

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**SUPLEMENTACION CON ENSILADO DE NOPAL (*Opuntia spp.*) EN
CAPRINOS**

Por:

PEDRO LOPEZ HERNANDEZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2012

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL

SUPLEMENTACION CON ENSILADO DE NOPAL (*Opuntia spp.*) EN
CAPRINOS

POR:

PEDRO LOPEZ HERNANDEZ

TESIS

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

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

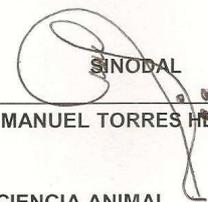
APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL


Ph. D. JESÚS FUENTES RODRÍGUEZ

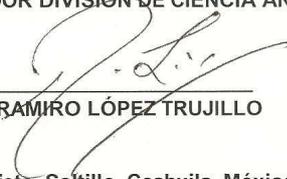

SINODAL

ING. ROBERTO VILLASEÑOR RAMOS


SINODAL

M.C. MANUEL TORRES HERNÁNDEZ

COORDINADOR DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL


DR. RAMIRO LÓPEZ TRUJILLO

Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2012



DEDICATORIA

A mis padres: Herlindo López Aguilar y América Hernández Ochoa, por darme la vida, y por el amor que me han brindado, y sus consejos que en su momento me han dado, por todo eso y más los amo.

A mi madre por ser una mujer extraordinaria, por no dejarse vencer en los obstáculos que se le presentan en la vida, por saber defender a sus hijos a capa y espada. Por luchar siempre en la vida para tratar de salir adelante siempre trabajando mucho, y por todo el amor que nos ha dado a mí y a mis hermanos por eso y más te amo mamá.

A mis hermanos:

Belly gracias por todo el amor y cariño que me has dado y demostrado, eres mi hermana linda y una mujer ejemplar, que sobre todas las cosas has salido adelante con mucho esfuerzo y sobre todo mucho trabajo, y por darme mis 2 sobrinas hermosas conchita y lupita, por eso y más te admiro y te quiero hermana.

Ing. Adayver, gracias por ser el ejemplo a seguir de la familia, por ser una persona con muchas cualidades en la vida y por ser mi inspiración a seguir estudiando, te quiero mucho hermano.

Ing. Wendy, gracias por ser mi hermanita linda y por ser una mujer espectacular, por tus consejos y por ayudarme, apoyarme en momentos difíciles, y por darme a mis 2 sobrinos hermosos sobrinos polito y kevin, por eso y más te quiero mucho güerita linda.

Pablito: mi carnalito gemelo gracias por todas las cosas chidas que hemos pasado juntas nuestras aventuras que nos ha tocado vivir, por eso y más te quiero carnalito.

Lic. Karina del Rocío Vázquez Alvarado

Por su amor, comprensión, compañía, y apoyo, por haber compartido mis éxitos y fracasos, por quererme tal como soy con mis virtudes y defectos, por darme todo ese inmenso amor sin pedir nada a cambio.

Por apoyarme y por ayudarme a no dejarme vencer en momentos difíciles en mi vida, por ser un apoyo incondicional durante la estancia en la universidad. Por eso y más **te amo chatita linda.**

A mi cuñado

Raúl Pérez Ortega *Por ser una persona muy importante en mi vida y por apoyarme, durante todo este tiempo, que hemos convivido juntos, por sus consejos muchas gracias cuñado.*

A mis sobrinos

Conchita, Lupita, Polito, Kevin y Alex *Por ser la alegría de toda la familia, y por formar una parte muy importante en mi vida, por eso y más los amo a todos.*

A mis abuelitos

Carmen Ochoa Albores, *por su amor y cariño que me ha brindado, por sus consejos que me ha dado durante el transcurso de mi vida, por eso y más te quiero mucho abuelita.*

Herlindo López Alfaro (+)

Asunción Aguilar Espinoza (+)

Porque ellos fueron muy importantes en nuestra vida, por todo el amor y cariño que nos brindaron a mí y a toda mi familia, por eso y más, mis queridos abuelitos los amo y los extraño mucho.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por darme el regalo más lindo que es la vida y darme una familia hermosa y por haberme concedido terminar, mi carrera profesional, y por ser un amigo y estar en los momentos alegres, tristes y difíciles de mi vida. Mil gracias. Dios mío.

A mi “Alma Terra Mater” por haberme abierto sus enormes puertas en un momento inesperado de mi vida, porque a lo largo de este tiempo fue muy generosa conmigo y me formo profesionalmente de una manera en la que solo la Antonio Narro lo sabe hacer. Además aquí tuve la fortuna de conocer nuevos amigos.

A mis Amigos. A Ernesto Atiel, Alonso Leonel, Luis Oscar Pichardo, Pedro Guerrero, Isel, Felipe (el oso), ventura (el gordito), Manuel (el pelao).

*A ustedes muchas gracias por ser mis compañeros y además mis amigos, por formar parte de mi vida durante mi estancia en la universidad “**muchas gracias**”*

A DOÑA MARICRUZ BRIONES. Por el simple hecho de haber confiado en mí, para vivir en su casa, que fue como mi casa,. Y por todos sus consejos que me brindo durante mi estancia en la universidad y lo mejor y lo más importante su amistad.

A los miembros del comité de asesoría:

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez, por darme esta oportunidad y confianza de realizar este proyecto, y además guiarme durante la realización de este trabajo de tesis, por sus sugerencias en la realización y por brindarme su amistad.

M.C. Manuel Torres Hernández. Por formar parte del comité y por su apoyo en la revisión de esta tesis.

ING. Roberto Ramos Villaseñor. Por formar parte del comité y por su apoyo en la revisión de esta tesis y por su apoyo durante mi estancia en la universidad.

A todos mis maestros de (Producción Animal, Nutrición Animal y Recursos Naturales), que me brindaron sus conocimientos y que contribuyeron en mi formación profesional.

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

El suscrito Pedro López Hernández, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 283689 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 del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

ATENTAMENTE:



Pedro López Hernández

Tesista de Licenciatura/UAAAN

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
1.3 Justificación	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades del nopal.	3
2.1.1 Origen	4
2.1.2 Botánica	4
2.1.3 Taxonomía	4
2.1.4 Clasificación taxonómica	5
2.1.5 Características ecológicas	6
2.1.6 Características morfológicas	6
2.1.6.1 Raíz	7
2.1.6.2 Tallo	7
2.1.6.3 Hoja	8
2.1.6.4 Flor	8
2.1.6.5 Fruto	8
2.1.7 Características fisiológicas	9
2.1.8 Ecología del nopal	11
	v

2.1.9 Métodos de propagación del nopal	11
2.1.10 Distribución en el mundo	12
2.1.11 Distribución geográfica de las nopaleras en México	13
2.1.12 Distribución del Nopal en el Estado de Coahuila	14
2.1.13 Condiciones agroecológicas para el cultivo del nopal	15
2.1.13.1 Suelos y fertilidad	15
2.1.13.2 Salinidad	16
2.1.13.3 Actitud y latitud	16
2.1.13.4 Clima	16
2.1.13.5 Temperatura	17
2.1.13.6 Precipitación	17
2.1.14 Importancia forrajera del nopal	17
2.1.15 Consumo del nopal por los animales	18
2.1.16 Contenido nutricional	21
2.1.16.1 Análisis bromatológico y de minerales del nopal	21
2.2 Ensilaje	22
2.2.1 Ventajas del ensilaje	23
2.2.2 Desventajas del ensilaje	24
2.2.3 Tipos de silos	24
2.2.4 La microflora del ensilaje	25
2.2.5 El proceso del ensilaje	26
2.2.6 pH y temperatura	28
2.2.7 Características y evaluación del ensilaje	28
2.2.8 Aditivos para ensilaje	29
2.2.8.1 Melaza	29

