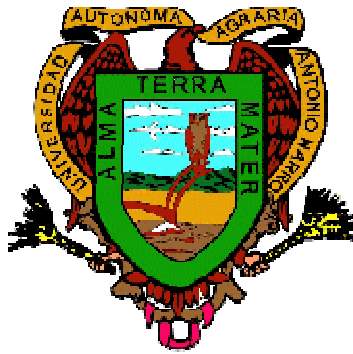


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL



**Digestibilidad *In-vitro* de Nopal (*Opuntia Lindheimeri*) a
Diferentes Tiempos de Incubación**

Por:

RODRIGO HERNANDEZ SAN JUAN

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Digestibilidad *In-vitro* de Nopal (*Opuntia Lindheimeri*) a Diferentes
Tiempos de Incubación

Por.

RODRIGO HERNANDEZ SAN JUAN

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA


APROBADA

Asesor principal



Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez

Asesor



M. C. Lorenzo Suárez García

Asesor



M. C. Manuel Torres Hernández

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Dr. Ramiro Lopez Trujillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"



COORDINACION DE
CIENCIA ANIMAL

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, 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.

A mi “**ALMA TERRA MATER**” Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro,” por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A los miembros del comité de asesoría:

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez, por guiarme durante la realización de este trabajo de tesis, por sus sugerencias en la realización y por brindarme su amistad.

Al M.C. Lorenzo Suarez García, por su apoyo en la revisión de este trabajo y sus sugerencias para la culminación del mismo.

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

A la Laboratorista de producción animal: **LCN. Laura Maricela Lara López**, por su apoyo incondicional en que lograra terminar con este trabajo mil gracias.

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

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS GENERACIÓN CX: Luis Antonio Rodríguez, Omar Alejandro, Angélica, Alfredo Ginés, Raúl calderón, Jaime Espinoza, Esmeralda Barrios, Adrian Ramos, Rolando Nieves, Juan Manuel, Edwin Antonio, Ma. Carmen, Karina Castillo, Isael Michaca, Cynthia Marisol Herrera, Dulce Anel Trujillo, Gabino Hernández, Ariday Salinas, por brindarme su apoyo y amistad.

DEDICATORIA

A mis padres:

Sr. Otilio Hernández Genaro

Sra. Catalina San Juan González

Por darme sus sabios consejos que me han impulsado a seguir el camino de la superación siendo ellos el ejemplo, enseñándome a enfrentar todos los obstáculos, como agradecimiento por su apoyo moral que me brindaron para que yo pudiera culminar mi carrera profesional. Que les estaré eternamente agradecido mil gracias por darme las mejores de las herencias.

A mis hermanos:

MC. Luis Hernández San Juan, por darme sus sabios consejos y por ser un ejemplo a seguir y por brindarme su apoyo incondicional para que yo pudiera culminar mi carrera..... mil gracias...

Canicio, Germán, Héctor Ulises, Leocadio, y Sandra Anayeli, que siempre me han brindado su apoyo y cariño y que siempre hemos estado juntos en las buenas y en las malas, con un gran amor de hermanos sin ser egoístas para que yo pudiera culminar mis estudios.

A mis sobrinos: **Wendy Cecilia, Fernanda Lizet, Juan Ángel, Adrian, y al pequeño José Luis**, por ser muy amigables y cariñosos los quiero mucho.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	2
Hipótesis.....	2
II.- REVISION DE LITERATURA.....	3
Distribución geográfica del nopal.....	3
El género <i>Opuntia</i> en las zonas áridas y semiáridas.....	4
Descripción botánica.....	5
Clasificación taxonómica.....	6
Descripción del nopal (<i>Opuntia Lindheimeri</i>), Griffiths, 1963.....	6
Manejo del nopal y su impacto ecológico.....	6
Importancia del nopal.....	9
Consumo del nopal.....	11
Calidad nutritiva del nopal.....	12
Componentes del nopal.....	15
Agua.....	15
Sales minerales.....	16
Sistema fracción fibra.....	17
Fibra en detergente neutro (FDN).....	17
Fibra en detergente ácido (FDA).....	18
Digestibilidad.....	18
Métodos para Medir la Digestibilidad.....	19
Digestibilidad <i>in-vitro</i>	19

Digestibilidad <i>in-vivo</i>	20
Digestibilidad <i>in-situ</i>	21
Cinética ruminal.....	21
Obtención del líquido ruminal.....	22
Dinámica de la degradación del modelo exponencial basado en McDonald 1981.....	23
III.- MATERIALES Y METODOS.....	25
Descripción del área de estudio.....	25
Preparación del sustrato.....	25
Procedimiento experimental.....	26
Obtención del líquido ruminal.....	26
Análisis estadístico.....	26
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
Análisis bromatológico.....	29
Digestibilidad <i>In-vitro</i> de materia seca (MS).....	30
Dinámica de la degradación.....	32
Degradación corregida con la tasa de salida del rumen.....	34
V.- CONCLUSIONES.....	36
VI.- LITERATURA CITADA.....	37
VII.- APÉNDICE.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
2.1 Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (en base a materia seca, %)	14
2.2 Composición química del nopal, durante las cuatro estaciones del año (%)	15
2.3 Contenido de agua entre especies y variedades del nopal forrajero en saltillo, Coahuila, México	16
2.4 Nutrimentos en el cultivar liso forrajero para las posiciones oriente y poniente del cladodio de nopal (ppm), (Ramírez <i>et al.</i> , 2000)	17
2.5 Dinámica estacional de las características de digestión ruminal del nopal (<i>Opuntia engelmanni</i>)	22
2.6 Análisis bromatológico del nopal (<i>Opuntia lindheimeri</i>)	30
2.7 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (MS) de nopal (<i>Opuntia lindheimeri</i>)	31
2.8. Resultados de los cálculos de la cinética de la digestión de la materia seca (MS) del nopal (<i>Opuntia Lindheimeri</i>)	33
2.9. Materia seca a diferentes tiempos de pasaje en el rumen de nopal (<i>Opuntia Lindheimeri</i>)	35

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica	Página
2.1 Comparación de de la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca del nopal (<i>Opuntia Lindheimeri</i>).....	32
2.2 Comparación de las mediciones observadas, con los valores ajustados de la digestibilidad <i>in-vitro</i> del nopal (<i>Opuntia Lindheimeri</i>).....	34

RESUMEN

En las zonas áridas y semiáridas de México que ocupan aproximadamente el 70 % del territorio nacional, el nopal ha sido reconocido por mucho tiempo ya que es un recurso estratégico o de emergencia en los sistemas de alimentación de ganado, sobre todo en aquellos sistemas basados en la utilización de los agostaderos de zonas áridas y semiáridas. Los resultados del análisis bromatológico, de la especie estudiada, indican que hay diferencia significativa ($p < 0.05$) para materia seca total de 90.14 % (MST), proteína cruda 5.65 % (PC), extracto etéreo 1.42 % (EE), cenizas con un promedio de 16.23 % (C), fibra cruda 10.54 % (FC), fibra ácido neutro 14.43 % (FDA) y fibra detergente neutro 32.28 % (FDN), en la especie cosechada en verano. La digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), donde el tratamiento T1 y T2 no presentan diferencia significativa con (89.1073 % y 86.6190 %) pero para los siguientes tratamientos (T3, T4, T5, T6, T7) si se tuvo diferencia significativa para cada uno de los tiempos de incubación ($p < 0.05$).

Para la fracción (a) que es la fracción soluble con los valores de 45.61, y para la fracción (b) es la fracción insoluble pero potencialmente degradable se obtuvo 42.14, la fracción (c) esto indica la tasa fraccional de la degradación de la fracción (b) con 0.1038 y para la suma de (a+b) que indica que es la degradación máxima potencial 87.75). Debido al tiempo expuesto del alimento a los microorganismos, en el tiempo (0.01 hrs) hay una mayor degradación de la materia seca con 84.1 % esto representa una alta degradación, por el contrario así como el tiempo avanza la degradación es menor, hasta obtener el mayor tiempo que es de (0.12 hrs) con una mínima degradación de (65.5 %).

Palabras clave: *Opuntia, Digestibilidad, Rumiante, In-vitro, Degradación ruminal.*

I.- INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas de México, que ocupan aproximadamente el 70 % del territorio nacional, es común observar periodos prolongados de sequia y cambios extremos en las condiciones agroclimáticas. Esto hace que en estas áreas marginales sean muy difíciles las prácticas agropecuarias así como los cultivos que se utilizan para alimentar el ganado, lo cual ocasiona poca disponibilidad y baja productividad de forrajes (Cantú *et al.*, 1984). El nopal es un recurso forrajero natural y originario de México. Su importancia ha sido reconocida por mucho tiempo ya que es un recurso estratégico o de emergencia en los sistemas de alimentación de ganado, sobre todo en aquellos sistemas basados en la utilización de los agostaderos de zonas áridas y semiáridas.

