ocasionado por las lluvias y por proliferación de hongos (Bernal, 1991).

### **2.3.1 Ventajas del ensilaje (Hiriart, 1998).**

- Es una reserva para épocas de escasez, lo que implica ensilar hierba o cultivos bajo condiciones óptimas y almacenadas por periodos largos.
- Permite *aumentar la productividad*, como empleo tradicional del ensilaje para aumentar la reserva de alimento del ganado. La duración del ensilado depende de que tan bien se pudiera haber realizado el trabajo de ensilado, el mismo puede durar desde 1 año hasta 5 años.
- Permite el manejo de cultivos forrajeros y agrícolas donde la cosecha de forraje para ensilar facilita otras prácticas de manejo. Por ejemplo la mayor densidad de tallos y producción de los forrajes para ensilarlos al comienzo

de la temporada cuando ocurre un exceso de producción vegetativa lo que permite sembrar el cultivo sucesivo más temprano.

- Se usan mejor los excedentes de producción; este exceso, en general, es considerado un desperdicio y el ensilaje sirve para almacenar el excedente y evitar pérdidas por efectos de madurez o deterioro *in situ*.
- Permite equilibrar el contenido de nutrientes de la dieta, el ensilaje permite suplir nutrientes en periodos en que la ración estacional muestra deficiencias. Por ejemplo, combinando el uso de ensilaje que tengan distintos valores de contenido de fibra.
- Para permitir el *almacenaje de alimentos muy perecederos* ya que el proceso del ensilaje permite conservarlos por un largo periodo.
- El ensilado es muy apetecido por el ganado.

### **2.3.2 Desventajas del ensilaje (Hiriart, 1998)**

- Constituye un proceso más caro que la henificación
- Requiere del uso de aditivos para la elaboración, como la melaza.
- Las pérdidas pueden ser muy grandes cuando no se realiza en forma adecuada.
- No existe posibilidad alguna de poder transportar a grandes distancias el material ensilado.
- Cuando se ensila gran cantidad es voluminoso y difícil de manejar.
- Se debe suministrar rápidamente después de retirado del silo, ya que si no se pudre rápidamente.
- Se debe tener cuidado para protegerlo del sol y del agua.

### **2.3.3 Tipos de silos**

El silo es el depósito donde se lleva a cabo el proceso de ensilaje y tiene tres funciones fundamentales, Mc Cullogh (1975) que son:

1. Ofrecer una superficie sólida que permita la compactación de la masa para eliminar el aire.
2. Proteger los materiales ensilados contra el aire y el agua durante el almacenamiento.
3. Facilitar el manejo del forraje.

Existen diferentes tipos de silos entre los que se pueden mencionar los siguientes  
Mc Cullogh (1975)

### **Silo trinchera o zanja**

- Construcción simple.
- Maquinaria sencilla para ensilar.
- Facilidad de llenado.
- Accesibilidad para mecanizar (llenado y computación)
- Niveles bajos de pérdidas
- Facilidad de extracción de producto
- Relativamente bajo costo de construcción

### **Silo cuba**

- Parte excavada de aproximadamente un metro y parte aérea de 1.5 a 2.5 metros de altura.
- Circular, diámetro promedio de 2.5 a 4 m.
- Antecedente del silo torre
- Presenta mínima superficie al exterior.

### **Silo almiar**

- Mayores opciones para elegir el sitio de emplazamiento.
- Maquinaria para ensilar más simple.
- Es mixto una mínima parte enterrada lo de más al aire libre
- Alta dificultad para compactación.
- Facilidad de depósito de forraje.

- Facilidad de utilización del producto.
- Bajo costo
- Altos niveles de pérdida de materia seca(superficial)
- Alto riesgo de éxito
- Solo para forrajes fácilmente ensilables.

### **Silo torre**

- Máxima eficiencia de ensilaje
- Facilidad de compactación
- Silo totalmente aéreo
- Mayor requerimiento de maquinaria
- Difícil de llenar (requiere mecanización)
- Fácil de descargar
- Mínimo nivel de pérdidas de materia seca por su menor superficie expuesta
- Máxima calidad del ensilado
- Alta inversión inicial para su emplazamiento
- Solo para explotaciones que manejan grandes masas de forraje de calidad homogénea

### **Silo troja**

- Son silos aéreos, contruidos con malla de alambre
- Requieren forraje picado muy corto
- Requiere maquinaria especial para llenado
- Difícil compactar en las paredes.

### **Silo cuña**

- Silo aéreo, emplazado en terreno ondulado.
- La deposición de forraje es en forma de cuña(plano inclinado)

### **Silo doble cuña de paredes desmontables**

- Silo aéreo

- Con paredes inclinadas desarmables (madera)
- Requiere material picado fino

### **Silo cajón o bunker, de hormigón**

El silo bunker es parecido al silo tipo trinchera pero se distingue por que la construcción se hace sobre la superficie de la tierra, las pérdidas de materia seca varían de 10 a 22% (Vheca, 1967).

Las características generales son:

- Silo aéreo, rectangular.
- Tres paredes de hormigón
- Requiere suelo plano y bien drenado
- No necesita maquinaria para elevar el forraje
- Llenado y vaciado del forraje son fácilmente mecanizables.
- Facilidad de compactación
- Perdidas mínimas de materia seca
- Alto costo inicial y ubicación fija
- Otros materiales empleados pueden ser piedra y madera.