2.2.8.2 Nitrógeno no proteico	30
2.2.8.3 Inhibidores de la fermentación	30
3 MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Localización del área de estudio	31
3.2 Manejo de los animales y materiales usados	31
3.3 Recolección de nopal (<i>Opuntia spp</i>)	31
3.4 Construcción del silo	32
3.5 Análisis bromatológico	33
3.6 Análisis estadístico	33
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1 Análisis bromatológico	34
5.2 Consumo de alimento y contenido nutricional de las raciones	34
5.3 Ganancia de peso	35
6 CONCLUSIONES	40
7 LITERATURA CITADA	41
8 ANEXO	45

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Clasificación taxonómica del nopal (<i>Opuntia spp.</i>)	5
2. Análisis bromatológico de diferentes especies de nopal (porcentajes en base materia seca)	19
3. Composición de la dieta experimental (%)	32
4. Análisis Bromatológico de los ingredientes de la ración diaria de los caprinos en experimento	34
5. Consumo total de alimento por ingrediente (kg. MS/día)	34
6. Contenido Nutricional de las raciones (%)	35
7. Comportamiento productivo de cabras suplementadas con nopal (<i>Opuntia spp.</i>)	36
8. Producción de leche en cabras alimentadas con nopal criollo y mejorado en Vallecillo, Nuevo León, México	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1.Incremento de peso de caprinos suplementadas con nopal (<i>Opuntia</i> spp)	36

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Unidad Caprina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista saltillo Coahuila México. Los objetivos principales fueron la suplementación caprina con silo de nopal adicionado con urea y melaza. Se evaluó el incremento de peso de los animales en tratamiento. El T1 (testigo) consistió de silo de maíz 1.54 kg/día, heno de triticale 3.72kg/día, mientras que el T2 contenía silo de maíz 1.54 kg/día, heno de triticale 3.72kg/día y silo de nopal 0.22kg/día) en base a materia seca. Para determinar el análisis bromatológico de cada uno de los ingredientes utilizados en la alimentación de los caprinos, se utilizó la metodología descrita por la A.O.A.C. (1980), en el que se determinó el contenido de Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Cruda, Cenizas, Extracto Etéreo, Extracto Libre de Nitrógeno. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar utilizando el programa estadístico de Olivares (1993). Los resultados obtenidos en este estudio indican que la inclusión de silo de nopal adicionado con urea y melaza en la alimentación de los animales, mejoró la ganancia de peso en los animales que consumieron este alimento en un 115%, pasando de 0.0584 kg de ganancia por día en el tratamiento testigo a 0.141 kg por día en el tratamiento con silo de nopal. En base a los resultados obtenidos en este experimento, se concluye que la hipótesis planteada es aceptada ya que el tratamiento a base de nopal, urea y melaza, logro incrementar el peso de los animales que consumieron el alimento. De acuerdo con las conclusiones antes mencionadas se puede destacar que el ensilaje es una técnica de preservación de forraje que permitió obtener un ensilaje de buena calidad y con buena aceptación por las animales, sin embargo, aún se requiere de realizar investigaciones para lograr productos estandarizados que promuevan una adecuada producción animal a bajo costo.

Por lo anterior, se concluye que la elaboración y el uso de ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza es una buena alternativa para los caprinocultores de las zonas áridas y semiáridas.

Palabras clave: caprino, ensilaje, ganancia de peso, nopal, silo

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de producción pecuarios tienen baja productividad debido a la disponibilidad limitada de alimento y la calidad deficiente, especialmente en áreas susceptibles a la sequía donde el sector ganadero sufre grandes pérdidas regularmente.

Una alternativa para mejorar la alimentación en épocas críticas de escasez de forraje, es el ensilaje de estos. El tecnificar los métodos de preservación de forrajes permite balancear la alimentación animal. De esta forma, el ensilado permite la conservación del forraje sin presencia de oxígeno que pueda causar su descomposición.

Es conveniente ubicar el uso forrajero del nopal como complemento debido a su bajo contenido proteico y alto contenido de agua; sin embargo, durante la mayor parte del año ofrece nutrientes disponibles al ganado que le permite mantenerse. En general todas las especies de nopal tienen una composición química buena.

El estudio del potencial y el valor nutritivo de *Opuntia* podría contribuir al desarrollo del sector pecuario en las regiones secas de México, ya que el nopal es un cultivo versátil que merece ser considerado como una importante opción en los procesos de reconversión productiva y diversificación de actividades del campo, con un amplio mercado potencial insatisfecho.

Es de gran importancia que todo rancho ganadero cuente con su nopalera con el fin de prepararse para tiempos de sequía, cuando escasea el alimento y se pierden miles de cabezas de ganado por este fenómeno. Si el ganadero aplica tecnología a sus plantaciones de nopal, puede darle un significativo aprovechamiento comercial a su plantación, lo que convertirá a este cultivo en una alternativa económicamente rentable a su actividad ganadera.

La utilización de nopal ensilado como suplemento alimenticio a caprinos permite hacer un uso más adecuado de este forraje y apoyar la economía de los productores, especialmente en la actualidad dadas las condiciones de sequía prolongada en el noreste del país y poder tener una alternativa para la alimentación de los rumiantes.

Por lo anterior se plantearon los siguientes:

1.1 Objetivos

- Evaluar el incremento de peso en caprinos con el suplemento del silo de nopal.
- Hacer un buen uso y manejo del nopal para el consumo de los rumiantes.

1.2 Hipótesis:

Ho: La suplementación de caprinos con ensilaje de nopal mejorará la ganancia de peso corporal.

Ha: La suplementación de caprinos con ensilaje de nopal no mejorará la ganancia de peso corporal.

1.3 Justificación

La investigación se realiza para aportar propuestas favorables a grandes y pequeños productores ganaderos, principalmente para los de zonas áridas y semi áridas, para la utilización, elaboración y el uso de ensilaje de nopal adicionado con urea y melaza en épocas de sequías prolongadas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades del nopal

Las cactáceas son originarias del continente americano, donde se encuentran distribuidas desde Canadá hasta Argentina.

En América del norte existen 92 géneros de los cuales 61 se localizan en México, por lo cual se considera como centro de diseminación (Bravo, 1978), donde ocupa cerca de 30 millones de hectáreas (300,000 km²), distribuidas en 11 estados del país principalmente.

La actividad pecuaria a escala limitada, es una estrategia de supervivencia común en tierras semiáridas. En muchos países, los animales domésticos también representan un mayor estatus social ya que son bien listos para utilizarse en cualquier momento. Las sociedades pastorales están presentes en todas las regiones subdesarrolladas áridas y semiáridas del mundo, haciendo un uso intensivo de pastizales nativos. Como resultado, la disminución de pastizales es un problema mundial a lo largo de la franja semiárida, contribuyendo así, a la desertificación (De la Cruz, 1994).

Por lo que existe una búsqueda permanente de 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 en muchas otras áreas del mundo, que por razones históricas, se han beneficiado de la introducción y de la dispersión de esta cactácea.