A México se le reconoce como el mayor usuario de nopal en el mundo, y dentro de las diferentes formas de nopal, el forraje tiene el mayor volumen de uso, con 3 millones de hectáreas de nopal forrajero silvestre y 150 mil hectáreas de explotaciones sembradas como forraje para el ganado de agostadero (Vázquez *et al.*, 1999). El nopal (*Opuntia spp*) ha tenido mayor relevancia en las regiones desérticas y semidesérticas del norte de México, ya que es común observar cambios extremos en temperaturas y períodos prolongados de sequía, con escasez de forraje. Bajo estas condiciones, los ganaderos requieren de alternativas para la alimentación de sus animales y una de estas alternativas es el nopal (Fuentes *et al.*, 2001).

En la actualidad, se tiene conocimiento que el nopal puede ser una alternativa viable para la alimentación del ganado en sistemas pastoriles e intensivas, por su adaptabilidad a los agostaderos del norte de México; sin embargo, uno de los problemas más importantes que limitan esta actividad es la falta de conocimiento y

tecnologías de los productores rurales que les permitan hacer uso racional y sistemáticos del recurso.

Por lo anterior es necesario hacer uso de los recursos naturales que se han adaptado a las condiciones ecológicas de estas zonas, tal es el caso del nopal forrajero (*Opuntia spp.*) los que representan una perfecta adaptación a condiciones de aridez y constituyen un forraje aceptado por los rumiantes de importancia pecuaria, tanto en condiciones de estabulación como de pastoreo (Flores y Aguirre, 1992).

La principal importancia del nopal, es que sirve como alimento de emergencia en regiones semiáridas, en épocas de sequia, pues las especies silvestres espinosas forrajeras son muy abundantes pero de crecimiento más lento. De manera que se puede asegurar que en los suelos donde otras forrajeras no prosperan por falta de agua, las nopales son preciosos recursos para el ganado por ser plantas capaces de utilizar con gran eficiencia cantidades pequeñas e irregulares de humedad (Flores, *et al.*, 1980).

Objetivo

El objetivo de este trabajo es conocer la calidad nutritiva y determinar la digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS), de *Opuntia Lindheimeri*, a diferentes tiempos de incubación. Además de estimar la degradación ajustada por la velocidad de paso.

Hipótesis

Ha: El nopal *Opuntia Lindheimeri* tiene una alta digestibilidad en el rumen de los bovinos.

Ho: El nopal *Opuntia Lindheimeri* no tiene una buena digestibilidad en el rumen de los bovinos

II.- REVISION DE LITERATURA

Distribución Geográfica del Nopal

En México el nopal se encuentra en casi todo el territorio nacional, sin embargo su importancia pecuaria está localizada en el norte del país (López y Elizondo, 1988), se distinguen cuatro zonas nopaleras del país.

Zona centro sur: esta área comprende los estados de México, Puebla, Querétaro y Oaxaca, caracterizada por nopales de porte alto y productores de verdura y fruta y forraje en segundo término. Las especies más explotadas son: *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*, *Opuntia amyclaea* y sus múltiples variedades.

Zona del altiplano: comprende los estados de zacatecas y San Luis Potosí, y en menor proporción Aguas Calientes, Durango, Guanajuato y Jalisco. Durango presenta plantas de porte arbóreo como la *Opuntia streptacantha* y la *Opuntia leucotricha* así como las especies de porte arbustivos como la *Opuntia robusta* y *Opuntia cantabrigiensis*, y en menor densidad las rastreras como la opuntia rastrera.

Zona norte: es la región del desierto de Chihuahua, donde se desarrolla el nopal forrajero en forma natural, formando microclimas se encuentran plantas de porte arbustivo y arbóreo como la *Opuntia streptacantha*, *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus-indica*, las cuales solo producen frutos de mala calidad comercial.

Zona de la planicie costera del golfo: Comprende el noreste de México, el noreste del estado de Coahuila, parte de Nuevo León y Tamaulipas, son especies de porte arbustivo como *Opuntia lindheimeri* y sus variedades.

El Género Opuntia en las Zonas Áridas y Semiáridas

Las características climatológicas que caracterizan a estas regiones, que por lo general son muy extremosas, aunadas a las características fisiográficas variables, han beneficiado la formación de gran cantidad de los hábitats ocupadas por las especies adaptadas a estos ecosistemas. Las especies del género opuntia, que son las que mejor se adaptan y sobresalen en estas condiciones ambientales, tienen una amplia distribución y abundancia asociativa con los diferentes tipos de vegetación.

Para la Republica Mexicana se reportan aproximadamente 104 especies del género opuntia, de las 258 especies reconocidas, de las cuales en el estado de Coahuila se han reportado 37, comprendidas por 25 especies y 12 variedades. Las especies más comunes por estar presentes en la mayor parte de estos estados del norte de México son: *Opuntia lindheimeri* y la *opuntia phaeacanta*, que junto con sus variedades son más utilizadas como forraje (Bravo, 1978; Elizondo et al., 1987), siendo su distribución la siguiente:

Oriente. Caracterizado por ser una de las regiones muy húmedas con más de 400 mm de precipitación por año, y una altitud menor a los 1000 msnm, en el cual se distribuye *Opuntia lindheimeri* y sus cuatro variedades (*lindheimeri*, *aciculata*, *subarmata* y *tricolor*).

Occidente. Es la región considerada la más desértica, con una precipitación menor de los 150 mm por año y una altitud que va de los 1700 msnm, por lo que se distribuye *Opuntia phaeacantha* y sus 5 variedades (*Phaeacantha*, *discata*, *spinosibaca* y *nigricans*).

Sureste. Esta región tiene una precipitación promedio anual entre los 200 y 400 mm, y una altitud entre los 1500 y 2500 msnm, en donde se distribuye *Opuntia cantabrigiensis* y *Opuntia engelmannii*.

El nopal *Opuntia rastrera*, se distribuye en el sureste y suroeste del estado de Coahuila, en las regiones que tienen una precipitación promedio de 400 mm por año, y entre los 1000 y 1200 msnm.

El *Opuntia imbricata* se encuentra distribuida en todo el estado de Coahuila, siendo una especie indicadora de un mal manejo de agostaderos, esta especie solo se utiliza como forraje en épocas críticas. Otras especies como el *Opuntia microdasys*, *Opuntia leptocaulis*, *O. violácea*, *O. rufida* entre otras que son utilizadas como forraje en épocas críticas. El *O. microdasys* y *O. rufida* son especies muy apetecibles por los ovinos caprinos pero presenta un problema debido a la abundancia de espinas pequeñas, que dificulta su manejo y ocasionan daños a los ojos de los animales (Elizondo *et al.*, 1987).

Descripción Botánica

La siguiente clasificación es la que establece Britton y Rose, (Bravo, 1978) y que en la actualidad es la más aceptable.

Clasificación Taxonómica

REINO.....*Vegetal*
SUBREINO.....*Embryophita*
DIVISIÓN.....*Angiospermae*
CLASE.....*Dicotyledonea*
SUBCLASE.....*Dialipetalas*
ORDEN.....*Opuntiales*
FAMILIA.....*Cactaceae*
SUBFAMILIA.....*Opuntioideae*
GENERO.....*Opuntia*
SUBGENERO.....*Platyopuntia*
ESPECIE.....*Lindheimeri.*

Descripción del nopal (*Opuntia Lindheimeri*), Griffiths, 1963.

Cactus de porte arbustivo, tan ramificado que suele ser más ancho (hasta 3 m) que alto (no supera 1 m). Los segmentos de 10-12 cm ovoides o redondeados, de color verde pálido o glauco. Grandes areolas muy juntas entre sí, con numerosos cladodios. Espinas de color marrón con la punta amarilla, 3.5 a 5 cm de longitud, delgadas, aciculares y frecuentemente replegadas. Flores doradas, estigma con 8 a 10 lóbulos verdosos.

Manejo del Nopal y su Impacto Ecológico

En las zonas áridas y semiáridas del país, el nopal es un alimento importante para el ganado bovino, caprino, ovino, asnal y fauna silvestre, debido a su alta palatabilidad y alta digestibilidad, los productores la prefieren como forraje ante otras plantas del desierto, por su manejo accesible en el campo, resistencia al

transporte, abundancia, tasa de recuperación a la cosecha y productividad. El nopal posee características que lo hacen una planta importante por su facilidad de establecimiento, se protege con sus espinas, es atractiva para el ganado por estar siempre verde, sirve como forraje y ayuda al equilibrio ecológico, tiene larga vida, alta producción de biomasa, tolerante al frío y al calor, alta adaptabilidad a diversos suelos, resistentes a enfermedades, no compite con los pastos nativos, por su sistema radicular, bajo costo de mantenimiento y alta disponibilidad (Fuentes, *et al.*, 1997).