### **2.3.4 La microflora del ensilaje**

Al igual que en la producción de forrajes conservados en forma de ensilaje, durante la fermentación de los residuos orgánicos es necesaria la presencia de ciertos microorganismos en el material a fermentar. La microflora asociada con el proceso fermentativo se clasifica en microorganismos deseables e indeseables (Woolford, 1984; McDonald, 1981). Las bacterias productoras de ácido láctico (BAL) constituyen el grupo de microorganismos deseados ya que tiene la habilidad de fermentar carbohidratos hidrosolubles (CHS) generando como principal producto el ácido láctico, el ácido orgánico que más contribuye a la preservación del material (Merry *et al.*, 1997).

### 2.3.5 El proceso del ensilaje

El ensilaje es una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas de ácido láctico (BAC) fermentan los carbohidratos hidrosolubles (CHS) del forraje produciendo ácido láctico y en menor cantidad, ácido acético. Al generarse ácido láctico, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. Una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Weinberg y Muck, 1996; Merry *et al.*, 1997).

**Fase 1 - Fase aeróbica.** En esta fase -que dura sólo pocas horas, el oxígeno atmosférico presente en la biomasa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las amilasas, siempre que el pH se mantenga en el rango de 6,5-6,0.

**Fase 2 - Fase de fermentación.** Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad BAL proliferará y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3,8 a 5,0.

**Fase 3 - Fase estable.** Mientras se mantenga el ambiente anaerobio, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y amilasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos pero a menor ritmo.

**Fase 4 - Fase de deterioro aeróbico.** Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al oxígeno. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo (p. ej. roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos -también facultativos- como mohos y entero bacterias. El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al oxígeno. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro que oscilan entre 1,5 y 4,5 % de materia seca diarias pueden ser observadas en áreas afectadas. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Honig y Woolford, 1980).

### **2.3.6 pH y temperatura**

Cuanto mayor es la cantidad de aire presente mayor es la temperatura resultante. Para favorecer el tipo de fermentación láctica debe lograrse una temperatura de 26.5 a 37.5°C. (Gross, 1969) afirma que cuando la temperatura en el silo es superior a 40°C, pasan a predominar las bacterias butíricas (deshacen el azúcar pero también el ácido ya formado), con el pH se eleva por encima de 5 y mueren las bacterias ácido lácticas.

Las bajas temperaturas se asocian a veces con los cambios de putrefacción, mientras que las temperaturas altas que destruyen gran proporción de

carbohidratos y reducen notablemente la digestibilidad de las proteínas que significan pérdidas en el valor alimenticio (Watson y Smith, 1984).

La acidez tiene tanta importancia como la temperatura. Para obtener un ensilaje de buena calidad es necesario que la acidez del material no sea superior a la de un pH de 4.5. Este evita acción de las bacterias de la putrefacción y mantiene el forraje en buen estado para el consumo (Watson y Smith, 1984).

Con un pH menor (existe mayor acidez), menor será la cantidad de ácido butírico y mayor la cantidad de ácido acético. A medida que el pH aumenta y sobre pasa el valor de 4.5 la cantidad de ácido láctico disminuye y aumenta la cantidad de ácido butírico, la presencia de este es una indicación segura que ha ocurrido alguna putrefacción de las proteínas (Watson y Smith, 1984).

### **2.3.7 Características y evaluación del ensilaje**

Existen características físicas y químicas que determinan la calidad nutricional del ensilaje. Los ensilajes se pueden evaluar cualitativamente mediante indicadores (Wilkins, 1976), como son:

- Color: verde amarillento (de buena a excelente calidad), marrón oscuro (Mala calidad).
- Olor: agradable o de vinagre.
- Textura: Firme.
- Acidez: Gusto ácido típico, pH de 4.2 o menos.

Las fallas durante el tapado del silo hacen que la capa superficial de la masa forrajera presente una fermentación indeseable y/o putrefacción del material (fermentación butírica), por la presencia de aire y agua, razón por la cual la capa adquiere un color negro y un olor desagradable, lo cual hace que los animales la rechacen.

### **2.3.8. Aditivos para ensilaje**

Existen en el mercado un gran número de aditivos, sin embargo solo se mencionan los más utilizados (Johnson *et al.*, 1990).

#### **Estimulantes de la fermentación**

La función de estos aditivos es promover y ayudar a que se presenten las condiciones adecuadas para que ocurra la fermentación. Entre estos se encuentran: (Johnson *et al.*, 1990).

#### **Melaza**

La melaza contiene altas cantidades de azúcar por lo cual tiene alto valor energético. Además se utilizan por su sabor dulce y ayuda a que los ingredientes se asienten y no existan la presencia de polvos (Ávila *et al.*, 1990). Es una de las fuentes de carbohidratos más utilizadas y efectivas por su contenido de azúcares solubles, que promueven un rápido desarrollo de las bacterias (Peñagaricano *et al.*, 1975).

#### **Nitrógeno no proteico**

Se utiliza para incrementar el contenido de proteína cruda del ensilado. El nitrógeno no proteico puede ser usado por los microorganismos rumiantes para producir proteína verdadera en el rumen del animal. Si se usa urea (43 % N) se adiciona 5 kg/t, tiene un efecto en amortiguar el pH resultando un mayor contenido de lácticos, debido a una actividad más prolongada de las bacterias lácticas y es más disponible que los demás compuestos que contienen nitrógeno.