2.1.1 Origen

El nopal es originario de América Tropical y Subtropical y hoy en día se encuentran en gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente Americano. Además, se ha difundido a África, Asia, Europa y Oceanía, donde también se cultiva o se encuentra en forma silvestre (Sáenz, 2006).

2.1.2 Botánica

Existen casi 300 especies de género *Opuntia* (Scheinvar, 1995). Solamente en México, Bravo (1978), registró 104 especies y variedades. De acuerdo con Scheivar (1995), el nombre de *Opuntia* viene de un antiguo pueblo griego en la región de Leocrid, Beocia: Opus, u *Opuntia* en donde Tourneford encontró una planta con espinas que le recordó a la *Opuntia Americana*, que incluye 11 subgéneros: *Opuntia*, *Consolea*, *Austrocylindropuntia*, *Brasilopuntia*, *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. Casi todas las especies florecen durante el mismo periodo del año y no hay barreras biológicas que las separen. Sin embargo, actualmente se cuenta con técnicas analíticas de precisión, como la electroforesis, que permite la identificación de una planta, mediante la obtención de secuencias de moléculas químicas en determinados órganos vegetales. Este tipo de estudios a nivel molecular no sustituye del todo el estudio de las características anatómicas visibles, sino que se complementan entre sí, al

igual que las características deseables de rendimiento y calidad para cultivarse, de interés comercial.

Todo ello es examinado mediante el uso de herramientas estadísticas de análisis multivariado, que se han convertido en aliados de los investigadores para deducir el grado de parentesco o distancia genética existente entre eco tipos 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).

2.1.4 Clasificación Taxonómica

El cuadro 1 muestra la clasificación taxonómica del nopal (*Opuntia spp*) señalada por Bravo (1978).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del nopal(*Opuntia spp.*)

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>Cactácea</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Opuntia (antes Plantiopunta)</i>
Especie	<i>Spp</i>

(Fuente: Bravo, 1978)

2.1.5 Características ecológicas

El nopal se encuentra distribuido mayormente en las regiones áridas y semiáridas como los desiertos. El éxito que tienen las *Opuntias* para adaptarse mejor, en esos lugares, se debe a las características ecológicas que poseen, al igual que toda la familia de las cactáceas a que pertenecen y han desarrollado a través de los años.

Las condiciones para la vida en un desierto deben obedecer 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 un 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 deben evitar al máximo la pérdida de agua a procesos de transpiración que enfrentan (Nobel, 1999).

2.1.6 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, asociado a un 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 suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración (Kramer, 1989).

2.1.6.1 Raíz

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

2.1.6.2 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 llamada dermis tiene algunas funciones principales:

- ❖ Evita la pérdida de grandes cantidades de agua por el proceso de transpiración.
- ❖ Regula el movimiento de la entrada de dióxido de carbono y salida del 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 multi articulado, 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).

2.1.6.3 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 hallan las areolas de las cuales brotan las 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).

2.1.6.4 Flor

La flor de la planta se produce en las areolas, localizadas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, ya que algunas pueden brotar el primer año y otras el segundo o al tercero. Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, etc., según la especie del nopal. Por lo general, las flores son grandes; el ovario es inferior, unilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (5 a 10); el androceo posee gran cantidad de estambres.

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

2.1.6.5 Fruto

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

Monroy menciona que debido a su gran polimorfismo, la investigación de las *Opuntias* se hace difícil, sin embargo, esto vuelve a reforzar el gran poder de adaptación que tienen las plantas para colonizar los diferentes ambientes (Monroy, 1989; Espinoza et al., 1990).

2.1.7 Características fisiológicas

La evolución de los miembros de los subgéneros de *Opuntia* en ambientes semiáridos, ha conducido al desarrollo de diversas características de adaptación anatómica, morfológica y fisiológica; y estructuras particulares de plantas, como fueron descritas por SudzukiHills (1995).

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 permite sobrevivir largos periodos de sequía, y alcanzar niveles de producción aceptables inclusive en años de sequía realmente severas.

Opuntia es particularmente atractivo como alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca y en energía digestible.

Este caso es útil no solo porque sobrevive a las sequias sino también por su conversión, es más eficiente que la de los pastizales C_3 y las plantas C_4 de hoja ancha. La generación de biomasa por unidad de agua es en promedio tres veces más alta que la planta C_4 , y cinco veces más que la planta C_3 . 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 la C_3 y C_4 . (Nobel, 1995).

Otro aspecto importante en la fisiología de *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.

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

Lo anterior significa que mientras más negativo es el valor del 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.

Los cactus, específicamente *Opuntia spp.*, han constituido una fuente de forraje extremadamente útil en tiempo de sequía, primordialmente porque proveen de energía digestible, agua y vitaminas no solo para el ganado, pues también ha sido usada como forraje para cerdo, sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para completar 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 degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy pocos cultivos logran desarrollarse y producir. Mientras las variedades sin espinas necesitan protegerse contra los herbívoros, las variedades más tolerantes al frío con espinas no requieren tanta protección. Sin embargo, es necesario quemar las espinas antes de poder utilizarlo como forraje para el ganado (Elizondo, 1987).

2.1.8 Ecología del nopal

El conocimiento de la ecología del nopal incluye el estudio de sus interacciones con el medio biótico o abiótico. Se entiende por medio biótico todo aquello que está vivo, animales y plantas, y por medio abiótico lo que no tiene vida como el clima, la parte mineral del suelo y química del agua. Por lo tanto, la ecología del nopal se refiere a la relación con todo tipo de factor que lo rodea tanto vivo como no vivo (Theron y Vallin, 1987).

El nopal al igual que cualquier otra planta cohabita con otras plantas y animales. A diferencia de 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 diferir de manera extrema, frío-calor, árido-húmedo, sin embargo su hábitat predilecto es el árido y semiárido. 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 desarrollan, permiten 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. 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).

2.1.9 Métodos de propagación del nopal

El nopal se puede propagar mediante los 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 logra mantener las características de la variedad escogida como madre.

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

2.1.10 Distribución en el mundo

El poder de adaptación que poseen las *Opuntias* les permite colonizar casi cualquier medio, su amplio intervalo para modificar su morfología al paso del tiempo, ha permitido que el género se adapte a una gran diversidad de hábitat. Gracias a sus características, se ha registrado la presencia de *Opuntias* en gran parte del mundo en países como: Chile, Perú, Brasil, México, Bolivia, Argentina y Colombia; Estados Unidos, Italia, España, Sudáfrica, poseen algunas especies de este género.

No obstante su amplia distribución, en la mayoría de los casos el establecimiento de *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 del norte de África.

Una de las explicaciones de tal distribución podría ser el centro del origen del género. Granados y Castañeda (1996) señalan tres teorías al respecto: una de ellas menciona que el género *Opuntia* es originario de América debido a su gran variedad de especies que presenta; la segunda teoría toma como base las similitudes morfológicas con las portulacáceas, se piensa que las cactáceas derivaron de las portulacáceas y su origen podría estar en México, puesto que en este país existe el mayor número de género 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 las 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 migraron para constituir las dos zonas categóricas actuales, una en América del norte y otra en América del sur.

2.1.11 Distribución geográfica de las nopaleras en México

Marroquín *et al.*, (1964) reconocieron tres grandes regiones cubiertas con *Opuntias* 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 e incluye parte de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.
- b) Zona nopalera del noroeste: 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.