En los estados de Coahuila y Nuevo León, en épocas de estiaje o sequías prolongadas, los ganaderos y estableros, usan diversos métodos de cosechar el nopal. En los ranchos es común la utilización in-situ por los bovinos, ovinos, caprinos y la fauna silvestre, de esta forma, causan daño llegando a provocar la muerte por inanición; los pastores suelen despuntar las pencas, de esta forma los animales pueden cosechar con espinas; también se usa chamuscar directamente a la planta, así los animales la pueden consumir casi completamente, la cual muere fácilmente, al ganado ovino y caprino que son pastoreados consumen gramíneas y arbustos, pero cuando el pastor localiza plantas de nopal los chamusca con chamuscador de gas para quitar las espinas, y ser consumidas por los animales. Otra práctica es cortar las pencas y chamuscarlas in-situ con leña por ofrecerse al ganado sin espinas (López *et al.*, 1996).

Lozano, (1958) describió las formas más usuales de aprovechar el nopal espinoso como forraje de la siguiente manera:

- ✚ Amontonar hierba seca debajo de la planta y se le prende fuego. Esto destruye a la planta, dado a lo intenso del fuego lo soporta el tronco.

- ✚ Cortar las ramas y chamuscarlas de ambos lados, se pica antes de darles al ganado.

- ✚ Cortando solo el borde de la penca donde hay mayor cantidad de espinas y ofrecerlo al animal.

- ✚ Chamuscar en pie o cortarlos, con chamuscador.

- ✚ Usando una picadora de nopal.

- ✚ Cocción en calderas; esta es utilizada en los estados unidos, en México no se usa por su alto costo.

- ✚ Dejar fermentar el nopal picado, con el objetivo de ablandar las espinas.

Las formas tradicionales que se utilizan para cosechar el forraje en las nopaleras naturales, son destructivas, ya que se destruye la planta al extraer y porqué se tiene mayor extracción que recuperación, debido a que se carece del sistema de manejo ecológico con la sobre explotación. Fuentes y Murillo (1996), visualizan un futuro con mayor desertificación para estas zonas, y proponen utilizar el nopal

para reforestar las zonas desérticas del norte de México, para evitar un posible desastre ecológico.

Importancia del Nopal

El nopal que se utiliza como forraje, posee importancia a escala mundial; así es posible mencionar algunos de los países en donde se han realizado trabajos sobre el uso del nopal forrajero: África, África del sur, Argelia, Argentina, Brasil, Estados Unidos, Guatemala, Italia, México, Túnez.

La característica de adaptación que tiene el nopal para resistir la sequía es por ser una planta xerofita y algunos caracteres xeromorfoicos están relacionadas en forma directa con la mayor eficiencia de absorción del agua mediante un amplio sistema radicular muy superficial y de almacenamiento de agua mediante un tejido especializado y con regulación de transpiración mediante una cutícula gruesa, estomas pequeños y protegidos, otra importante característica fisiológica es la rapidez con la cual las espinas reaccionan a las lluvias así como su alto índice de deficiencia de transpiración (Ramírez *et al.*, 2000).

Por lo tanto, el nopal es usado como fuente de forraje durante la sequía, así se aprovecha en sus mejores condiciones, cuando tiene menor cantidad de agua, también hay variaciones con la edad de la penca (Flores y Aguirre, 1992). Aun cuando la calidad nutritiva de cactus como fuente de proteína es baja con respecto a otras plantas, su calidad de agua puede ser importante como un alimento de emergencia para el ganado, (Vega *et al.*, 1997). No obstante, los valores nutritivos del nopal forrajero son muy bajos y generalmente están relacionados con la materia seca, proteína cruda, fibra cruda, y el volumen de fósforo (Dossantos *et al.*, 1994), por otro lado el cultivo de la planta puede usarse como una herramienta

eficaz para mejorar la productividad y calidad de la planta y rendimiento de la materia. Guevara *et al.* (1999) Menciona que la eficiencia de la producción de cactus con los factores de lluvia usada es de: 15 kg de MS/ha/año en un rango de de 1 a 300 mm de lluvia, 18.8 kg/ha de MS/año de 1 a 300 mm y 225 kg/ha de MS/año con lluvias de 1 a 400 mm, por lo tanto el nopal depende de la frecuencia de la lluvia (Dougherty *et al.*, 1996).

En promedio su producción es de 1166 kg/ha como alimento potencial y también aumenta la disponibilidad de especies de forraje deseables (Mueller y Forwood, 1994; y Mueller *et al.*, 1994). La producción en el estado de Coahuila puede ser de 5 a 15 toneladas de base real al quinto año de establecida la plantación (López *et al.*, 1998).

El nopal no solamente tiene importancia en los aspectos económicos, sino también en la conservación del suelo, pues protege la capa fértil contra la erosión debido al tipo de sistema radicular que posee (Pimienta, 1993; Mohamed *et al.*, 1996), y mejorar las propiedades físicas de la tierra e incluso la filtración del agua (Gardiner *et al.*, 1999).

Además, cuando el nopal se encuentra en forma silvestre contribuye a un nicho ecológico (Mohamed *at al.*, 1996), en el que crecen bastantes gramíneas ya que producen espinas afiladas y largas y la vegetación que lo rodea esta indisponible al ganado cerca del 50 % (Mueller *et al.*, 1994).

Godínez *et al.* (1997) menciona otra importancia del nopal donde demuestra que la diversidad en el tipo de rizobacterias no es exclusiva de las raíces de las gramíneas y leguminosas, y que también pueden coexistir en las plantas xerofitas.

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 la cortan y transportan 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).

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 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).

Calidad Nutritiva del Nopal

Es muy importante conocer la calidad nutritiva de una especie forrajera ya que con esa información se puede emplear adecuadamente para la alimentación de las diferentes especies animales. Barbagallo y Espagna (1999) hacen mención sobre las concentraciones del aceite de las semillas del nopal *Opuntia ficus indica* var. Amarillo que contiene baja concentración de ácido linoleico y oleico, mientras presentan una concentración más alta en el linolenico.

El nopal se considera un alimento pobre en nutrientes y fibra pero rico en agua, para los habitantes de las regiones áridas, ya que les permite subsistir y mantener a sus animales sobre todo en la época de la sequía (invierno), se considera una dieta solo de mantenimiento en conjunto con esquilmos agrícolas e industriales, por no cumplir con los requerimientos nutricionales de los animales domésticos.

El nopal es bajo en contenido de proteína cruda (5.1%), pero por su gran disponibilidad, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, que es usado como forraje durante todo el año (Murillo *et al.*, 1994; Ramírez *et al.*, 2000).

Weber *et al.* (1996) encontraron que el nopal contiene 0.5 % a 0.9 % de proteína y su fruta de 0.8 % a 3.4 % de proteína. Flores y Aguirre (1992) hacen el análisis bromatológico de diferentes especies de nopal (cuadro 2. 1.) en los que reportan resultados muy variados según los diferentes géneros (*Opuntia* y *Nopalea*), especies del genero *Opuntia*, y variedades dentro de una misma especie *Opuntia ficus-indica*.

La variación de los nutrientes del nopal en relación en la época del año, cambian de acuerdo a los factores ambientales a que se exponen (suelo, precipitación, temperatura y duración del día), y son los que determinan la cantidad nutricional de las plantas, lo cual los resultados de proteína para cada especie es independiente del lugar estable, humedad disponible antes de cortarse y fecha de colección de las muestras (Carreras *et al.*, 1997), en relación en la estación del año sobre la cantidad de nutrientes digestibles del nopal es también variable de 0.2 o 0.3 %, 0.3 a 0.4 %, para proteína cruda (PC). De 0.08 a 0.12 %, 0.15 a 0.16 % para extracto etéreo (EE) de 3 a 5.5 %, 6.5 a 11 % para fibra cruda (FC) y de 0.4 a 1 %, 0.8 a 2% para extracto libre de nitrógeno (ELN), en las estaciones de invierno-primavera y verano-otoño respectivamente ya que esta relación es indirecta por que los factores ambientales determinan el diferente crecimiento y desarrollo de las plantas (Flores y Aguirre, 1992). También indican la determinación total de nutrientes digestibles para el nopal *Opuntia Fircus Indica var. F1*, 4.82 % materia seca (MS), 6.58 % materia orgánica (MO), 0.32 % PC 0.14 % EE, 5.67 % ELN y 7.13 % total de nutrientes digestibles. Donde se considera que por su energía digestible debe incluirse en el nivel de los forrajes toscos.

Karim *et al.* (1998) señala que la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, y Cu en los cladodios de nopal están correlacionados con el volumen de nutrientes de los cladodios. Ramírez *et al.* (2000) Realizaron un estudio sobre el nopal (*Opuntia engelmannii*), obteniendo que para las cuatro estaciones (cuadro 2.2.) el contenido de cenizas fue similar en las estaciones de otoño y primavera, pero ambas fueron mayores en el verano y el invierno y el contenido de proteína

resultado más bajo, los minerales Ca, Mg, K, Mn, Fe, Zn, tuvieron concentraciones en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos del ganado de carne en crecimiento con excepciones del P, Na, y Cu.