#### **Inhibidores de la fermentación**

Los aditivos usados para esta finalidad tiene la propiedad de disminuir el pH, inhibiendo el crecimiento y acción de las bacterias evitando así que ocurra la

fermentación aeróbica del ensilaje (Jonsson, *et al.*, 1990). Entre estos se encuentra

- Ácido propiónico: ha sido utilizado para prevenir la fermentación aeróbica del ensilado una vez que es sacado del silo. Reducen las pérdidas por fermentación y es utilizado por el animal como fuentes de energía. Se aplican a un nivel de 0.5 a 1.5 %
- Se utilizan también ácidos minerales como el sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, con el fin de reducir el pH drásticamente e inhibir cualquier crecimiento bacteriano, sin embargo, son muy pocos usados ya que estos son corrosivos y caros

Existen además, aditivos que ayudan a preservar el ensilaje y a inhibir la actividad de los microorganismos que ocasionan fermentaciones indeseables, dentro de este grupo están los antibióticos, sal y esterilizantes (Ensminger *et al.*, 1990).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la unidad ovino-caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual se encuentra ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. situada entre las coordenadas 25°22' de latitud N y 101° 01' de longitud W con una altitud de 1742msnm, temperatura promedio de 16 y 17°C y precipitación media anual de 417 mm (Cantú *et al.*, 2007).

#### 3.2 Manejo de los animales y materiales usados

En el experimento se utilizaron 20 ovinos hembra, los cuales son producto de una craza donde predominan características de la raza Dorper, con un peso promedio inicial de 38.86 kg, en las que se observó y midió el comportamiento productivo (ganancia de peso), las cuales se eligieron de entre el inventario total en la unidad y se tomaron las más cercanas a la media de peso de las mismas, se ordenaron en 2 diferentes grupos de 10 individuos cada uno como a continuación se describe:

**Tratamiento 1** (testigo): Este grupo constó de 10 ovinos hembra a las cuales se les proporcionaba ensilaje de maíz (2.400 kg) y heno de triticale (0.560 kg) diariamente.

**Tratamiento 2:** Este grupo constó de 10 ovinos hembra a las cuales se les proporcionó ensilaje de maíz y heno de triticale en la misma cantidad que T1 más 0.320 kg de ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza en su dieta diaria.

### **Cuadro 3.1 Ingredientes proporcionados diariamente por individuo en el experimento (Kg, peso fresco)**

Ingrediente	T1	T2
Heno triticales	0.560	0.560
Ensilaje de maíz	2.400	2.400
Ensilaje nopal	0	0.320
Agua	A libre acceso	A libre acceso

### **3.3 Construcción del silo**

- ❖ Se buscó una superficie para hacer el silo, procurando que fuera una superficie plana y que no existiera el riesgo de inundación.
- ❖ Se limpió de maleza y rocas para realizar las mediciones.
- ❖ Se cavó el hoyo con la ayuda de picos y palas a manera que se obtuviera un cubo, con las siguientes medidas 2m de ancho, 3m de largo y una profundidad de 1.5m en un extremo, y 0m en otro a manera de rampa.

### **3.4 Recolección de nopal (*Opuntia ssp.*)**

Para la descripción de esta actividad se tomaran en cuenta tres etapas, las cuales se realizaron en forma repetida con un total de 6 ocasiones\*, las etapas fueron las siguientes.

- ❖ Corte y recolección del nopal: esta actividad consistió en cortar las plantas de nopal con la ayuda de un machete, procurando dejar una o dos pencas de la base para evitar la muerte de la planta.
- ❖ Pesaje del nopal: esta actividad consistió en pesar primero la camioneta vacía en la cual fue transportado el nopal, cuando la camioneta estaba cargada con nopal se volvía a pesar y por diferencia se obtuvo el peso del nopal, esto se realizó en la báscula propiedad del establo UAAAN.

- ❖ Traslado del nopal al lugar del silo: esto se realizaba después de ser pesado se apilaba en montones procurando que no se mezclaran entre montones a manera de conocer el peso de cada montón.

### **3.5 Proceso de picado y ensilaje de nopal**

- ❖ Teniendo listo el silo y el nopal para ensilar se procedió a picar el nopal en pequeños trozos, esto se hizo usando machetes.
- ❖ Una vez picado el nopal se trasladó al silo y ahí se compacto y agrego urea y melaza de acuerdo a la cantidad de nopal picado procurando fuera el 5% de urea y el 10 % de melaza.
- ❖ Al terminar este proceso se cerró el silo utilizando plástico de invernadero cubriendo toda la superficie.
- ❖ Se selló con tierra y rocas, el periodo de fermentación fue de 30 días (1-30 marzo 2011).

### **3.6 Fase de experimentación y observación**

- ❖ Previo al inicio del experimento se dio a los animales un periodo de adaptación al nuevo alimento, en este caso ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza, el cual duró 15 días (1-14 abril) durante los cuales se agregaron pequeñas cantidades de ensilaje de nopal a su dieta diaria hasta llegar a la cantidad determinada para el experimento.
- ❖ El periodo experimental tuvo una duración de 50 días en el periodo del 15 abril al 4 de junio del año 2011.
- ❖ Los individuos se alimentaron diariamente y el ensilaje de nopal era mezclado con los demás ingredientes que componen la dieta que se les proporcionaba en esa época.
- ❖ La observación sobre el consumo y comportamiento de los animales en tratamiento se hacía diariamente (no hay registros sobre consumo).
- ❖ Los animales en tratamiento fueron pesados en lapsos de 2 semanas (15 días) a excepción del último pesaje que se hizo en lapso de 1 semana (7 días).