Un enfoque más amplio, considerando todo el país, fue propuesto por López y Elizondo (1990), quienes 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), frutas (tunas) y forraje. Las especies principales son: *Opuntia ficus-indica* (nopal de castilla), *O. amychlaea* (nopal Alfajayucan), con algunas variedades cultivadas (Barrientos, 1972), *O. Megacantha* (tuna amarilla) y *O. Tomentosa*.

- B. Zona 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. estrptacanta*(nopal cardón), así como las plantas arbustivas *O. robusta* (nopal tapón), *O. cantabrigiensis*(nopal cuijo), *O. Rastrera* (nopal rastrero), *O. lindheimeri*(nopal cacanao) y *O. Leptocaulis* (nopal tasajillo).
- 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), *O. rastrera* y *O. Lindheimeri*.
- D. Zona costera del golfo de México. Cubre parte de los estados de Coahuila, norte de Nuevo León y Tamaulipas. Plantas arbustivas de *O. lindeimeriasociados* con otras especies forrajeras.

2.1.12 Distribución del Nopal en el Estado de Coahuila

Se reconocen 258 especies del género *Opuntia*, reportándose para México 104 especies, de las que se encuentran en Coahuila 25 especies y 12 variedades. Se utilizan como forraje las especies y variedades de *O. lindheimeri* y *O. phaeacanta*, que se encuentran en casi todo el estado (Bravo, 1978; Elizondo et al., 1987)

López et al., (1996) mencionan que las reportadas para Coahuila, solo son cinco especies y sus variedades son consideradas como forrajeras, siendo las siguientes.

En el oriente del estado:*O. lindheimeri* (nopal cacanao) esta especie tiene cuatro variedades: *O. lindheimerivar. lindheimeri* (nopal cacanao), *O. lindheimerivar. aciculata*,*O. lindheimerivar. subarmata* y *O. lindheimerivar. tricolor*.

Una de las regiones más húmedas con una precipitación de 400 mm por año y una altitud menor de los 1000 metros. Estas cuatro variedades son buenas forrajeras.

En el occidente del estado: *O. fhaeacantha* (nopal rastrero) y sus cinco variedades *O. fhaeacanthavar. major*, *O. fhaeacanthavar. phaecanta*, *O. fhaeacanthavar. discata*, *O. fhaeacanthavar. sinosibaca* y *O. fhaeacanthavar. nigricans*, la región más desértica, con una precipitación menor de los 200 mm por año, y una altitud entre los 500 y 1700 msnm.

En el sureste del estado: *O. contabrigiensis* o nopal cuijo y *O. engelmannii* o nopal rastrero. Con una precipitación promedio de 200 y 400 mm por año, y una altitud entre 1500 y 2500 msnm, se distribuye en el sureste y suroeste del estado: la *O. rastrera* o nopal rastrero. En regiones con una precipitación promedio de 400 mm por año, una altitud entre 1000 y 2000 msnm.

Distribuida ampliamente en todo el estado. *O. imbricata* (coyonoxtle o choya). Es una indicadora del mal manejo de los agostaderos. Utilizado como forraje en épocas críticas. Otras especies que se utilizan como forraje en épocas críticas son: *O. microdasis* (nopal cegador), *O. leptocaulis* (tasajillo), *O. violácea* (nopal morado) *O. rudifida* (cegador); entre otras.

2.1.13 Condiciones agroecológicas para el cultivo del nopal

2.1.13.1 Suelos y fertilidad

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

2.1.13.2 Salinidad

La mayoría de 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).

2.1.13.3 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), aun cuando se le puede encontrar a nivel del mar, de esta forma se justifica que algunas especies de nopal se desarrollaron muy cerca del nivel del mar como *Opuntia stricta* y otras como *O. streptacanthae* crecen sin dificultad en altitudes de hasta 2700 msnm (Sáenz, 2006).

2.1.13.4 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, en cualquier época del año y en invierno. Las raíces del nopal tienden a ubicarse a profundidades 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).

2.1.13.5 Temperatura

Los nopales pueden tolerar altas temperaturas, entre 50 o 55 °C cuando están aclimatados adecuadamente. El nopal y otras cactáceas se encuentran en lugares donde las temperaturas medias anuales se aproxima 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 genero *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 heladas de -5ª – 10 °C, sobretodo en plantas muy 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).

2.1.13.6 Precipitación

Respecto a la precipitación, el nopal es poco exigente y presenta amplios márgenes de tolerancia, debido a su fisiología y a la facultad de almacenar agua en sus tejidos. La gran mayoría de las zonas productoras de nopal tunero, en México, se encuentran ubicadas en regiones con una precipitación que oscila entre los 300 y 700 mm de lluvia anual (Sáenz, 2006).

2.1.14 Importancia forrajera del nopal

Los cactus, y específicamente *Opuntiaspp.*, han constituido una fuente de forraje extremadamente útil en tiempos de sequía, primordialmente por que proveen de energía digerible, 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 completar 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 degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy pocos cultivos logran desarrollarse y producir.

La causa principal de baja productividad del ganado de México se debe a la alimentación deficiente del mismo, principalmente en las zonas áridas y en las semiáridas donde la producción de forraje es pobre e irregular durante el año y variable en cada año. La utilización de nopal para el consumo de los animales constituye un recurso valioso en estas zonas. Esto se determinó por las condiciones de vida del nopal así como su valor nutritivo (De alba, 1971).

Al respecto Flores (1977) realizó análisis bromatológicos de diferentes especies de nopal (cuadro 2); también, comparó la producción de *Opuntia* con otras especies forrajeras, maíz forrajero y remolachas, y encuentra que el nopal tiene mayor producción de nutrientes a un costo menor en condiciones de riego y temporal.

2.1.15 Consumo del Nopal por los Animales

El consumo del nopal puede ser de diferentes maneras. Las pencas tiernas (cladodios) son consumidas en forma directa por el ganado; y las pencas maduras se aprovechan mediante la aplicación de fuego, parcialmente en la penca, quemando sus espinas (López y Elizondo, 1990), esto puede ser en pie de la planta y el ganado y la fauna silvestre puede consumirla en el mismo lugar (Flores y Aranda, 1997), otras veces se corta y transporta a un lugar donde posteriormente se le aplica fuego y se le ofrece al ganado. Esta última forma de aprovechamiento es la más recomendable, ya que se conserva el germoplasma de la planta (Ramírez *et al.*, 2000).

Cuadro 2. Análisis bromatológico de diferentes especies de nopal (porcentajes en base materia seca).

Genotipo	Materia seca	Materia orgánica	Proteína cruda	EE	Fibra	Ceniza	ELN
<i>Nopaleaspp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.50	17.21	26.21	50.70
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.10	4.32	26.55	64.43
<i>O. tenuispinta</i>	12.45	70.20	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.52	7.71	1.38	3.75	25.49	68.87
<i>O. rastrera</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	69.84
<i>O. cantabrigensis</i>	11.89	68.46	4.79	1.09	3.70	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	74.50	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>	16.10	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34
<i>O. leucotricha</i>	4.50	74.00	7.56	2.66	14.00	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	11.20	27.49	54.04
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16
<i>O. duranguensis</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91
<i>O. ficus-indca</i>	11.29	86.93	3.80	1.38	7.62	13.07	74.13

(Fuente: Flores, 1977).

EE: Extracto Etéreo. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno.

Es muy importante conocer los niveles de consumo por los animales, ya que la producción de estos, se basa tanto en la calidad como en la cantidad de nutrientes consumidos.