Cuadro 2. 1. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (en base a materia seca, %).

Genotipo	Materia Seca	Materia Orgánica	Proteín a Cruda	Grasa Cruda	Fibra	Cenizas	E.L.N	Autor
<i>Nopalea spp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.50	17.21	26.21	50.70	Griffths hare, 1963
<i>O. crysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.10	4.32	26.55	64.43	Palomo, 1963
<i>O. tenuispina</i>	12.45	70.20	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	“
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.49	68.87	“
<i>O. rastreza</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>	11.89	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. lindheimeri</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. streptocantha</i>	16.10	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	Griffths hare, 1963
<i>O. leucotricha</i>	4.50	74.00	7.56	2.66	14.00	26.00	49.78	“
<i>O. imbricatha</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	Baurer y flores, 1969
<i>O. fircus indica</i>								“
variedades:								“
Var. Oro amarillo	11.29	86.93	3.80	1.58	7.62	13.07	74.13	“
Var. Oaxaca	10.16	84.60	3.11	1.24	8.00	15.40	72.25	“
Var. N° 1	8.07	77.96	5.24	1.52	7.82	22.04	63.38	“
Var. Forrajera	7.96	80.08	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	“
Var. Tapona	8.00	81.12	6.88	1.00	-----	8.88	81.25	Villarreal, 1958

Fuente: Flores y Aguirre, 1992

ELN □ Extracto Libre de Nitrógeno.

Cuadro. 2.2. Composición química del nopal, durante las cuatro estaciones del año (%).

Concepto	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Media anual
Materia orgánica	79.1	76.6	80.1	74.9	77.5
Cenizas	20.9	24.6	19.9	25.2	22.5
Proteína cruda	6.6	6.1	6.7	5.1	6.0
Fibra en detergente neutro (FDN)	37.2	37.6	36.7	36.4	36.8
Fibra en detergente ácido (FDA)	13.6	13.1	12.9	14.9	13.6
Celulosa	12.8	12.6	12.0	12.7	12.5
Hemicelulosa	24.1	24.0	24.3	21.9	23.6
Lignina	0.8	0.4	0.9	2.2	1.1
Cenizas insolubles	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4

En base seca.

Fuente: (Ramírez *et al.*, 2000).

Componentes del Nopal

Agua

El nopal a través del tiempo ha tenido que adaptarse a las condiciones extremas que caracterizan a las zonas áridas y semiáridas del norte de México, por lo que se ha convertido una fuente de almacenamiento de agua administrándola celosamente durante los meses de sequía. En pencas jóvenes y cultivadas menores de un año (*O. ficus indica*), el contenido de agua puede variar hasta un 93% y en variedades silvestres (*O. imbricata*), varía hasta en 70 % en épocas de sequía, como se muestra detalladamente en el cuadro 2.3, (López *et al.*, 1998).

Cuadro 2. 3. Contenido de agua entre especies y variedades del nopal forrajero en saltillo, Coahuila, México.

Especie	Contenido de agua	
	%	
	Máxima	Mínima
<i>O. fircus indica</i> (nopal de catilla)	93	88
<i>O. cantabrigiensis</i> (nopal cuijo)	84	68
<i>O. lindheimeri</i> Var. Tricolor (nopal cacanapo)	86	72
<i>O. lindheimeri</i> Var. Subarmata (nopal cacanapo)	87	76
<i>O. imbricata</i>	84	70

Fuente: (Ramírez *et al.*, 2000).

Sales Minerales

Es importante conocer el contenido de cenizas de los nopales. Son embargo, son pocos los estudios que se han realizado tanto en el país como en el mundo, los pocos reportes que existen, son citados por (Bravo *et al.*, 1978), en su libro las cactáceas de México.

Los principales componentes de minerales de las cenizas de *Opuntia* son calcio, potasio, magnesio, y sodio, usualmente encontrados como sales y Silicio. El hierro y aluminio son encontrados en trazas. En el (cuadro 2.4) se observan las medidas en ppm, de los macro y micro elementos, donde se evaluó el efecto de orientación del cladodio con respecto a su posición oriente, poniente.

Cuadro 2.4. Nutrimientos en el cultivar liso forrajero para las posiciones oriente y poniente del cladodio de nopal (ppm), (Ramírez *et al.*, 2000)

Elemento.	Oriente	Poniente
Fierro	29.903 b	41.898 a
Cobre	3.163	3.283
Manganeso	16.170	21.993
Zinc	7.698	8.347
Calcio	7461.1	8553.1
Magnesio	6805.2 b	9097.0 a
Potasio	28086.7 b	36767.5 a
Fosforo	328.6	364.2

ab: Letras diferentes en un elemento indica que hay diferencia significativa.

Sistema de Fracción Fibra

Fibra en Detergente Neutro (FDN)

Este procedimiento de fibra detergente neutro es para determinar los componentes de la pared celular que no son solubles como la lignina, celulosa y hemicelulosa, el cual es un método rápido para fibra total en alimentos fibrosos vegetales, ya que estos componentes se digieren lentamente y en diferentes porcentajes en el rumen (Ensminger *et al.*, 1990; Schofield *et al.*, 1994).

Aparentemente, divide la materia seca al punto de que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación microbiológica para tener el

aprovechamiento. Este método no puede aplicarse a los alimentos que tienen un alto contenido de proteína y bajo en fibra (Tejada., *et al.*, 1985).

Fibra en Detergente Acido (FDA)

El procedimiento de fibra en detergente ácido permite una rápida determinación de lignina y celulosa en los alimentos (Van Soest, *et al.*, 1994). La diferencia entre el valor de las paredes celulares y la fibra detergente ácido, da una estimación del valor de la hemicelulosa, ya que esta diferencia también incluye una fracción de proteína adherida a las paredes celulares. Este método también se emplea como paso preliminar en la determinación de lignina (Tejada *et al.*, 1985).

Digestibilidad

La digestibilidad de un alimento es la propiedad que posee de ser utilizado en mayor o menor grado por los organismos. Se puede definir como la porción de alimento que no es excretado en las heces, el cual se supone ha sido absorbido; puede expresarse como coeficiente de digestibilidad de la materia seca, en porcentaje (Mc Donald *et al* 1975). Las pruebas de digestibilidad, además de costosas son muy tardadas y requieren de grandes cantidades de alimento, debido a esto se han desarrollado métodos que estimen la digestibilidad de forma indirecta o por métodos *in-vitro* (De alba *et al.*, 1980).

Existen los métodos para estimar la digestibilidad de los alimentos para el ganado: en animales de estómago pequeño, se puede dar alimento añadiendo una tintura como marcador, para que salga en las heces y poder definir el momento de inicio

y final de recolección de las mismas, y así poder analizar el alimento problema; en los rumiantes, no es posible esta aplicación porque el alimento se mezcla con otros en el rumen y tienen variación en el tiempo de salida las heces. Por otro lado se discute esta aplicación en los rumiantes por dos grandes razones, una es la energía en gas butano, que no aparece en las heces, pero no son eructados, no todo el contenido en heces, son residuos alimenticios, pueden ser restos celulares que contienen nitrógeno (Mc Donald *et al.*, 1975).

Métodos para Medir la Digestibilidad

Digestibilidad *In-Vitro*

Este sistema de digestibilidad in-vitro, se lleva a cabo en dos etapas, en la primera de ellas se realiza la fermentación en un sistema cerrado, en el cual los productos de la fermentación no son removidos. El proceso de la fermentación lo realizan los microorganismos que se añaden al líquido ruminal utilizado como inóculo. Sin embargo en estas condiciones la fermentación no refleja de ninguna manera lo que sucede realmente en el rumen, por ser un sistema abierto de condiciones muy especiales, por lo que, es incorrecto el término “rumen artificial” para describir esta técnica, con el fin de mantener el pH, óptimo en la primera etapa (rango 6.7 a 7.0) y crearle las condiciones adecuadas a las bacterias ruminales especialmente las celulolíticas, se proporciona una solución amortiguadora del pH, que simula la saliva del rumiante. En la segunda etapa de la técnica se realiza la digestión con pepsina, en un medio ácido añadiendo HCL, se elimina la proteína microbiana existente dejando únicamente la materia seca no digerida lo que sucede en esta etapa se compara a lo que sucede en el abomaso (Llamas y Tejada, 1990).

La serie de todos en los procedimientos de la técnica de digestibilidad in vitro, es una fermentación anaerobia de un sustrato de la muestra, con licor ruminal filtrado y mezclado con una solución amortiguadora que simula la saliva del rumiante.