### **3.7 Análisis bromatológico de los ingredientes usados**

El análisis para la determinación de nutrientes de cada uno de los ingredientes que se utilizaron en la alimentación de los animales durante el periodo experimental, fue por medio de las técnicas de la A.O.A.C. (1980) y se muestran en el cuadro 4.1

### **3.8 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico de la UANL (Olivares 1993). Usándose un diseño completamente al azar, la variable que se analizó fue la ganancia de peso durante el experimento, al igual que la respuesta que tuvieron los ovinos alimentados con el ensilaje de nopal, comparándolos con los que no los recibieron.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis bromatológico

De acuerdo con la NRC (1985) el ensilaje de maíz tiene en promedio 33% de MS, 8.1% de PC y 21.7% de FC. Mientras que el ensilaje del experimento superó en el porcentaje de proteína en 8.12% y el contenido de FC en un 4.98%, los contenidos de MS fueron inferiores en un 11%.

Para el heno de triticale en las tablas FEDNA se dice que este tiene cerca del 89.5% de MS, 10.7% PC. Mientras que los análisis realizados al heno utilizado durante el experimento dieron resultados muy similares en contenido de MS con un 94.21 y para PC se supera en un 5%.

En el caso del ensilaje de nopal, si se compara con las especies citadas por López *et al.*, en el cuadro 2.2 se puede ver que se asemeja mucho a diferentes especies en lo referente a MS Y CZ sin tener variaciones importantes y en lo que corresponde a PC casi la mayoría de las especies están por debajo, esto seguramente se debió a la inclusión de urea en el proceso de ensilaje.

#### **Cuadro 4.1 Análisis Bromatológico de los ingredientes que componen la ración diaria durante el experimento.**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>M.S (%)</b>	<b>P.C (%)</b>	<b>F.C (%)</b>	<b>CZ (%)</b>	<b>E.E. (%)</b>	<b>E.L.N (%)</b>
Ensilaje de nopal	11.36	6.93	24.37	36.45	2.23	30.32
Ensilaje de maíz	22.00	16.22	26.68	10.20	3.05	43.85
Heno de triticale	94.21	15.73	31.31	11.66	2.71	38.59

MS=Materia seca, PC=Proteína cruda, FC=Fibra cruda, CZ=Cenizas, EE=Extracto etéreo, ELN=Extracto libre de Nitrógeno.

Hablando del contenido nutricional de la dieta se puede observar claramente el incremento en la ración para T2 cuando se incorpora el ensilaje de nopal, esta comparación se puede apreciar en el cuadro 4.2, donde la MS se incrementa en un 0.41%, la PC 0.25%, la FC 0.88%, el EE 0.08, la CZ 1.32% y el ELN 1.09%.

#### **Cuadro 4.2 Contenido nutricional de las raciones (%)**

<b>Tratamiento</b>	<b>MS</b>	<b>P.C.</b>	<b>F.C.</b>	<b>E.E.</b>	<b>CZ</b>	<b>E.L.N.</b>
T1	61.31	16.87	30.61	3.04	11.54	43.51
T2	61.72	17.12	31.49	3.12	12.86	44.60

El cuadro 4.3 muestra la cantidad de materia seca contenida en cada uno de los ingredientes de la ración usados en el experimento de suplementación de ovinos con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza.

#### **Cuadro 4.3 Cantidad de materia seca contenida en los ingredientes de la ración usada en el experimento (Kg).**

<b>Concepto</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
Ensilaje de maíz	0.528	0.528
Heno de triticale	0.526	0.526
Ensilaje de nopal	-	0.036
<b>Total</b>	<b>1.054</b>	<b>1.090</b>

**Elaboración con datos de laboratorio.**

#### **4.2 Consumo de alimento durante el experimento**

Las raciones que se utilizaron fueron las que se describen en el cuadro 3.1 donde la única diferencia entre tratamientos fue la adición de 0.320 Kg ensilaje de nopal tratado con urea y melaza en el grupo de observación.

Cabe señalar que durante la fase de adaptación el ensilaje de nopal no era bien aceptado por los animales en pero después de aproximadamente 3 semanas era consumido muy bien.

Nefzaoui y Ben Salem (2003) aseveran que la capacidad de llenado del ganado es baja e inusualmente al suministrar nopal se mejora el consumo de alimentos

fibrosos como la paja. La combinación de paja con nopal aumenta el consumo y consecuentemente el rendimiento animal.