Dependiendo de la forma en que el nopal se suministre a los animales, va a ser la cantidad de nopal consumida. Se calcula que un vacuno consume entre 20 y 40 kg por día.

Dependiendo de la época del año (invierno, sequía o lluvias), los ovinos y caprinos en agostadero, consumen entre tres y nueve kg de nopal por día (López *et al.*, 1999; Flores y Aguirre, 1992).

En los estados de Tamaulipas y Nuevo León es común dar nopal a los ovinos, en donde con 7 kg/día mejora la lanolina en la lana. Ovinos adultos pueden llegar a consumir de nueve a diez kg/día de nopal como única ración, los bueyes de labor consumen de 50 a 90 kg/día, si no disponen de otro alimento (Lozano *et al.*, 1958). Flores y Aguirre (1992) mencionan que las vacas Jersey suplementadas con 1 kg de harinolina, consumían 50.6 kg de nopal/vaca/día, mientras que las vacas Holstein consumían hasta 75.0 kg/día. En el norte de México, en ganado bovino productores de leche estabulados, el consumo de nopal varía de 15 a 95 kg en verde/día, dependiendo de la ración suministrada. Cuando el nopal sustituye parcialmente a la alfalfa en vacas lecheras de raza Holstein, se recomienda entre el 20 y 30 % de nopal en la ración (López *et al.*, 1999).

Aunque también la utilización del nopal en la producción pecuaria presenta algunas desventajas como las siguientes (Herrera, 2011):

1. Se necesita gran cantidad de materia verde para cubrir los requerimientos nutritivos diarios del animal.
2. El nopal debe complementarse con alimento proteico.
3. El ganado a veces continua comiendo nopal sin chamuscar (enviciamiento), lo que causa daños internos y externos que pueden facilitar la penetración del gusano tornillo que es costoso de combatir.

4. Se reduce la producción total de pastura pues el nopal extrae humedad y nutrientes del suelo que pueden servir para forrajes más adecuados.
5. El ganado es más difícil de manejar en praderas que tienen nopal.
6. Hay un crecimiento de roedores dañinos que se refugian en las nopaleras.

2.1.16 Contenido nutricional

2.1.16.1 Análisis bromatológico y de minerales del nopal

El Cuadro 3 muestra los resultados de análisis bromatológico en tejidos de diferentes especies de nopal donde es de esperarse diferencias significativas entre especies, se observan datos de seis especies donde la especie *O. rastrera* mostró el nivel más alto de materia seca (M.S.) lo cual es importante para el cálculo de las dosis o raciones para el ganado y *O. cantabrigiensis* y *O. lindehimeri* mostraron los niveles más altos de proteína cruda. Las diferencias en los análisis bromatológicos están asociados con la variación entre especies como; factores fisiológicos, factores endógenos (especie, genotipo y variedad) y ambientales, tales como suelo, fertilidad del suelo, clima y estación del año. En el análisis de minerales se tiene pocos informes de estudios sobre contenido mineral de *Opuntia* en México. Los principales componentes minerales de las cenizas de *Opuntia* son calcio, potasio, magnesio y sodio, usualmente encontrados como sales y silicio. Hierro y aluminio son encontrados en trazas. En el Cuadro 2.2 se observan las medias en ppm de los macro y micro elementos, donde se evaluó el efecto de la orientación del cladodio con respecto a su posición oriente o poniente. De los elementos analizados, el Ca, Cu, Mn y Zn no alcanzaron diferencias estadísticas significativas con respecto a su posición del cladodio, sin embargo, el Fe, K y Mg si alcanzaron diferencias estadísticas. Con respecto al Fe K y Mg la posición poniente alcanzó los valores más altos del elementos siendo superiores estadísticamente a la posición oriente. La mayor acumulación de nutrimentos en los cladodios con posición poniente hace sugerir que estos elementos están relacionados con los mecanismos de captación de luz durante el día (Hernández, 2006).

2.2 Ensilaje

La fermentación anaeróbica de residuos orgánicos (producción de ensilaje) es un método comúnmente utilizado para la preservación de sus nutrientes (Kung, 2000; Rees 1997; McDonald, 1981). El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes preservados por la acción de ácidos orgánicos (principalmente el ácido láctico) los cuales son producidos por microorganismos en ambientes anaeróbicos (Woorlford, 1984). Para que una fermentación sea efectiva, requiere una proporción de materia seca adecuada (aproximadamente un 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 el 6 y 8% de carbohidratos solubles, los cuales sirven de fuente de energía para las BAL durante el proceso de fermentación (McDonald, 1981).

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

Las pérdidas del ensilaje se presentan por varios factores. Hay algunos que se detectan fácilmente como son los bordes del ensilado (parte superior y laterales) pero también hay otro tipo de pérdidas como las que se dan por respiración u oxígeno del forraje, se aumenta la temperatura; las pérdidas por fermentación, que son cuando la fermentación se detiene antes de que se haya producido el suficiente ácido láctico y los microorganismos presentes 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).

2.2.1 Ventajas del ensilaje (Hiriart, 1998):

- Es una reserva para épocas de escasez, lo que implica ensilar hierba o cultivos bajo condiciones óptimas y almacenarlos 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 forrajes para ensilarlos al comienzo de la temporada cuando ocurre el 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 efecto 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 tenga distintos valores de contenido en 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.

2.2.2 Desventajas del ensilaje (Hiriart, 1998):

- Constituye un proceso más caro que la henificación.
- Requiere del uso de aditivos para su 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.

2.2.3 Tipos de silos

- Silo Trinchera

Se construye bajo el nivel del suelo y pueden presentar pérdidas adicionales por filtración de humedad, también se les denomina silos de foso o pozo y silos de zanja, como su nombre lo indica es una trinchera, porque se abre en el suelo un hueco largo no muy profundo con paredes inclinadas afuera y lisas. Se pueden localizar en terrenos de relieve inclinado, cerca al establo y no muy lejos de los lotes del pasto que se quiere ensilar, en terrenos arenosos y pedregosos no son aconsejables.

- Silos Bunker: Son aquellos que se construyen sobre el nivel del suelo, cuyas paredes y piso pueden ser de concreto o cualquier material de la región. También se les llama silos horizontales.

- Silos de Montón: Son aquellos que no tienen paredes, se les llama también silo de pila, en esta clase de silo se amontona el forraje picado y se tapa. Es un silo muy económico pero presenta altos porcentajes de pérdidas.

Los silos horizontales (bunker y montón) deben construirse en sitios de piso firme, incluir en sus costos la adquisición de un plástico calibre 7 u 8 para proteger la masa forrajera del contacto con el suelo, aire, sol y agua, y además protegerlos de la entrada de animales.

- Silos de Bolsa: Se les conoce también como micro silos, presentan pérdidas reducidas y facilitan las labores de alimentación, almacenamiento y transporte; pueden utilizarse bolsas con capacidad para 50 o 60 kg, el calibre del plástico de estas bolsas debe ser de 7 u 8. Es una práctica muy utilizada para el pequeño productor, especialmente para lecherías, donde son pocas las áreas sembradas en pastos y existan bancos de proteína. Para proteger la bolsa es necesario introducir esta en bolsas de polipropileno (empaques de abonos y concentrados).

- Silos en Canecas y Tanques: Son aquellos donde se utilizan canecas plásticas con capacidad para 200 l y tanques de 500 y 1000 l, son económicos (una sola inversión) y facilita el llenado y apisonado del forraje, son novedosos y puede resultar una buena alternativa para el pequeño productor.