A diferencia del rumen en los sistemas in vitro no hay un suministro continuo de saliva que podría proporcionar el nitrógeno, por eso es importante suministrar todos los nutrientes necesarios, particularmente amoníaco que podría ser limitado en los forrajes de pobre calidad, hay poca oportunidad para los nutrientes digeribles escapar a la fermentación (Van Soest *et al.*, 1994).

Digestibilidad *In-Vivo*

Para determinar la digestibilidad a través de esta técnica es necesario contar con jaulas individuales de madera o metálicas que permitan la colección de las heces. Se recomienda un periodo de adaptación de 7 a 12 días. Los animales se deben pesar al principio y al final de la prueba y desparasitarse antes de iniciar el periodo o tiempo de adaptación.

El alimento, durante este periodo y durante la colección se suministra en dos raciones (mañana y tarde), y los residuos que no son consumidos por los animales, se deberán retirar diariamente. La colección de las heces se empieza dos días después de iniciar la colección de residuos de alimento y continuarse por dos días más, después de finalizar la colección de los mismos.

Los residuos de alimento de cada animal deben pesarse diariamente y en una submuestra y determinar MS, la cual puede utilizarse posteriormente para análisis químico (Rodríguez y Llamas, 1990).

Digestibilidad *In-Situ*

Para determinar la digestibilidad del alimento o ingrediente a evaluar, mediante esta técnica, se requiere disponer de rumiantes fistulados, para poder introducir las muestras de alimento. Estas muestras de alimento con peso y composición conocidas mediante el análisis se colocan en bolsas de nylon con porosidad que permita la entrada de los microorganismos existentes en el líquido ruminal y que les permita actuar sobre las muestras, posteriormente se mide la desaparición a través de intervalos periódicos en un tiempo aproximado de 96 horas, este tiempo es variante, para que actúe el líquido ruminal, pasando a evaluar el tiempo y cambios en la composición (Llamas y Tejada, 1990).

Cinética Ruminal

En la nutrición de rumiantes se mide el volumen de la digesta en el rumen y la tasa de flujo. Esta última determina el tiempo de exposición del alimento a los microorganismos (Castellanos et al., 1990). El estudio de la cinética *in vivo* es complicado por la variable tasa de paso, tamaño de partícula y la magnitud y la tasa de reducción del tamaño de la partícula. Los modelos de cinética *in vivo* proponen una oportunidad de síntesis de entendimiento del sistema animal. Sin embargo, las interacciones forman mucha interpretación e incorporación de los datos *in vitro* dentro de los modelos *in vivo* de la dificultad de la digestión ruminal (Fisher et al., 1989).

Ramírez et al., (2000) menciona que la materia seca (MS) soluble perdida durante el lavado de las bolsas de nylon (a), la MS degradable (b), en el rumen de los borregos, la degradabilidad potencial (a+b) de la MS y la tasa de degradación de

la MS (c), fueron más bajas durante la primavera que en las otras estaciones (cuadro 2.5). En el tiempo en que tardaron las bacterias del rumen en iniciar la degradación de MS no fue diferente entre estaciones. Y durante el verano el nopal tuvo la más alta degradación efectiva de la MS (DEMS), sin embargo, durante la primavera se observó la más baja.

Cuadro 2.5. Dinámica estacional de las características de digestión ruminal del nopal (*Opuntia engelmannii*) (Ramírez et al., 2000).

Concepto	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
a, %	43.5	42.5	41.4	40.2
b, %	35.5	35.6	35.6	33.8
a + b %	78.9	77.3	73.3	73.9
c, % / h	13.6	11.7	11.7	11.4
Lag time, h	3.8	3.5	3.7	3.4
DEMS, 2 % h	71.7	70.4	67.4	67.7

a = fracción de la MS perdida durante el lavado; b = fracción de la MS degradable; a + b = fracción de la MS; c = tasa de degradación de la MS; Lag time = tiempo de retardo en el inicio de la degradación de la MS; DEMS = degradación efectiva de la MS a una tasa de recambio ruminal de 2 % h; en base seca.

Obtención del Líquido Ruminal

Este tipo de animales como los borregos o novillos, es recomendable cuando interesa hacer estudios intensivos para pruebas de digestibilidad in-vitro. En este último, con una fistula de diámetro grande donde se pueda introducir la mano o un recipiente pequeño, para obtener todo el material necesario, cuando la determinación se va a empezar es necesario evitar el acceso de los animales al agua y el alimento por tres horas antes del muestreo (Llamas y Tejada, 1990).

Dinámica de la degradación del modelo exponencial basado en McDonald 1981

Para determinar la dinámica de degradación se utiliza la ecuación de McDonald (1981), esta ecuación proporciona un medio útil para estimar las tasas de desaparición y la degradabilidad potencial de las materias y los constituyentes alimenticios (Theodorou, *et al.*, 1993).

Esta ecuación se ha utilizado en innumerables investigaciones con el fin de determinar la desaparición de materia seca en distintos horarios o en otros casos la acumulación de gas cuando es utilizada la técnica de la degradación por producción de gas.

Para evaluar la dinámica de la degradación ruminal, los promedios de la degradabilidad por cada tiempo, se ajustan a la función exponencial propuesta por McDonald (1981), que corresponde a la siguiente:

$$Y = a + b (1 - \text{EXP} (- c t))$$

Donde:

Y = material degradado en el tiempo t (%)

a = material soluble o rápidamente degradable.

b = material insoluble, pero degradable en el tiempo t.

c = tasa fraccional de degradación de la fracción b.

t = tiempo de fermentación o degradación (horas)

a+b = degradabilidad potencial o extensión de la fermentación.

100 - (A+B), la fracción no degradable en el rumen.

$$DE = A + \frac{BC}{(C+K)} e^{-((C+K)*T)} \quad \text{McDonald, (1981)}$$

Donde:

DE = degradabilidad ruminal efectiva

a, b y c = valores determinados en la ecuación anterior

k = tasa fraccional de pasaje desde el rumen

t = fase de retardo en la fermentación (lag time).

La degradación efectiva correspondiente a la degradación potencial máxima (A+B) ajustada por efecto de la tasa fraccional de pasaje desde el rumen (K), se calculó a través de la relación:

$$A + \frac{B*C}{(C+K)}$$

III.- MATERIALES Y METODOS

Descripción del Área de Estudio

El análisis químico se efectuó en el laboratorio de producción animal y en la unidad metabólica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Municipio de Saltillo, Coahuila. Los cuales se encuentra en las coordenadas, 25° 22' y con una latitud norte de 102 ° 00' longitud oeste. Con una altitud de 1742 msnm.

Teniendo una temperatura media anual de 19.8 °C y una precipitación total media anual de 298.5mm. Cuenta con un tipo de clima muy seco, con invierno fresco y extremoso con lluvias en verano y una precipitación invernal superior de 10 % del total anual. Con una humedad relativa que alcanza es de 80 % en los meses lluviosos y el 30 % en los periodos secos como promedio (Mendoza, *et al.*, 1983).

Preparación del Sustrato

El material biológico fue seleccionado en San Rafael Nuevo León de la variedad *Opuntia Lindheimeri*. Que son utilizadas como forraje por los ganaderos del norte de México en épocas críticas de sequía.

Se seleccionó la planta *Opuntia Lindheimeri*, se cortaron las pencas (cladodios), se picaron en trozos para que posteriormente secar parcialmente en la estufa a 70 °C. Las muestras del nopal fueron molidas para posteriormente ser analizadas en el laboratorio.

Procedimiento Experimental

En la determinación de la cinética de la digestión de la fibra de los forrajes se utilizó la técnica de digestibilidad *in-vitro* descrita por Tilley y Terry (1963) con la modificación de Georing y Van Soest (1970) en la cual se interrumpe a diferentes tiempos de incubación T1 (72h), T2 (48h), T3 (24h), T4 (12h), T5 (6h), T6 (3h), T7 (0h) analizando a cada uno de los respectivos residuos de la fermentación.

Además, se realizó el análisis bromatológico de acuerdo al AOAC (1980) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), (Tilley y Terry, 1963).

Obtención del Líquido Ruminal

La obtención del líquido ruminal se obtuvo de un novillo fistulado. Este animal fue alimentado con heno de alfalfa con nopal para adaptar a los microorganismos del rumen durante cinco días, al novillo donador se le restringió el acceso al alimento y agua durante 24 horas antes de la extracción del líquido ruminal con el objetivo de evitar la dilución del líquido ruminal (Llamas y Tejada, 1990). Esta técnica fue realizada de acuerdo a lo señalado por Tilley y Terry (1963).

Análisis Estadístico

Para analizar la cinética de la digestión ruminal se empleó un diseño completamente al azar, con siete tratamientos y 3 repeticiones, y se utilizó un blanco como testigo.