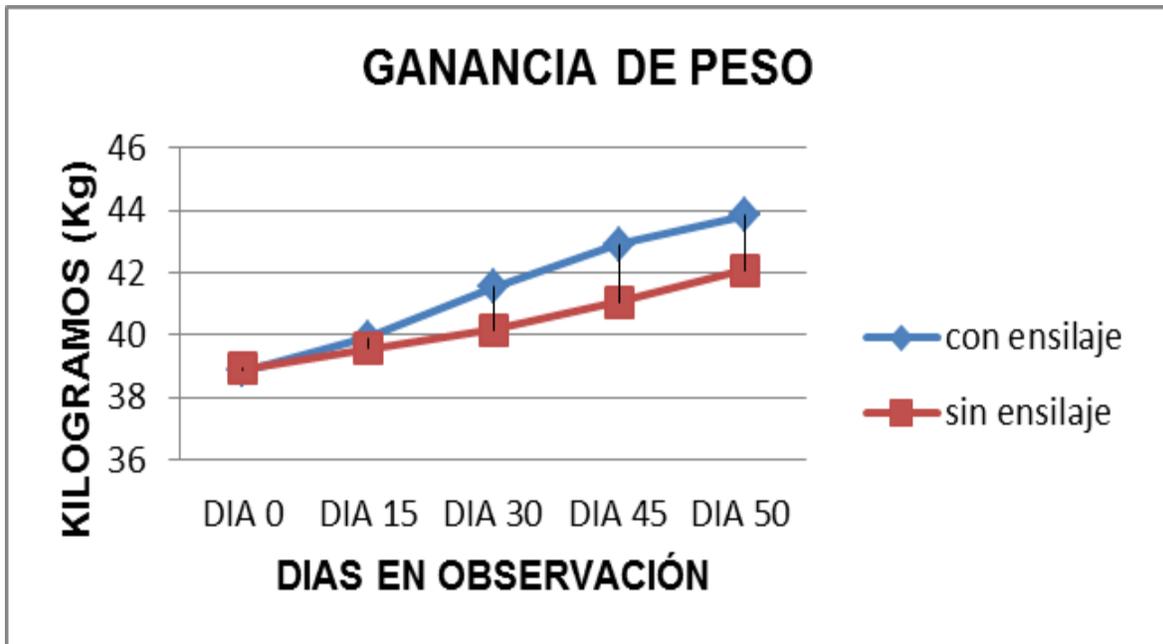
Ovinos alimentados con paja fueron capaces de consumir hasta 560 g de MS de nopal. Este nivel representa casi la mitad del total de la dieta. Los efectos benéficos del nopal podrían ser explicados por el mejoramiento en las condiciones de fermentación del rumen. El nopal sin espinas aumentó casi 2,5 veces el suministro de materia orgánica fácilmente fermentable. Los animales que recibieron dietas que contenían hasta 500 g de nopal no mostraron ninguna perturbación digestiva. (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Usando un modelo de regresión lineal, Flores (1977) predijo un incremento de 2 a 3 veces en peso corporal de ovejas alimentadas con *Opuntia* y suplementadas con heno de alfalfa, remolacha, y maíz ensilado para ovejas de 32 kilos de peso. (López *et al.*, 2003).

#### **4.3 Ganancia de peso de los ovinos durante el periodo experimental.**

Los animales que se alimentaron con ensilaje de nopal tuvieron incremento de peso mayor ( $P < 0.05$ ) en comparación con el grupo testigo (T1), la diferencia de ganancias de peso durante todo el experimento fue de 1.84 kg más en el T2 que en el T1. En la figura 4.1 se puede apreciar claramente la ventaja que se tiene sobre el grupo testigo, también se puede notar que el comportamiento es más notable a partir de la segunda semana en adelante.

**Figura 4.1 Comportamiento productivo (ganancia de peso) de ovinos alimentados con y sin ensilaje de nopal en su dieta diaria**



Similares resultados fueron encontrados por Shiningavamwe *et al.*, (2010) con corderos Dorper alimentados con dietas de nopal deshidratado (*Opuntia ficus-indica var. Argelia*) complementado con diferentes fuentes de nitrógeno. Cada cordero se pesó al inicio de los ensayos y posteriormente, cada dos semanas para determinar la ganancia media diaria. Los pesos de las canales no difirieron significativamente ( $P < 0.06$ ) y fueron mayores para los corderos alimentados con dietas a base de nopal (T1 y T2) que los alimentados con la dieta convencional (T0). De la misma manera, Aguilar (2010), encontró que al incluir nopal fresco o deshidratado en la dieta de corderos ofrece los mismos beneficios que una dieta convencional. Por otro lado, Viana *et al.*, (1965) usaron nopal asociado a un concentrado proteico, melaza, harina de yuca y mezcla mineral en la engorda de bovinos Holstein, obtuvieron ganancias de peso de 925 gramos día. Lo que demuestra ser una fuente barata de alimento y adaptada a trópicos secos.

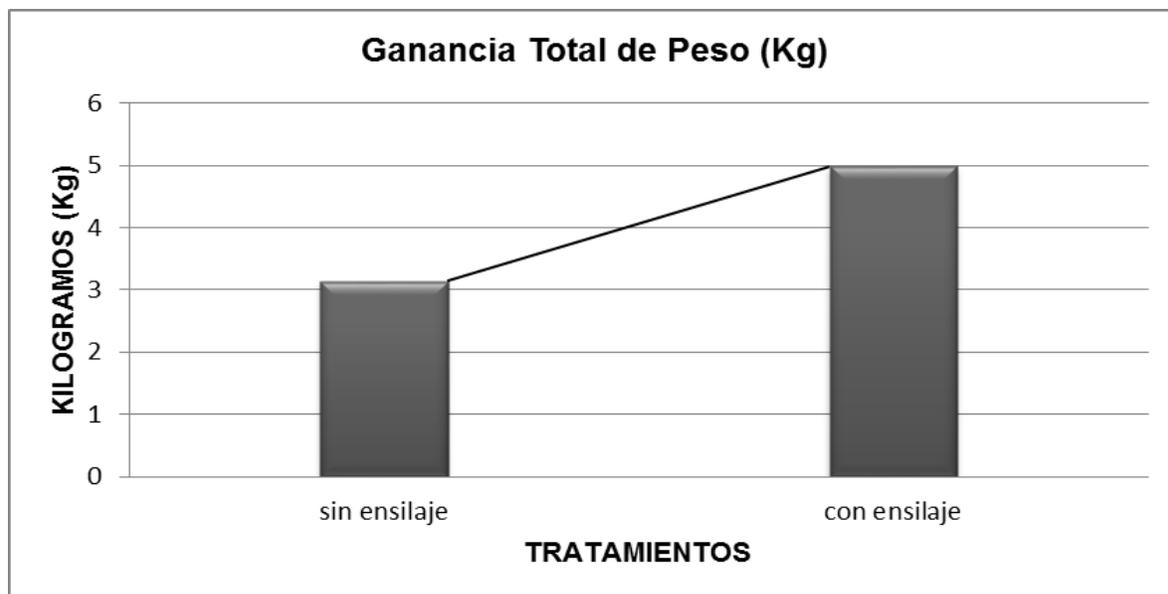
En el cuadro 4.4 se puede observar la ganancia de peso promedio (kg) conforme el paso del tiempo.

