

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE NOPAL (*Opuntia spp.*) A DIFERENTES
INTERVALOS DE TIEMPO**

POR:

JAIME ESPINOSA NUÑEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE NOPAL (*Opuntia spp.*) A DIFERENTES
INTERVALOS DE TIEMPO

Por:

Jaime Espinosa Núñez

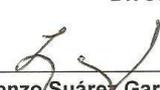
Tesis

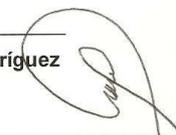
Que somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito
para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobado por:


Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Asesor principal


M.C. Lorenzo Suárez García
Asesor


M.C. Manuel Torres Hernández
Asesor

El Coordinador de la División de Ciencia Animal,


Dr. Ramiro López Trujillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo, 2011

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



COORDINACIÓN DE
CIENCIA ANIMAL

DEDICATORIA

A mis padres:

Dolores Núñez Espinosa.

Jaime Espinosa Durante.

Con un inmenso respeto, amor y eterno agradecimiento por sus sabios consejos que me han servido para forjarme como persona y su apoyo incondicional tanto moral y económico para terminar mis estudios profesionales que es para mí la mejor herencia que me han dado.

A mi hermano.

Juan Diego Espinosa Núñez.

Por su apoyo y comprensión que me ha brindado.

*A mi **PRINCESA**.*

*Por su amor, comprensión, compañía, 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 durante el tiempo que estuvimos juntos **GRACIAS**. Aunque el destino nos ha separado yo nunca, nunca te he olvidado porque lo nuestro nunca fue pecado solo el concierto de un amor callado **TE AMO MI PRINCESA**.*

*A mis tíos **Cristobalina Cruz Gálvez** y **Elías Guadalupe Espinosa Durante**. Por sus consejos y su apoyo que me han brindado en todo momento.*

*A mis padrinos **María Elena Núñez Espinosa** y **Agustín Gálvez Aguilar**. Por sus consejos y comprensión que me brindaron en todo momento.*

*A mis primos **Lupita, Claudia, Karina, Juan Carlos, Cristian (gordo)**. Por sus palabras de aliento, su amistad y comprensión que me han dado.*

*A mis **abuelitos** y **tíos** Por todos sus consejos y palabras de alientos que fueron un impulso en mi vida para no darme por vencido.*

“ESTA META ALCANZADA TAMBIEN ES DE USTEDES”

AGRADECIMIENTOS

Al todo poderoso.

A DIOS por darme la vida, salud y las fuerzas necesarias para llegar este momento de mi vida tan especial.

A mi ALMA MATER,

Por haberme dado la oportunidad para formarme como un profesionista.

Al Ph. D. Jesús Fuentes Rodríguez.

Por ayudarme en la realización de mi tesis así como también la confianza que deposito en mí para llevarla a cabo.

Al M.C. Lorenzo Suarez García y el M. C. Manuel Torres Hernández

Por su comprensión y apoyo en la revisión de este trabajo.

A la LCN Laura Maricela Lara López

Por su apoyo y paciencia en la elaboración de este trabajo.

A mis amigos de cuarto.

Ing. Gerardo Vilchis, Ing. Erick Vilchis, Ing. Alexander Montesinos, Ing. Magin Montesinos, Andi Gadiel Salazar, Wanerges Montesinos, Samuel Sarao (chingon), Bernardo Rojas (micho) y Teodoro Jacobo por su amistad que me brindaron todos estos años.

A mis amigos de ala en el internado.

Joaquín, pastrana, Jairo, Juan Carlos, Andrés, Luis (el Ing) y Edgar por su amistad que me dieron.

A mis amigos de generación.

Alfredo Gines, Rolando Nieves, Rodrigo San Juan (Rorro), Raúl Calderón, Luis Antonio Rodríguez (Volador), Omar Martínez (Duy), Cinthya Herrera (mi muñequita viviente), Berenice Esquivel, Cristóbal Morales (Comezón) Teresa Bautista, Heisler Alejandro Leines, Ana Belly Aguilar, Norberto Tipa, Constancio (tancho), Edgar Caraveo (Tabasco) por su amistad y todos los momentos de tristeza y alegría que pasamos juntos y que siempre conservare gratos recuerdos de esos momentos.

Al Sr. Blas Toledo y el Ing. Carlos Alfonso Toledo. Por sus consejos y apoyo que me han brindado hasta este momento para concluir mis estudios profesionales.