Para la cinética de la digestión se considera el residuo de 72 horas como la extensión máxima de la digestión. Una vez finalizados los análisis estadísticos correspondientes a cada tiempo de incubación se determinó la dinámica degradativa a los resultados de la degradación *in vitro* a través del modelo exponencial basado en McDonald (1981) cuya ecuación se describe a continuación:

$$Y = a + b(1 - \text{EXP}(-c t))$$

Donde:

Y = Material degradado a un tiempo t .

a = Fracción soluble rápidamente degradable.

b = Fracción insoluble pero degradable.

$a + b$ = Potencial total de degradación.

c = Tasa fraccional de degradación de la fracción b

t = Tiempo de fermentación o degradación (horas).

$100 - (A+B)$, la fracción no degradable en el rumen.

$$DE = A + \frac{BC}{(C+K)} e^{-((C+K)*T)} \quad \text{McDonald, (1981)}$$

Donde:

DE = degradabilidad ruminal efectiva

a, b y c = valores determinados en la ecuación anterior

k = tasa fraccional de pasaje desde el rumen

t = fase de retardo en la fermentación (lag time).

La degradación efectiva correspondiente a la degradación potencial máxima (A+B) ajustada por efecto de la tasa fraccional de pasaje desde el rumen (K), se calculó a través de la relación:

$$A + \frac{B*C}{(C+K)}$$

Para el cálculo de la curva de la degradación se utilizó el Software: NEWAY PROGRAM (Rowett Research Institute, 1981).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Bromatológico

En el cuadro 2.6 se muestran los resultados del análisis bromatológico, de la especie estudiada, indicando que hay diferencia significativa ($p < 0.05$) para materia seca total de 90.14 % (MST), proteína cruda 5.65 % (PC), extracto etéreo 1.42 % (EE), cenizas con un promedio de 16.23 % (C), fibra cruda 10.54 % (FC), fibra ácido neutro 14.43 % (FDA) y fibra detergente neutro 32.28 % (FDN), en la especie cosechada en verano. En todos los componentes del análisis bromatológico, se encontraron altos porcentajes con respecto a los mencionados por Palomo, et al. (1963), para esta especie utilizada, aunque no se reportan las condiciones del material que fue estudiado, estas variaciones pueden deberse a factores como edad de la penca, tipo de suelo donde se desarrolla la planta o la época de corte.

De igual manera, Ramírez et al. (2000), encontraron niveles de proteína cruda (PC) de 6.1 % en *Opuntia engelmannii*, para la estación de invierno, aunque la más baja se obtuvo en primavera (5.1%).

Haciendo comparaciones con los valores obtenidos por Martínez (1994), en especies de maguey forrajero *Agave atrovirens* y *Agave salmiana* los cuales tuvieron porcentajes de PC de 4.96 y 5.43, EE de 1.64 y 1.58, FC 18.46 y 16.39, C 16.89 y 18.83, ELN 58.05, respectivamente, se puede apreciar ventaja por parte de las opuntias estudiadas. Esto es de algún modo bueno, ya que el nopal por su mayor disponibilidad y abundancia es más usado como forraje por los ganaderos de la región. Con tales resultados, se puede pensar que la especie estudiada en el

presente trabajo, tiene buen nivel nutricional para la estación de verano en que fue cosechada.

Cuadro 2.6. Análisis bromatológico del nopal (*Opuntia lindheimeri*.)

CONCEPTO (%)	<i>Opuntia Lindheimeri</i>
MST	90.14
PC	5.65
EE	1.42
C	16.23
FC	10.54
FAD	14.43
FDN	32.28

Base seca. MST = materia seca total, PC = proteína cruda, E E = extracto etéreo, C = cenizas, F C = fibra cruda, FAD = fibra ácido detergente, FDN = fibra detergente neutro.

Digestibilidad In-Vitro de materia seca (DIVMS)

En el cuadro 2.7 se muestran los porcentajes de digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), donde el tratamiento T1 y T2 no presentan diferencia significativa con 89.1073 % y 86.6190 %, respectivamente pero para los siguientes tratamientos (T3, T4, T5, T6, T7) si tuvieron diferencia significativa para cada uno de los tiempos de incubación ($p < 0.05$).

Por lo tanto esta especie de nopal (*Opuntia lindheimeri*) es una de tantas opuntias que puede ser utilizada en la dieta de los rumiantes por tener una buena digestibilidad y también por tener un (10.54 %) de FC.

Cuadro 2.7. Digestibilidad in vitro de la materia seca (MS) de nopal (*Opuntia lindheimeri*).

TRATAMIENTO	t = (hr)	DIVMS %
1	72	89.1073a
2	48	86.6190a
3	24	82.9493b
4	12	77.2230c
5	6	64.8062d
6	3	57.4305e
7	0	45.6193f

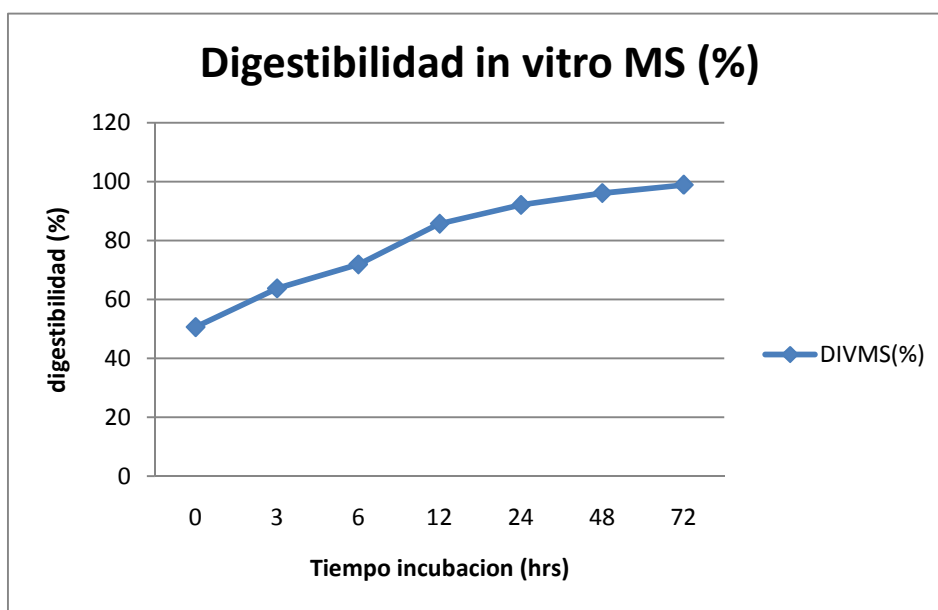
abcdef Letras diferentes en columna indican diferencia (P<0.05)

DIVMS = Digestibilidad in vitro de materia seca.

Al respecto, Gopar (2001) menciona que para la estación de primavera no se obtuvieron diferencias significativas en las especies de *Opuntia lindheimeri* variedad *tricolor* y *variedad subarmata*, lo cual indica que cualquier especie puede ser utilizada. Por otro lado, para la estación de otoño, Sánchez (2001), solo encontró diferencia significativa para la DIVMO y Montes (2003) para la estación de invierno encontró diferencia significativa solo para (DIVMS), ambos autores trabajaron con las mismas especies del presente trabajo. Charney et al., (1993) reportan valores más altos de (DIVMS) para la alfalfa de (75.1 %), para el silo de maíz (73.2 %) y para la avena (83.7 %).

Los resultados obtenidos por Valdez y Jones (1987) para la (DIVMS) en 30 zacates (65.3 % en promedio) y 25 leguminosas (58.5 % en promedio) dan lugar a suponer que las opuntias son menos digestibles que los zacates, pero son similares a las leguminosas para la estación de verano. Los resultados obtenidos por Martínez (1994) para DIVMS y DIVMO en *Agave antrovirens* (64. 52 y 57.52 %, respectivamente) y *Agave salmiana* (62.4 % y 54. 34 %, respectivamente) son más altos que los resultados de opuntias para la estación de otoño.

En la grafica 2.1. Representa la digestibilidad in vitro de la materia seca, (DIVMS), desde la hora (0) en que empezó la digestibilidad y como se fue dando la digestibilidad en mayor porcentaje hasta la hora (48) es hasta donde se mostro mayor digestibilidad y de allí siguió pero en menor proporción la digestibilidad.



Grafica 2.1. Comparación de de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del nopal (*Opuntia Lindheimeri*).

Dinámica de la degradación

Mediante la utilización del modelo exponencial basado en McDonald (1981), se obtuvieron los siguientes resultados.