**Cuadro 4.4 Comparativo de ganancia de peso en ovinos alimentados con y sin ensilaje de nopal en la ración diaria**

Fecha	T1	T2	Diferencia (kg)
Día 0	38.86	38.86	0
Día 15	39.56	39.92	0.36
Día 30	40.16	41.54	1.38
Día 45	41.06	42.9	1.84
Día 50	42.08	43.84	1.76

La ganancia total de peso en ovinos alimentados con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza, fue de 4.98 Kg, superior a la del grupo testigo (T1) el cual tuvo 3.14 Kg de ganancia total estos resultados se muestra en la figura 4.2

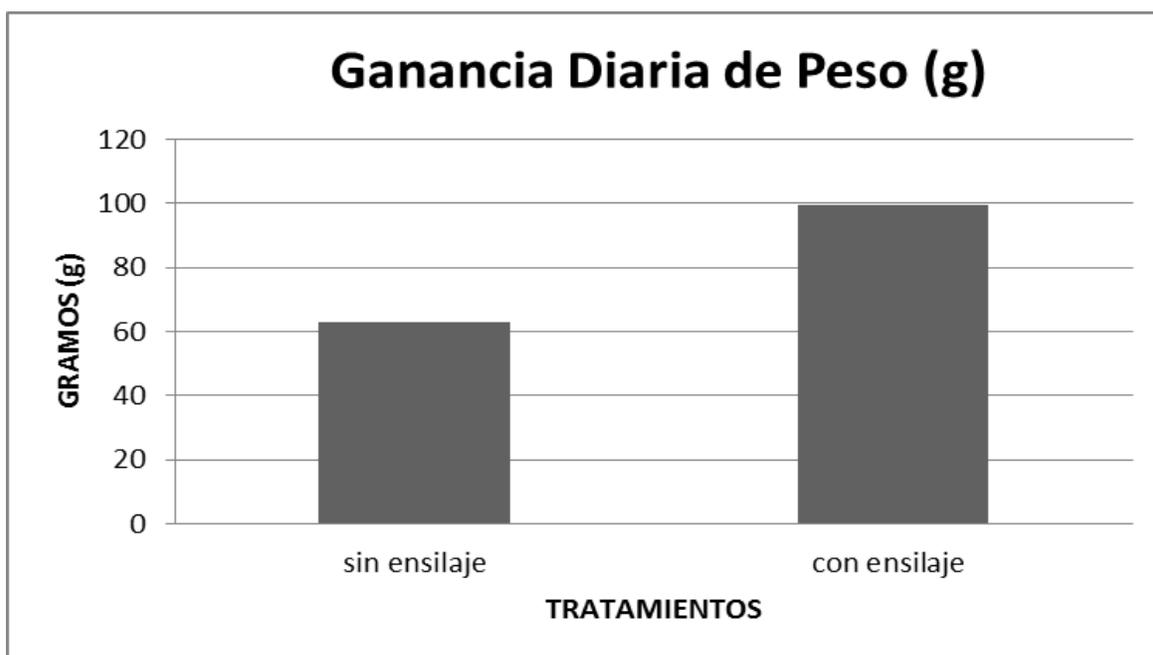
**Figura 4.2 Ganancia total de peso (GTP) de ovinos tratados con y sin ensilaje de nopal.**



En relación al incremento diario de peso el grupo alimentado con ensilaje de nopal (T2) en su dieta tuvo un promedio de 99.6 g y el T1, que solamente se alimentó con ensilaje de maíz y heno de triticales solo tuvo un aumento diario de peso

promedio de 62.8 g, la diferencia entre tratamientos fue de 36.8 g de ganancia diaria tal como se muestra en la figura 4.3.

**Figura 4.3 Ganancia diaria de peso (GDP) de ovinos tratados con y sin ensilaje de nopal en su dieta**



En contraste, Verver *et al.*, (2007) en un experimento de comportamiento productivo en ovinos alimentados con diferentes presentaciones de ensilaje de nopal realizado en conjunto con la Unión Ganadera Regional de Guanajuato y el INIFAP. no encontraron diferencia en el uso de ensilaje de nopal, muy probablemente se deba a los materiales ensilados ya que la mezcla que más se asemeja a los utilizados en el presente estudio, constó de 84% nopal, 12% paja, 3% melaza y 1% urea, además que la alimentación y carga genética de los animales que Verver usó son totalmente diferentes a los usados en el presente trabajo. Sin embargo, en un estudio conducido por Fuentes (1991) en siete sitios de Coahuila, 685 animales (bovinos) en libre pastoreo y suplementados con rastrojo de maíz, melaza y urea fueron alimentadas también con 10 a 20 kg de nopal chamuscado. La ganancia diaria de peso varió de 0,1 a 0,6 kg. *Opuntia* proveyó 7,8 por ciento de la energía total de mantenimiento, 20,6 por ciento de la

proteína, 50 por ciento del fósforo y 100 por ciento de los requerimientos del calcio recomendados por el NRC (1985).