2.2.4 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 (Woolford, 1984; McDonald, 1981) las bacterias productoras de ácido láctico (BAL) constituyen el grupo de microorganismos deseados ya que tienen la habilidad de fermentar carbohidratos hidrosolubles (CHS) generando como principal producto el ácido láctico, ácido orgánico que más contribuye a la preservación del material (Merryet *al.*, 1997).

2.2.5 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 estos ácidos, 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 masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las entero bacterias. Además hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH 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 BAC 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 sin aire, 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 carbohidrasas, y microorganismos especializados, como

LactobacillusBuchneri 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 aire. 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 aire. 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 por ciento 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).

Para evitar fracasos, es importante controlar y optimizar el proceso de ensilaje de cada fase. En la fase 1, las buenas prácticas para llenar el silo permitirán minimizar la cantidad de oxígeno presente en la masa ensilada. Las buenas técnicas de cosecha y de puesta en silo permiten reducir las pérdidas de nutrientes (CHS) inducidas por respiración aeróbica, dejando así mayor cantidad de nutrientes para la fermentación láctica en la Fase 2. Durante las Fases 2 y 3, el agricultor no tiene medio alguno para controlar el proceso de ensilaje. Para optimizar el proceso en las Fases 2 y 3 es preciso recurrir a aditivos que se aplican en el momento del ensilado y cuyo uso se discutirá más adelante. La Fase 4 comienza en el momento en que reaparece la presencia del oxígeno. Para minimizar el deterioro durante el

almacenaje, es preciso asegurar un silo hermético; las roturas de las cubiertas del silo deben ser reparadas inmediatamente. El deterioro durante la explotación del silo puede minimizarse manejando una rápida distribución del ensilaje.

También se pueden agregar aditivos en el momento del ensilado, que pueden reducir las pérdidas por deterioro durante la explotación del silo.

2.2.6 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 (desdoblan 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 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. Esto 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 sobrepasa 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).

2.2.7 Características y evaluación del ensilaje

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

- 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 presenten una fermentación indeseable y/o putrefacción del material (fermentación butírica), por la presencia de aire y agua, por la cual la capa adquiere un color negro y un olor desagradable, razón por la cual hace que los animales la rechacen.

2.2.8 Aditivos para ensilaje

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

Estimulantes de 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:

2.2.8.1 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 (Peñagarico *et al.*, 1975).

2.2.8.2 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.

2.2.8.3 Inhibidores de la fermentación

Los aditivos usados para esta finalidad tienen 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 propionico: 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 fuente 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

El experimento se realizó en el mes de abril- mayo 2011, en las instalaciones de la Unidad Caprina de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila, México, la cual se encuentra localizada entre las coordenadas 25°22' latitud N y 101° 01' longitud W con una altitud de 1742msnm, temperatura promedio de 16 y 17°C y precipitación media anual de 417mm (Cantú *et al.*, 2007).

3.2 Manejo de los animales y materiales usados

Se utilizaron 10 caprinos sanos con un rango de peso vivo inicial de 13 a 16 Kg, los cuales fueron asignados al azar a los tratamientos 1 (testigo) y 2 (silo de nopal adicionado con urea y melaza), lo cuales fueron ubicados en 2 corrales de maya de acero, con piso de tierra, acondicionados con comederos y bebederos de plástico.

El periodo de adaptación de los caprinos fue de 15 días, seguido por un periodo experimental de 50 días comprendido del 15 de abril al 4 de junio del 2011. La lectura de los pesos de los animales se realizó cada 15 días. La composición de la dieta del experimento se muestra en el cuadro 4.

3.3 Recolección de nopal (*opuntia ssp*)

- ❖ La recolección del nopal se realizó en diferentes puntos de los terrenos de la universidad, donde se recolectaron un total de 4 toneladas.

El nopal se trasportó en pencas hasta el terreno elegido para hacer el silo, una vez ahí fue picado en trozos pequeños con la finalidad de tener una compactación de buena calidad.

3.4. Construcción del silo

Se buscó el terreno ideal para la elaboración del mismo, un terreno plano para no tener problemas de inundación y cercano a la unidad de trabajo, para facilitar el manejo

- ❖ Después de ser localizado el terreno se realizaron medidas de tal forma que el silo fue en forma de un cubo con una rampa para el escurrimiento del agua, las medidas de silo fueron de 2 m de ancho x 2 m de largo con una profundidad de 1.5m.
- Para el modelo del silo se utilizaron tablas, postes, una lámina, con agujeros esto para que se filtrara el agua.
- Se utilizó hule para cubrir completamente el silo
- Camioneta, para transportar el nopal
- Una basculas de 5 toneladas para pesar el nopal (que es propiedad de la UAAAN, instalada en el establo de la misma).
- Una báscula pequeña para pesar la melaza y urea
- Machetes para hacer el picado manual, carretas para transportar el nopal picado listo para ensilar.
- 10 animales que fueron los que se usaron para el experimento

Cuadro 3. Composición de la dieta experimental (%)

Ingredientes	Tratamientos	
	1	2
Nopal	4,000 kg	100%
Melaza	40 kg	10%
Urea	20 kg	5%

(Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en campo).

3.5 Análisis bromatológico

Se determinó el análisis bromatológico de cada uno de los ingredientes utilizados en la alimentación de los caprinos, de acuerdo a las técnicas propuestas por la A.O.A.C. (1980), en el que se donde se calculo el contenido de Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Cruda, Cenizas, Extracto Etéreo, Extracto Libre de Nitrógeno

3.6 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar utilizando el programa estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León(Olivares, 1993).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis bromatológico

La determinación del análisis bromatológico (Cuadro 4) de cada uno de los ingredientes utilizados en la alimentación de las cabras, fueron realizadas de acuerdo a las técnicas propuestas por la A.O.A.C. (1980), donde se determinó el contenido de Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Cruda, Cenizas, Extracto Etéreo, Extracto Libre de Nitrógeno.

Cuadro 4. Análisis Bromatológico de los ingredientes de la ración diaria de los caprinos en experimento

Ingredientes	M.S (%)	P.C (%)	F.C (%)	C.Z (%)	E.E. (%)	E.L.N (%)
Silo de Nopal	11.36	6.93	24.37	36.45	2.23	30.32
Heno Triticale	22.00	16.22	26.68	10.20	3.05	43.85
Silo Maíz	94.21	15.73	31.31	11.66	2.71	38.59

Fuente: elaboración propia, con datos obtenida en laboratorio.

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

5.3 Consumo de alimento y contenido nutricional de las raciones

En el cuadro 5 se muestra la cantidad de materia seca proporcionada a los animales en el experimento por ingrediente.

Cuadro 5. Consumo total de alimento por ingrediente (kg. MS/día)

Tratamientos	T1	T2
Silo de maíz	1.54	1.54
Heno de triticale	3.72	3.72
Silo de nopal	0.00	0.22
Total de materia seca suministrada (kg)	5.26	5.48

(Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos en campo).

T1. Testigo. T2 animales en tratamiento.

En el cuadro 6 se muestran los contenidos nutricionales de las raciones de T1 y T2 donde se puede apreciar que se incrementaron ligeramente todos los nutrientes con la adición del ensilaje de nopal (*Opuntia spp.*). La materia seca se incrementó de 61.31 a 61.72 %. La proteína cruda paso de 16.87 a 17.12%, mientras que la fibra cruda se incrementó de 30.61 a 31.49%. Por otro lado el extracto libre de Nitrógeno subió de 3.04 a 3.12%. El contenido de cenizas paso de 11.54 a 12.86% y el extracto libre de Nitrógeno de 43.51 a 44.60%.