Al Sr. Filadelfo Gálvez, Genaro Gálvez, José Ma. Espinoza, Alfredo Espinoza, José Luis Espinoza (tribilín) y Antonio Espinoza. Por sus consejos, amistad, por enseñarme que la humildad se demuestra con los actos y no con las palabras.

A Claudia (Mi Güerita). Por brindarme una amistad tan sincera durante toda mi estancia que estuve en Saltillo.

A todas las personas que no confiaron en mí.

Gracias por que sus criticas no tuvieron el efecto que esperaban en mi si no al contrario fue un impulso mas en mi vida para demostrar que todo se puede en esta vida teniendo amor, fe, esperanza y ganas de superarse.

INDICE

	Pagina
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	3
Objetivo.....	4
Hipótesis.....	4
2. REVISION DE LIERATURA	5
Generalidades del nopal.....	5
Clasificación taxonómica del nopal.....	5
Características taxonómicas.....	6
Distribución geográfica de las nopaleras en México.....	7
Distribución del nopal en el estado de Coahuila.....	9
Calidad nutritiva del nopal.....	11
El nopal como forraje.....	11
Usos alternativos del nopal.....	13
Digestibilidad.....	15
Técnica <i>in vitro</i>	16
Trabajos relacionados con la digestibilidad in vitro.....	17
3. MATERIALES Y METODOS	20
Descripción del área del estudio.....	20
Metodología.....	20
Técnica <i>in vitro</i>	21
Análisis estadístico.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Análisis bromatológico.....	25
Digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca.....	26
Calculo de las fracciones.....	27
Tasa de pasaje.....	29
5. CONCLUSIONES	31
6. LITERATURA CITADA	32
7. APENDICE	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
2.1	Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (materia seca, %)	12
4.1	Análisis bromatológico del <i>Opuntia spp.</i>	25
4.2	Digestibilidad <i>in vitro</i> de de la materia seca (DIVMS) del <i>Opuntia spp.</i> a diferentes intervalos de tiempo	27
4.3	Calculo de las fracciones de degradación del <i>Opuntia spp.</i>	28
4.4	Materia seca degradable a diferentes tasas de pasaje (%)	30
7.1	Análisis de varianza de la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de <i>Opuntia spp.</i>	36

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
4.1	Comparación de los valores observados con los ajustados de la DIVMS de <i>Opuntia spp.</i>	29

RESUMEN

Las zonas áridas y semiáridas en México ocupan más de la mitad del territorio nacional y en estas áreas, las condiciones agroclimáticas dificultan la producción de forraje, por lo que la actividad ganadera enfrenta limitaciones para la alimentación adecuada del ganado. Tal situación ha provocado que los productores ganaderos acudan a la utilización de plantas adaptadas a condiciones adversas. El nopal ha surgido como una alternativa importante por su adaptabilidad, costo y características nutritivas. Sin embargo, existen pocos estudios que aporten información sistemática acerca del aprovechamiento real de los nutrientes contenidos en esta planta.

Por lo cual condujo a la realización de este trabajo para conocer la digestibilidad in vitro de esta planta, el material fue colectado en los terrenos aledaños a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, el análisis de la tasa de degradación in vitro se realizó mediante las técnicas de Tilley y Terry, 1963 con las modificaciones de Goering y Van Soest, 1970, a diferentes tiempos de incubación 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 hrs.

Se utilizó un novillo fistulado del cual se obtuvo el inóculo ruminal, el cual se le adiciona a su dieta nopal para así obtener datos más significativos.

La digestibilidad in vitro de la materia seca, se analizó con un modelo estadístico completamente al azar, con igual número de repeticiones para cada tratamiento, donde se obtuvo una diferencia significativa ($P < 0.05$), así observándose que la *Opuntia* presentó mayor digestibilidad a las 48hrs de incubación con 90.05%. Con este resultado se concluye que la *Opuntia* tiene una alta digestibilidad a las 48hr.