Un estudio realizado por Aranda *et al.*,(2008) en donde se evaluó el desempeño productivo y la rentabilidad de incluir nopal fresco en dietas de finalización de corderos de pelo. Los datos obtenidos fueron analizados bajo un modelo mixto completamente al azar de medidas repetidas bajo el paquete estadístico de SAS.. Con los resultados obtenidos se puede concluir que la inclusión de nopal en porcentajes de 15 y 20 % (base seca) en la dieta de finalización de corderos no afecta los parámetros productivos y por otra parte aumenta la rentabilidad del sistema de producción.

Gutiérrez *et al.*, 2009 coinciden en que el uso del nopal nativo o mejorado es posible usarlo como alimento si se utiliza algún método de conservación como lo es el fermentado de nopal y bloques multinutricionales, y el uso de productos que mejoren su calidad por ejemplo melaza, urea, MEBA (Microorganismos Eficientes Beneficiosos Activados) minerales y complejos vitamínicos logrando tener un alimento barato y con características nutritivas semejantes a algunos alimentos comerciales. Aunque es necesario que se realicen más estudios sobre comportamiento productivo.

## 5. CONCLUSIONES

El género *Opuntia* tiene gran importancia como materia prima en diversas industrias, incluido el sector pecuario ya que en varios estados del país se aprovecha como forraje barato; además, las características nutritivas que presenta son similares a las de algunos otros forrajes, esto dependerá de la época de cosecha, especie o variedad, fertilización etc. Haciendo de este género una alternativa viable en épocas de sequía o de escasas de forrajes.

El uso de técnicas como el ensilaje y enriquecimiento de forrajes ha demostrado ser muy útil, siempre y cuando este se establezca en un lugar apropiado y el forraje o alimento sea de calidad.

Tomando en cuenta los datos obtenidos durante el experimento, se concluye que la hipótesis planteada se acepta y que el suplementar ovinos con ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza tiene beneficios productivos en esta especie, ya que se logró un incremento de peso superior en los animales que lo consumieron en comparación con los que no consumieron.

En base a estos resultados también se puede deducir que empleando aditivos, en este caso la urea y melaza en proporciones adecuadas y llevando a cabo un método de conservación de forraje adecuado se puede elevar el contenido nutricional natural del nopal.

## 6. LITERATURA CITADA

**A.O.A.C.** Official methods of analysis. 1980. Horwitz w. ed. ed. 13th. Washington U.S.A.

**Aguilar** Y. M. I. 2010. Respuesta productiva y calidad de la carne de corderos suplementados con nopal fresco y deshidratado tesis maestría Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México

**Anaya** P., 2003. Historia del uso de *Opuntia* como forraje en México. Cuaderno Técnico de la FAO No. 169 el nopal (*Opuntia spp.*) como forraje.

**Aranda** O.G., M. Segundo E., C Flores V., M Cruz M. 2008. Inclusión de nopal en dietas de finalización para corderos de pelo. Memorias de la XXXVI Reunión anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal A. C. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N.L., México.

**Ávila** G.E., S. A. Shimada y G. Llamus. 1990. Anabolitos y aditivos en la producción pecuaria. 1ª Ed. Sistema de educación continua en producción animal en México. México, D.F. 99. Pp. 49 – 53.

**Ben Salem** H., Nefzaoui, A. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región Wana Cuaderno Técnico de la FAO No. 169 el nopal (*Opuntia spp.*) como forraje.

**Bernal** J. E. 1991. Pastos y forrajes tropicales, producción y manejo. Unidad de Divulgación y Prensa Banco Ganadero, 1ª ed. Bogotá, Colombia Pp. 320- 335.

**Cantú.** D., L. A. Muños, E. García y R. Cuellar. 2007. Manuel de procedimientos para el uso de campos experimentales en la UAAAN. Buenavista. Saltillo, Coahuila México.

**De Alba,** J.1971, Alimentación del Ganado en América Latina, La prensa medica mexicana, México.

**De Kock**, G.C. 2003 El uso del nopal como forraje en zonas áridas de Sudáfrica. Cuaderno Técnico de la FAO No. 169 el nopal (*Opuntia* spp.) como forraje.

**De la Cruz**, C. J. A. 1994. Prickly pear cactus for forage in Mexico. In 5° Annual Prickly pear council, Kingsville, Texas.

**Elizondo**, E. J., J. Lopez y G. J. Dueñez A. 1987. El género *Opuntia* (Thurnerfort) Miller y su distribución en el estado de Coahuila. 2ª. Reunión Nacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. Instituto de biología. UNAM. México, D. F.

**Ensminger** M. E., Olfield J. E. y Heinemann W. W. 1990. Feeds and Nutrition 2ª ed. Edited by Ensminger publishing company. California, USA.

**García** H, E. J. 2003 Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología en el estado de San Luis Potosí. Etapa III Estudio de la Trayectoria y Prospectiva de los Mercados del nopal tunero. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Fundación Produce San Luis Potosí. Salina Hidalgo, San Luis Potosí.

**Granados** S., D y A. D. Castañeda P. 1997 El Nopal: Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas. México.

**Gross** F. 1969. Silos y ensilados 1° Ed. Editorial Acribia. Zaragoza España pp134.

**Gutiérrez** O. E., Elías A., Santos H. A., Facundo A., Morales H. Bernal B. H., 2009 Uso del nopal nativo y cultivado en la alimentación de rumiantes. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición Especial no. 2 -2009 México.