En el cuadro 2.8 se muestran los resultados obtenidos utilizando el modelo de la digestibilidad in vitro de diferentes tiempos de incubación y se obtuvieron los valores reales y ajustados. Para la fracción (a) que es la fracción soluble con los valores de 45.61, y para la fracción (b) es la fracción insoluble pero potencialmente degradable se obtuvo el siguiente valor 42.14, la fracción (c) esto

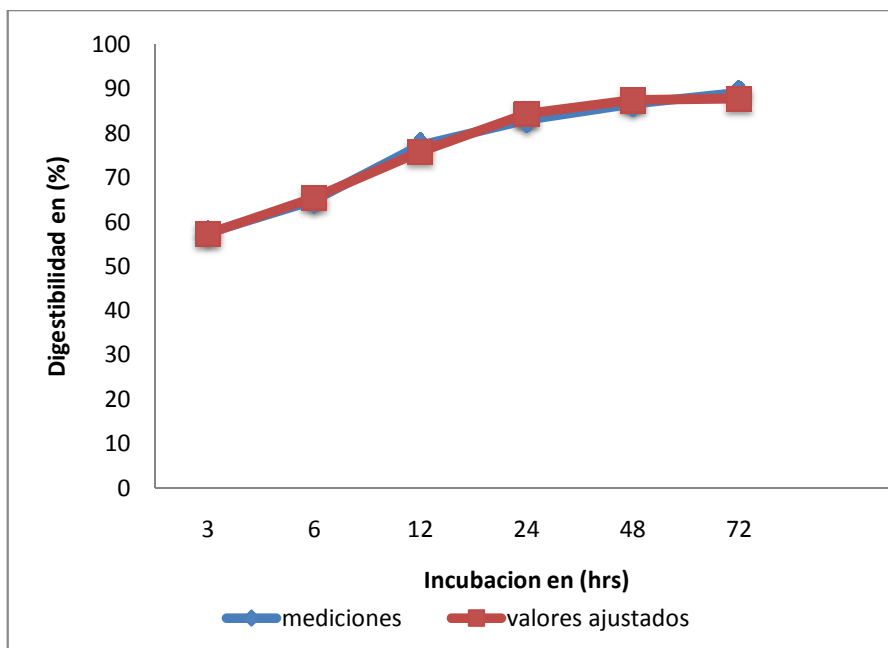
indica la tasa fraccional de la degradación de la fracción (b) con el siguiente valor 0.1038 y para la suma de (a+b) esto indica que es la degradación máxima potencial con el siguiente valor 87.75. También en la actualidad hay pocos trabajos realizados con este tipo de programas, Enríquez *et al.*, (2008), de la universidad Austral de Chile, realizó una investigación sobre la degradación de maíz en diferentes aspectos físicos (grano de maíz crudo molido, maíz rolado y maíz extruido) obteniendo los siguientes resultados: se aprecia que el maíz rolado y el maíz extruido obtuvieron una mayor fracción soluble o rápidamente degradable (a) y una menor fracción lentamente degradable (b) en comparación al maíz crudo molido, siendo más claras las diferencias respecto del maíz extruido. En el caso del maíz extruido la tasa de degradación de la materia seca c) fue mayor en comparación a la obtenida con maíz crudo y rolado. Para el caso de la degradabilidad potencial (a + b) esta fue relativamente similar para todos los tratamientos, para el caso de los dos granos de maíz procesados térmicamente, aumentó la fracción soluble y disminuyó la fracción insoluble. También se aprecia que la tasa de degradación de la fracción b en el caso del maíz extruido fue superior.

Cuadro 2.8. Resultados de los cálculos de la cinética de la digestión de la materia seca (MS) del nopal (*Opuntia Lindheimeri*).

Concepto	Constantes degradativas					
	a = 45.61	b = 42.14	a+b = 87.75	c = .1038		
Tiempos	3	6	12	24	48	72
Mediciones	57.43	64.80	77.22	82.94	86.61	89.10
Valores ajustados	57.33	65.47	75.80	84.31	87.46	87.72

a = fracción soluble; b = fracción insoluble potencialmente degradable; c = tasa fraccional de la degradación de la fracción (b).

En la grafica 2.2 se muestra la comparación de cómo la degradación de la materia seca (MS), de las mediciones obtenidas en la (DIVMS) con los valores ajustados de la degradación ya que la degradación va aumentando desde la hora (3) hasta, las (72 hrs) pero en los valores ajustados la máxima degradación es hasta la hora 48 y después desciende la degradación.



Grafica 2.2. Comparación de las mediciones observadas, con los valores ajustados de la digestibilidad *in-vitro* del nopal (*Opuntia lindheimeri*).

Degradación corregida con la tasa de salida del rumen.

En el cuadro 2.9 se muestran los resultados de la tasa fraccional del tiempo en que tarda en pasar y ser degradable la materia seca en el rumen, pues los resultados indican que mientras el tiempo sea mayor la degradación de la materia seca es prolongada y así desciende consecutivamente. Debido al tiempo expuesto el alimento a los microorganismos, en el tiempo (0.01 hrs) hay una mayor degradación de la materia seca con (84.1 %) esto representa una alta

degradación por la adaptación de los microorganismos del rumen. Pues como se puede apreciar, este valor es como la máxima degradación por el menor tiempo, pero de igual manera así como el tiempo avanza la degradación es menor, hasta obtener el mayor tiempo que es de (0.12 hrs) con una mínima degradación de (65.5 %). Esto puede deberse al tamaño de partícula del alimento,

Cuadro 2.9. Materia seca a diferentes tiempos de pasaje en el rumen de nopal (*Opuntia Lindheimeri*).

Tasa fraccional de pasaje desde el rumen en hrs (K)	Materia seca degradable (%)
.0100	84.1
.0200	81.0
.0300	78.4
.0400	76.2
.0500	74.3
.0600	72.5
.0700	71.0
.0800	69.7
.0900	68.5
.1000	67.4
.1100	66.4
.1200	65.5

k = tasa de fraccional de pasaje desde el rumen

V.- CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Por el contenido nutricional del nopal *Opuntia Lindheimeri* estudiada en este trabajo, puede ser utilizada en las dietas de mantenimiento dado que puede cubrir varios requerimientos de los rumiantes principalmente épocas de estiaje para la alimentación animal. La *Opuntia lindheimeri* comparada con otros Opuntias se ha reportado que es la que tiene una mayor digestibilidad de la materia seca. Por lo anterior la *Opuntia lindheimeri*, puede ser considerada como la más adecuada para incluirla en las dietas de los rumiantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la digestibilidad *in vitro* del nopal *Opuntia lindheimeri* es muy buena para la alimentación de los bovinos ya que en esta investigación presentó valores muy altos de digestibilidad con 89.10 % de digestibilidad a las 72 horas de incubación, con lo que lo hace ser una muy buena alternativa en la dieta de los rumiantes.

Con los valores ajustados por el modelo exponencial de McDonald la degradación de la *Opuntia Lindheimeri*, fue muy bueno lo cual lo hace ser buena para la alimentación de los bovinos. De acuerdo a los resultados obtenidos en la tasa de pasaje con la degradación es muy efectiva ya que al aumentar la incubación *in vitro* la hay mayor degradación de la materia seca (MS).

VI.- LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13 th Edn. Association of agricultural chemists, Washington. DC.
- Barbagallo. R. N. and G. Spagna. 1999. Fatty Acids Determination from oil Seeds of *Opuntia Fircus Indica* L. (miller). Industries Alimentary. Vol. 38. Pp. 815-817.
- Bravo. H. H. 1978. Las cactáceas de México. Instituto de biología de la UNAM. México.
- Castellanos. R. A; G. L. Illamas A. S. simada. 1990. Manual de técnicas de investigación y rumiología. Sistemas de educación continúa en producción animal. A. C. México.
- Carreras. M. E. y E. Fuentes. 1997. Seed protein patterns of nine species of cactaceae. Biochemical Sistematics and Ecology. 25: 43-49.
- Cantú. B. J. E. 1984. Manejo de Pastizales, Dpto. de Producción Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Dossantos. D. C., J. Farias. M. M. A. Donascimento, M. D. Lira and. J. N. Tabaso. 1994. Genette paramenter estimates on forage cactus clones *Opuntia fircus indica* Mill. And *Nopalea Cochenillifera* salm – Dick. Pesquisa Agropecuaria brasileira. 29: 1947-1957.

- Dougherty. R. L.; W. K. Lauenroth and J. S. Singh. 1996. Response of a grassland cactus to frequency and size of rainfall events in a North American shortgrass steppe. *Journal Ecology*. 84: 177-183.
- De Alba. J. 1980. Alimentación del ganado en América latina. 2° edición 4° reimpresión. Ed. La prensa mexicana. México.
- Elizondo. J. L., J. J. López, G. y J. Dueñez. A. 1987. El género opuntia (Tournefort) Miller y su distribución en el estado de Coahuila. 2° Reunión Nacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto de Biología. UNAM. México. pp. 35.
- Elizondo. J. I. y J.A.Wehebe. 1987. Una Nueva Variedad de *Opuntia Lindheimeri engelmann*. *Cactáceas suculentas de México*. 32: 16-18
- Ensminger. M. E., J.E. Oldfield and W. Heinne. 1990. Feeds and nutrition 2° Ed. Editorial the Ensminger publishing company.
- Flores. V. C. A. y J. R. Aguirre. R. 1992. El nopal como forraje. Universidad Autónoma de Chapingo. Diferenciación de Difusión Cultural. 2° Reimpresión.
- Flores. V. C. A. y J. R. Aguirre R. 1992. El Nopal como Forraje en México. VII Reunión Nacional y V Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. México D. F. pp. 219-220.
- Flores. M. J. A. 1980. Bromatología animal. 2° Edición editorial limusa México.