Los resultados obtenidos de la digestibilidad se ajustaron de acuerdo al modelo exponencial de Orskov y McDonald (1979) y McDonald (1981) con el cual se obtuvo una fracción A (altamente soluble) de 39.69%, la fracción insoluble potencialmente degradable (B) de 46.65% y la fracción C de 0.861, obteniéndose una digestibilidad potencial máxima de 86.34%

En cuanto a la digestibilidad efectiva se encontró una relación muy estrecha con la tasa de pesaje ya que a mayor tiempo de pasaje la digestibilidad se incrementa esto se debe al tiempo de exposición del alimento a la fermentación microbiana ruminal.

Palabras clave: Digestibilidad *in vitro*, Nopal, *Opuntia*, Diferentes tiempos

INTRODUCCION

Uno de los problemas fundamentales que impiden el desarrollo de la industria ganadera nacional es la escasez de forraje. Esta se acentúa considerablemente en las zonas áridas y semiáridas del país, las que representan en su conjunto el 52% de la superficie total del territorio nacional.

Lo anterior ha originado que los productores de ganado recurran a la utilización de plantas adaptadas a la sequía, entre las que Marroquín (1964) menciona a considerables especies del género *Opuntia*. En México se localizan 61 géneros de los 92 que existen en América del norte, esto lo ubica como centro de diseminación (Bravo, 1978). Carranza (2001) indica que el área ocupada de nopal para forraje en la parte norte y centro de México es de 15.84% de la superficie total, donde justifican su uso por ser un forraje fresco, succulento, de buena palatabilidad y susceptible de explotarse durante todo el año.

Así entonces, sabiendo que el nopal se encuentra distribuido en casi todo el territorio mexicano, y su mayor importancia la tiene en los estados del norte (González, 1964; citado por Burgos, 1983), y que su costo comparado con otros forrajes es menor; se pretende obtener un alimento propio de la región, de bajo costo y de alto valor nutritivo, el cual sea digerido y aprovechado por el ganado.

Por eso es importante conocer la digestibilidad del nopal forrajero (*Opuntia spp.*) para su utilización como una fuente de alimentación para el ganado, ya que permite conocer la cantidad de alimento que es digerida por el animal.

Objetivo

Determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) del nopal (*Opuntia spp.*) a diferentes tiempos, el análisis bromatológico así como la tasa de pasaje

Hipótesis

Ha: La digestibilidad del nopal *Opuntia spp.* difiere con el tiempo de incubación.

Ho: La digestibilidad del nopal *Opuntia spp.* no difiere con el tiempo de incubación.

REVISION DE LITERATURA

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.

Clasificación Taxonómica del Nopal

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

REINO: Vegetal
 SUBREINO: Embryophita
 DIVISION: Angiospermeae
 CLASE: Dicotiledoneae
 SUBCLASE: Dialipetala
 ORDEN: Opuntiales
 FAMILIA: Cactaceae
 SUBFAMILIA: Opuntioideae
 GENERO: *Opuntia*
 SUBGENERO: Platyopuntia
 ESPECIE: *spp*

Características taxonómicas

Familia Cactaceae. Esta familia se divide en 112 géneros, en tres tribus: *Pereskieae*, *Opuntieae* y *Cereeae*. Lozano (1958), señala que esta familia comprende unos 100 géneros y 1000 especies o más, casi todas de América y particularmente abundante en México y centro América.

Subfamilia Opuntioideae. Suculentas con tallos usualmente aplanados y articulados, hojas pequeñas y caducas, areolas gloquidias y flores rotiformes; los géneros más conocidos son: *Opuntia*, *Pereskiopsis* y *Nopalea*. Solo *Pereskiopsis* es laminar y carnoso; tubérculos prominentes, areolas circulares hasta elípticas, con fieltros, pelos, gloquidas y espinas; las espinas son más o menos largas y delgadas, a veces con vaina papirácea. Flores diurnas y vespertinas y sésiles una en cada areola. México está representado por los géneros *Pereskiopsis*, *Nopalea* y *Opuntia* (Bravo, 1978)

Genero Opuntia. Se encuentran las especies de valor económico. Son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas; tronco bien definido, ramosos desde la base, con ramas erectas, extendidas o postradas; raíces fibrosas por lo general: artículos, cilíndricos o discoides, carnosos, leñosos y con costillas, areolas con espinas, gloquidas usualmente numerosas y pelos; espinas cilíndricas y aplanadas, desnudas o con vainas. El género se divide en dos subgéneros: a) *Cylindropuntia* (cladodios cilíndricos) ramas delgadas, llamadas tasajos, tasajillo y alfilerillo. No tienen importancia económica y se ocupa para setos, y b) *Platyopuntia* (artículos aplanados). Presentan las condiciones sexuales dioica y hermafrodita. Es muy diversificado en México, está presente en toda vegetación de zonas áridas y semiáridas y con frecuencia en zonas tropicales y templadas. Las *Platyopuntia*, representa a los nopales cultivados y también incluye

a las especies silvestres con frutos muy bien adaptados por la población regional. Abarca a especies forrajeras de mayor significancia, aunque hay otras de menos importancia para ningún propósito (Bravo, 1978)