Cuadro 6. Contenido Nutricional de las raciones (%)

	MS (%)	P.C (%)	F.C (%)	E.E (%)	CZ (%)	E.L.N (%)
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

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en laboratorio

5.3 Ganancia de peso

En el cuadro 7 se observa que los animales que estuvieron en el tratamiento con el ensilaje de nopal (T2), obtuvieron el doble de ganancia de peso a diferencia de los animales testigo (T1), lo que indicó una marcada significancia ($P < 0.01$) entre los tratamientos donde se observa una ganancia de peso de 0.141 kg/día de ganancia de peso lo que representó un 115% más en relación al testigo (0.058 kg). Estos resultados fueron superiores a los mostrados por Riveros *et al.*, (1990), en la zona semi-árida de Santiago (Chile), donde estudiaron el efecto de cambiar el heno de alfalfa por cladodios de *Opuntia* sobre el peso y consumo de agua en ovejas durante dos meses, se utilizaron 20 ovejas entre 6 y 7 años de edad, los resultados mostraron que el peso mostró pequeñas variaciones semanales ($P < 0.05$).

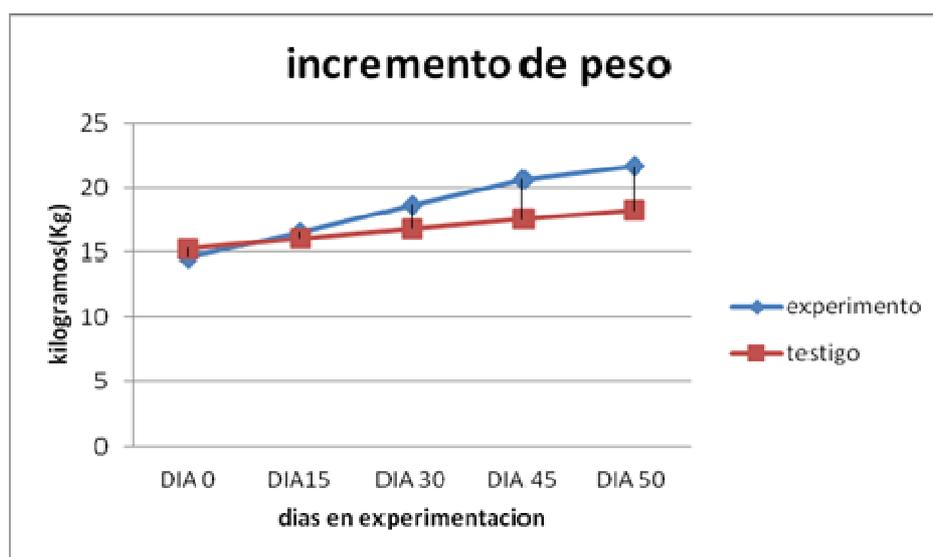
Cuadro 7. Comportamiento productivo de cacaprinos suplementados con nopal (*Opuntia spp.*)

Parámetro	Tratamientos	
	T1	T2
No. de animales	5	5
Peso Inicial promedio (kg)	15.28	14.60
Peso Final promedio (kg)	18.20	21.66
Ganancia Total de Peso (kg)	2.92	7.06
Ganancia diaria de Peso (kg)	0.0584 ^b	0.141 ^a
Consumo de Alimento (kg)	5.26	5.48

^{ab}Columnas con diferente literal indican diferencia ($P>0.01$)

(Fuente: Elaboración propia, con datos obtenida en campo)

T1. Testigo. T2 animales en tratamiento.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Figura 1. Incremento de peso de caprinos suplementadas con nopal (*Opuntia spp.*)

En la figura 1 se muestra la tendencia que tuvo la ganancia total de peso en los animales en el experimento.

Otro estudio realizado por la Unión Ganadera Regional de Guanajuato y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Ververet *al.*, 2007), mostró que no hubo significancia en el experimento realizado con ovinos donde un grupo testigo inicio con un peso promedio de 40.5 kg de PV y finalizó con 61.1 Kg de PV, manteniendo una ganancia diaria de 0.352kg mientras que para el otro grupo inicio con un peso de 40.2 y finalizo con un peso de 59.3kg obteniendo una ganancia de 0.318kg.

También Griffiths (1905), reportó los primeros resultados, señalando la importancia de *Opuntia* como fuente de alimento para animales domésticos. Estos hallazgos preliminares, fueron derivados de alimentar bovinos para carne, fueron basados en un estudio de 15 semanas: La harina de maíz + *Opuntia* es mejor que el grano de maíz+ mezcla de *Opuntia* El consumo promedio por animal fue de 48 kg. La ganancia de peso diaria fue de 0.85 kg, y se requirieron 55 kg de *Opuntia* combinados con 2.5 kg de harina de maíz para producir 1 kg de carne.

En otro estudio conducido por Fuentes (1991) en siete sitios de Coahuila, 685 animales en libre pastoreo y suplementados con rastrojo de maíz, melaza y urea fueron alimentados 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 (1984).

Estudio más recientes realizado por Shiningavamweet *al.*, (2010) con corderos Dorper alimentados con dietas de nopal secado al sol y molido (*Opuntia ficus-indica* var. *Argelia*) complementado con diferentes fuentes de nitrógeno, se evaluaron en un corral de engorda. Cuarenta y cinco corderos Dorper con un peso promedio de 22 kg fueron asignados aleatoriamente a tres dietas con 15 corderos por dieta. Para el tratamiento se subdividieron en tres subgrupos, de cinco corderos cada uno. Las dietas de tratamiento consistieron en una dieta de engorda convencional (T0) las dietas basadas en el tratamiento (T1 y T2), que contienen

otras fuentes de nitrógeno en forma de nitrógeno no proteico (NNP, urea de alimentación de grado) o la proteína natural (de girasol torta de harina). Cada Dorper se pesó al inicio de los ensayos y posteriormente, cada dos semanas para determinar la ganancia media diaria. Todos los corderos fueron sacrificados al llegar a un objetivo de peso promedio de 35 kg de peso corporal en vivo para determinar las características de la canal. Los corderos alimentados con la dieta del tratamiento T0 y T2 ganaron más rápido peso (GDP) ($P < 0.05$) y logrando un mayor ($P < 0.05$) eficiencia de la ganancia (FCR) que los corderos alimentados con dieta para el tratamiento T1. 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).

En otro estudio realizado por Sourouret *et al.*, (2010) con ensilado de nopal, orujos y salvado de trigo. Se realizó para evaluar el valor nutritivo de las dietas y la calidad de la carne de los corderos que recibieron una dieta común (es decir, el heno de avena y concentrado) y dietas que contienen ensilado de nopal. Dieciocho ovejas con un peso vivo promedio inicial de 32 kg se dividieron en tres grupos iguales y alojados en recintos individuales por 79 días, y posteriormente en jaulas metabólicas durante 11 días. Ellos recibieron una dieta de control compuesto por heno de avena y 400 g de concentrado (C-dieta), ensilaje y 400 g de concentrado (S-dieta) de la mitad de la dieta de control y ensilaje (CS-dieta). Las tres dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas. En relación a la carne de cordero no se vieron afectados por el ensilaje ($P > 0.05$). El rendimiento en canal tiende a aumentar por la incorporación de ensilado (40-43%) en la dieta ($p = 0.085$).