**Guzmán**, D. y J. Chávez. 2007. Estudio Bromatológico del cladodio de nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. Rev. Soc. Quim. Perú. Ene. /mar. 2007, vol.73, no.1. Perú.

**Herrera, P. C. M.**, 2011 Degradación in vitro de nopal (*Opuntia ficus indica* y *Opuntia rastrera*) mediante el empleo de polisacaridasas obtenidas de microorganismos del rimen bovino. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista Saltillo, Coahuila , México

**Hiriart L. M.** 1998. Ensilado, procesamiento y calidad. Editorial Trillas.México.Pp. 98.

[http://fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/triticales](http://fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/triticales) consultado el 20-10-12

**Johnson A.**, H. Linberg, P. Linguall and S Lindgren. 1990. Effect of additives on quality of big – balance silage. Anim. Feed. Sci. Technol. 31. 139 – 155.

**Kung L.** 2000. Silage fermentation and additives. Direct-fed microbial, enzyme forage additive compendium. Miller Publishing. Co. Minnesota, M.N.

**López G. J.J.** 2010. Uso y manejo del nopal forrajero en el noreste de México, IX simposium-taller nacional y II internacional de producción del nopal y maguey. Escobedo Nvo. León, México.

**López G. J.J.**, J.M. Fuentes R., A. Rodríguez G.2003 Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. Cuaderno Técnico de la FAO No. 169 el nopal (*Opuntia* spp.) como forraje.

**Marroquín.**, S.; G. Boruja L; R. Velázquez C.; J.A. de la Cruz. 1964. Estudio dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Instituto Nacional de Investigación Forestal. Publicación especial 2. México.

**Mc Donald P.** 1981. The Biochemistry of silage, John Wiler and Sons, Chichester. New York. Pp.226.

**Mejía H.J.**, H. Delgado, J.L. Mejía H.I., Guajardo y Valencia P.M. 2010. Efectos de la suplementación con bloques multinutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso en ovinos en crecimiento. Acta Universitaria vol. 21 Universidad de Guanajuato. México

**Merry R. J., K. F. Lowes K. F. and A. Winters.** 1997. Current and future approaches to bio control in silage. En Proceedings of the 8 th Simposio Internacional sobre la Conservación de Forraje. Jambory. Klapil L., Chromec P. y ProchazKa P. Pp 17 – 27.

**N.R.C.** 1985. Nutrient Requirements of Sheep, TABLE 13 Composition of Some Sheep Feeds.

**Nobel, P.S.**1994. Remarkable agaves and cactus. New York: Oxford University.

**Nobel, P.S.**2003. Eco fisiología de Opuntia ficus. Cuaderno Técnico de la FAO No. 169 El Nopal (Opuntia spp.) como Forraje.

**Peñagaricano A.J., A. Walte. Y J. N. Llanea.** 1975. Ensilaje (Manejo y utilización de reservas forrajeras). 1ª Ed. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. Pp. 334.

**Reest. J.** 1997. The development of a novel antifungal silage inoculants. Doctoral research dissertation. Cranfield University Biotechnology centre, UK.

**Rosquero P. E.** 2001. Determinación de minerales en nopal forrajero Opuntia spp. Tesis Licenciatura UAAAN Saltillo, Coahuila, México.

**Sáenz, C.** 2006. Utilización agroindustrial del nopal. ISSN- 4334. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST) con la colaboración de la Red Internacional de Cooperación Técnica del Nopal (FAO-CACTUSNET).

**Scheinvar, L.** 1995. Taxonomy of utilized Opuntias in: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear .FAO, Plant Production paper, Rome, Italy.

**Shiningavamwe K.L, H. O. de Waal, L.M.J Schwalbach, W.J.Combrinck and J. Els.** 2010. Commercialization of sun-dried cactus pear (Opuntia ficus-indica) cladodes in feedlot diets for Dorperwether lambs. The VIIth International Congress on Cactus Pear & Cochineal. Agadir, Morocco. PP. 55-56.

**Sudzuki** Hills, F. 1995. Anatomy and morphology. P. 28-35, en: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds.) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper, p. 132. Rome, Italy.

**Torres** S. A. 2010. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias en Brasil) IX simposium-taller internacional de producción y aprovechamiento del nopal y el maguey Escobedo Nvo. León, México.

**Vázquez** A.R. E., Valdez C. R., Gutiérrez O. E., Blanco M.F. 2008. Caracterización e identificación de nopal forrajero en el noreste de México. IV simposium –taller producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. pp 22

**Verver** I., A. Vargas y C. Mondragón. 2007. Tránsito de tecnología e investigación para mejorar la sustentabilidad de la producción ovina a través del cultivo del nopal forrajero en el Norte de Guanajuato. Guanajuato, México.

**Viana**, S. P. Souto, J. P. de M. Coelho, A. de A.; Estima, A. L.; Aarújo, P. E. S. de; Tavares, A. de L. 1965. Alimentação de bovinos manejados em regime de confinamiento. IPA. Brasil.

**Watson** J. S y M. A. Smith. 1984. Ensilaje. 2ª ed. Editorial Continental. México, D.F. Pp. 183.

**Weinberg** Z. G. and R. E. Muck E. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for Silage .FEMS Microbiol. Rev., 19: 53 – 68.

**Wilkins** R. R. 1976. The nutritive value of silages in Univ. Nottingham Nutrition Conference of feed manufactures. Butterworths. Num.8. Pp.189. London. U.S.A.

**Woolfod** M. K. 1984. The Silage Fermentation. Marcel Dekker, Inc. Pp. 350. New York, EEUU.