- Fuentes. R. J. M. 1997. El nopal una alternativa forrajera en zonas áridas del norte de México. Congreso sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. FAUANL. Monterrey, Nuevo León, México.

- Fuentes. R. J. M. y M. Murillo Soto. 1996. Prickly Cactus 2010. A Prospective View. Journal of the Profesional Association for Cactus Development. 1: 10-14.

- Fuentes R. J. M. y M. E. Murillo. 2001. El Nopal (*Opuntia spp*) en la alimentación del ganado lechero. Curso-Taller: El Nopal Forrajero. Una Alternativa Alimentaria para el Ganado. Asociación Agrícola Local de Productores de Nopal de Nuevo León A.C. Guadalupe, N.L.

- Flores. V. C. A. y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Universidad Autónoma de Chapingo. Dirección de Difusión Cultural. 2º Reimpresión.

- Flores. V. C. A. y G. Aranda. 1997. El nopal como forraje en México. VII reunión Nacional y V Congreso Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. México D. F .pp.219-220.

- Fisher. D. S. y J. C. burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of in vitro cell- wall disappearance and in vivo digestion. Agronomic journal. 81: 25-33.

- Gardiner. D. P. Felker and T. Cari. 1999. Cactus Extract increases water infiltration rates in two soils. Communications in soil science and plant analysis. 30: 1707- 1712.

- Gopar. E. E. A. 2001. Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del genero opuntia cosechadas en primavera. Tesis Lic. Uaaan. Buenavista, saltillo, Coahuila, México. pp. 17-30
- Guevara. J. C.; O. R. Estevez and C. R. Stasi. 1999. Cost – benefit analysis's of cactus fodder crops for goat production in Mendoza. Argentina. Small Ruminant Research. 34: 41-48.
- Godínez. P. R. y J. M. Sánchez. Y. y J. M. Fuentes R. 1997. Análisis de las rizo bacterias asociadas a las raíces del nopal forrajero Opuntia spp. VII reunión nacional y V congreso internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Monterrey Nuevo León pp. 286-288.
- Georing. H. K. And P. J. Van Soest. 1970 Forage Fiber Analysis. USDA. Handbook. N°379. U. S. Government Printing Office. Washington. DC.
- Henríquez. S. L. A. 2008. Evaluación de la fermentabilidad de maíz extruido, roleado al vapor y molido por digestibilidad in vitro y producción de gas. Tesis de licenciado en agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia chile.
- Karim. M. R. y P. Felker and R. L. Bingham. 1998. Correlations between cactus pear (Opuntia spp.) cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality. Annals of arid zone. 37: 159-171.
- López. G. J. J. y J. L. Elizondo E. 1988. El conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. El nopal, su conocimiento y aprovechamiento. 3°

reunión nacional y 1° internacional. Universidad autónoma agraria Antonio narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México. pp. 1-3.

- López. G. J. J. 1998. Importancia del nopal forrajero en el norte de México, su distribución y manejo en el estado de Coahuila. VI seminario de actualización en nutrición animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-20.
- López. G. J. J. y Rodríguez. G. A. L. Pérez. R y J. M. Fuentes R. 1996. Usos del nopal forrajero en el norte de México. Journal of the Profesional Association For Cactus Development. 1. pp. 10-14.
- Lozano. G. M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal. Tesis profesional. Saltillo, Coahuila, México. Universidad de Coahuila. Escuela de Agricultura.
- López, G. J. J. y J. L. Elizondo, E. 1990. Conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. En 3° reunión nacional y 1° internacional. El nopal su conocimiento y aprovechamiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.
- López. G. J. J. 1999. Uso del nopal forrajero (*Opuntia* spp.) en el norte de México. En curso- taller sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Guadalupe, Nuevo León, México.
- Llamas. L. G. y L. Tejada. H. 1990. Técnicas de laboratorio para el análisis de forrajes en rumiantes. En: castellanos R. A., Llamas L. y A. S. Shimada. (Eds.). Manual de técnicas de investigación en rumiología. Primera edición. Sistemas de educación continúa en producción animal. A. C. México.

- Martínez C. J. L. 1994. Valor nutritivo de dos especies de maguey (agave antroviensis karw y agave salmiana) en el sur de Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.
- McDonald. P. y R. A. Edwaorts y J. F. O. Greenhalgh. 1975. Nutrition Animal. Ed. Acriba. 2°Ed. España.
- MCDONALD, I.M. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, vol. 96. pp.251-252.
- Mendoza. H. J. M. 1983. Diagnostico climatológico para la zona de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.
- Mueller. D. M. and J. R. Forwood. 1994. Mechanical Despining of plains prickly pear. Journal range management. 47: 410-412.
- Mohamed. Y. Y. S. A. Barringer and W. E. Splittstoesser. 1996. A note on the uses of Opuntia spp. In central North America. Journal arid Environments. 32: 347- 353.
- Mueller. D. M. y M. C. Shoop and W. A. Laycock. 1994. Mechanical harvesting of plains prickly pear for control and feeding. Journal range Management. 47: 251-254.
- Murillo. S. M.; J. M. Fuentes R. y M. Torres. H. y F. Borrego. E. y R. Gutiérrez. A. 1994. In vitro Protein Digestibility of two Opuntia Genotypes after the Addition of Yeast, Ammonia and urea. Sthannual Texas prickly pear Council Convention. Kingsville, Texas.

- ORSKOV, E.R.; MCDONALD, I.M. 1979. Estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**. Cambridge. vol. 96. pp. 499-503.

- Palomo G.; D. R. 1963. Datos sobre nopales utilizados como forraje de invierno en el noreste de México. Tesis profesional. Escuela de agricultura y ganadería. ITESM. Monterrey Nuevo León México.

- Pimienta. E. 1993. El nopal (*Opuntia* spp.) una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. *Revista ciencia*. 44: 339-350.

- Ramírez. L. R. G.; G. F. Alanís F. y M^o. A. Núñez G. 2000. Dinámica estacional de la digestibilidad ruminal de la materia seca del nopal. *Revista ciencia UANL*. III: (3) 267-273.

- Rodríguez. G. F. y L. G. Llamas. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. En: castellanos, R. A.; L. G. Llamas y S. A. Shimoda. (Eds.). *Manual de técnicas de investigación de rumio-logia*. Sistema de educación continúa en producción animal. A. C. México.

- Tejada. H. I. 1985. *Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal*. SEP. 1^o Edición. México.

- Theodorou, m. k., 1993. A new laboratory procedure for determining the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Afric institute of grassland and*

environmental research, plas gogorddan, aberystwyth, reino unido. Pp. 332-345.

- Tilley. J. M. A. And R. A. Terry. 1963. A Two-stage Technique for the in vitro Digestion of forage Crops. J. British. Grassland. Soc. 18. pp. 104.
- Valdez E. V. and G. E. Jones. 1987. A comparicom of in vitro and in vive dry matter digestibility techniquez of the evaluation of forraje quality. Canadiam journal animal science. Vol. 67. Pp. 573-576.
- Vega. V. F.; C. I. Chiapa. C.; S. Rocha. H. L. Romero S. And H. Nolasco. 1997. Nutritional quality and ecological impact of the use of ferocactus peninsulae, opuntia cholla and ather deser plants as cattle forage in the Baja California peninsula. Journal. Arid. Enrionments. 35: 499-509.
- Vázquez, A. E. R., Salinas, G. G. y Valdés, C. R. 2005. Colecta y conservación EX SITU para el aprovechamiento del nopal. En: Memorias del Simposium-Taller "Producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México". Marín, N. L. México.
- Van Soest. P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2º edicion. Comstock. Cornell University Press, Ithaca. NY.
- Weber. C. W. y R. B. Affin. G. P. Nabhan. A. Inouraine and E. A. Kohlhepp. 1996 composition of sonorant desert foods used by tohono oodham and Pima indrans. Ecology of food and nutrition. 35: 95-104.

VII. - APENDICE

DIGESTIBILIDAD IN VITRO (MS)

CUADRO DE DATOS

TRATAMIENTO	R1	R2	R3
1	89.6149	88.4819	89.2250
2	87.7451	85.6219	86.4899
3	84.9916	82.1532	81.7032
4	76.7123	76.9958	77.9608
5	61.8059	67.2043	65.4083
6	57.4899	57.6543	57.1473
7	43.9617	47.0543	45.8419

ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	6	4840.476563	806.746094	373.4666	0.000
ERROR	14	30.242188	2.160156		
TOTAL	20	4870.718750			

C.V. = 2.04 %