Se concluyó que el ensilado de nopal, orujos y salvado de trigo podría ser usado para reemplazar el heno, total o parcial de avena sin modificar las características y calidad de carne de cordero.

Por otro lado, existen investigaciones acerca de la producción de leche en rumiantes, alimentados con nopal, donde se compara la eficiencia del nopal con la otra parte de producción (leche).

Una investigación realizada en la Facultad de Agronomía, UANL y Museo Bernabé de las Casas, Mina, Nuevo León, México (2008) con el uso de nopal nativo y cultivado en alimentación de cabras lecheras presentada en el Cuadro 8, muestra que la producción de leche diaria en el grupo de cabras alimentadas con las tres dietas durante 3 períodos de 21 días cada uno no fue diferente entre tratamientos y la producción del grupo se mantuvo durante los tres meses aunque solo fue de aproximadamente 1 kg de leche diario por cabra.

Cuadro 8. Producción de leche en cabras alimentadas con nopal criollo y mejorado en Vallecillo, Nuevo León, México.

Dieta	Kg de leche día⁻¹
Criollo	1.17
Mejorado	1.07
Testigo	0.99
Periodo	
Junio	1.11
Julio	0.97
Agosto	1.13

(Fuente. Facultad de Agronomía, UANL y Museo Bernabé de las Casas. Mina, Nuevo León, México. 2008)

Por el contrario, González *et al.*, (1998) reportaron que la producción de leche de vacas Holstein decreció con el incremento de *Opuntia* en la dieta. Por lo que recomiendan usarlo solamente del 20 al 30 por ciento (en base seca) y suplementar con heno de alfalfa, avena o sorgo para obtener un balance positivo entre los costos de producción y las ganancias.

6. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este experimento, se concluye que la hipótesis planteada es aceptada ya que el tratamiento a base de nopal, urea y melaza, logró incrementar el peso de los animales que consumieron el alimento. La suplementación de caprinos con ensilaje de nopal no solo mantiene sino que también permite que se obtengan ganancias de peso.

De acuerdo con las conclusiones antes mencionadas se puede destacar que el ensilaje es una técnica de preservación de forraje y que gracias a este proceso se pudo obtener un silo de buena calidad.

Además de esto también la técnica de adicionar urea y melaza al nopal permite incrementar el contenido de proteína cruda del ensilado y el valor energético.

También es importante mencionar que los resultados del trabajo indican que es posible mejorar la calidad del nopal. Además de que el producto generado (silo de nopal) es consumido adecuadamente por los rumiantes; sin embargo, aún se requiere de mucha investigación para lograr productos estandarizados que promuevan una adecuada producción animal a bajo costo.

En base a resultados obtenidos en este trabajo se concluye que una buena alternativa para los caprinocultores de las zonas áridas y semiáridas sería la elaboración y el uso de silos de nopal adicionado con urea y melaza en épocas de sequías prolongadas.

7. LITERATURA CITADA

A.O.A.C. *official methods of analysis*. 1980. horwitz w. ed . edd. 13th. washingtonu.s.a

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.

Barrientos, P. F., 1972. *Rendimiento del nopal Ficus indica var. COPENAF-1 a diversas densidades*. Rama de genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Bernal E. J. 1991. *Pastos y forrajes tropicales, producción y manejo*. 1ª ed. Bogotá, D. C. Banco Ganadero, Pp. 320- 335.

Bravo H., H. y L. Scheinvar, L. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas*. CONACYT. Fondo de cultura económica. México, D.F.

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 la Cruz, C. J. A. 1994. *Prickly pear cactus for forage in Mexico*. In 5º Annual Prickly Pear Council, Kingsville, Texas.

Elizondo, E. J., J. López 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.

Facultad de Agronomía, UANL y Museo Bernabé de las Casas, Mina, Nuevo León, México. 2008.

Flores V. C., *El nopal como forraje*, Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 1977.

Fuentes, J. 1991. Producción y uso de Opuntia como forraje en el centro-norte de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Fuentes, R. J. M. 1996. *El nopal forrajero en el Norte de México. Taller internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal y mezquite.* CINESTAV- Irapuato, Guanajuato, México.

Garcés M. A. L. Berrio, S. Ruiz, J.G. Serna y A. F. Bulles. 2004 *Ensilaje como fuente de alimento para ganado. Revista la sallita de investigación. Colombia. Vol. 1 N^o 1 Pp. 66.*

González, S. y Mondragón C.1998. El nopal (Opuntia ssp.) como forraje. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Griffith. 1905. Utilization of Opuntia forforage in theUnitedEstates of America. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Herrera, P. C. M. 20011. *Degradación in vitro de nopal (Opuntia ficus indica y Opuntia rastrera) mediante el empleo de polisacaridasas obtenidas de microorganismos del rumen bovino. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.*

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

Hoingy H. and M. K. Woolford.1980. *Changes in silage on exposure to air. P 76 – 87, in. C Thomas (ed) Forage Conservation in the 80s. BGSO Occasional Symposium, N^o.11. Hurley. U K. British Grassland Society.*

Jonsson A., H. Linberg, P. Linguall and S Lindgren. 1990 *Effectof 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 forange additive compendium. Miller Publishing. Co. Minnesota, M.N.*

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

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

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

Oldfield, M .E., J. E and W.W. Heinemann. 1990. *Feeds and Nutriton.* 2^a Ed. Edited by Ensminger publishing company. California, USA. Pp. 233, 332 – 334.

Olivares Sáenz, Emilio. 1993. Paquetes de diseños experimentales FAVANL. Versión 2.4. Facultad de agronomía UANL, Marín, N.L.

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

Ríos. A. 1994. *El nopal y la oveja: una esperanza para la zona desértica mexicana,* Secretaria de Recursos hidráulicos (memorándum técnico núm. 96). México.

Riveros, Azócar y Laihacar. 1990. *Opuntia como alimento para rumiantes en Chile.* Universidad de Chile , Santiago de Chile, Chile.

Roes T. J. 1997. *The development of a novel antifungal silage inoculants.* Doctoral Research Dissertation, Crafield University Biotechnology Centre, U.K.

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. Commercialisation of sun-dried cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) cladodes in feedlot diets for Dorper wether lambs. The VIIth International Congress on Cactus Pear & Cochineal. Agadir, Morocco. Pp 55-56.

Sistema Americano, para la valoración de alimentos y estimación de las necesidades nutricionales del animal, NRC. Department of Animal Science. Universidad de California, Davis, USA.

Sourour A., H. Ben Salem, A. Nefzaoui, V. Vasta, and A. Priolo. 2010. Silage composed of *Opuntia ficus-indica* f. *inermis* cladodes, olive cake and wheat bran as alternative feed for Barbarine lambs. The VIIth International Congress on Cactus Pear & Cochineal. Agadir, Morocco. Pp 54-55.

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.

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

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

Wilks R. R. 1976. The nutritive value of silages in Univ. Nottingham Nutrition Conference of feed manufacturers. London. Butterworths. Num. 8. Pp. 189.

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

ANEXO. Fotos del trabajo realizado.



Pozo para hacer el silo 4 largo x 2 ancho y 1.5 metros



Recolección del nopal



Compactación del nopal después de ser picado



Momento en que se añade urea y melaza al silo



Sellado del silo



Tapado con tierra el silo



Destapado del silo a los 45 días de ser sellado.



Alimentación de los animales con silo de nopal



Pesaje de los animales en experimento