Son plantas fanerógamas, angiospermas, dicotiledóneas, xerofitas y perennes; que poseen un sistema radical con raíces secundarias muy superficiales, que se extienden ampliamente en el terreno hasta 15 m alrededor de la planta y penetran de 1.5 a 5 cm (Bravo, 1978). Prefieren los suelos con un pH alcalino y de textura areno-calcáreo, poco profundos y pedregosos; temperaturas entre 18° y 26°C; altitudes que van desde 2 a 2675 msnm (Borrego, 1986)

Los cladodios son gruesos y suculentos, tienen estomas hundidos y cubierta cerosa para disminuir la transpiración. Lozano, (1958), citado por Sampayo, (1971) menciona como las principales características del nopal que lo hacen resistente a la sequia son las siguientes: cambio de polisacáridos en pentosas, que al combinarse con sustancias nitrogenadas forman compuestos con gran poder de imbibición, producción de sales muy higroscópicas a partir de los ácidos orgánicos libres abundantes en el nopal; no presenta superficie foliar, la sabia viscosa cura rápidamente cualquier herida que se produzca y presenta areolas hundidas.

Distribución Geográfica de las Nopaleras en México

Marroquín et al. (1964) reconocieron tres grandes zonas cubiertas con *opuntias* en el Norte de México.

Zona Potosina-Zacatecana.- Comprende parte de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato; predominan matorrales crasicaules, principalmente *Opuntia streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. robusta* y *O. imbricata*.

Zona del Norte de Mexico.- Norte de Tamaulipas y noreste de Nuevo León; la vegetación es mezquite, nopales y pastizal, las especies de *Opuntia* son principalmente *O. lindheimeri*, *O. engelmannii*.

Zona Nopalera Difusa.- De mayor superficie pero de menor densidad que las anteriores; desde las calizas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua; la vegetación es matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo, se encuentran las especies de *Opuntia* como *O. rastrera*, *O. macrocentra* y *O. microdasys*.

Un enfoque más amplio, considerando todo el país, fue propuesto por López y Elizondo (1990), quienes reconocieron cuatro zonas ocupadas por nopaleras explotadas para forraje o fruta, o ambas.

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

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

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

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

Distribución del Nopal en el Estado de Coahuila

Se reconoce 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) menciona 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 cacanapo) esta especie tiene cuatro variedades: *O. lindheimeri* var. *lindheimeri* (nopal cacanapo), *O. lindheimeri* var. *aciculata*, *O. lindheimeri* var. *subarmata* y *O. lindheimeri* var. *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. fhaeacantha* var. *major*, *O. fhaeacantha* var. *phaecanta*, *O. fhaeacantha* var. *discata*, *O. fhaeacantha* var. *sinosibaca* y *O. fhaeacantha* var. *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.

Calidad Nutritiva del Nopal

La calidad nutritiva del nopal depende de varios factores, que influyen sobre esta en menor o mayor grado; siendo algunos factores; aspectos genéticos (variedades artificiales o naturales), estado de madurez y edad de la planta, estación del año, manejo o frecuencia del corte, altura, intensidad de la cosecha, efecto del clima (temperatura, humedad, radiación solar, etc.), factores físicos y químicos del suelo (De Alba, 1971; Espinoza, 1987; Flores, 1977; Belasco, 1958).

Flores y Aguirre (1992) y Murillo et al (1994), desde 1906 a la fecha, se han realizados sobre el análisis bromatológico del nopal (cuadro 2.1) donde se reportan resultados muy variados entre las diferentes especies.

Para mantener la actividad microbiana en el rumen es necesario como mínimo 7% de proteína cruda (Van Soest, 1994). El nopal es bajo en proteína cruda (5.1%); pero por su gran digestibilidad, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, es usado como forraje durante todo el año (Ramírez et al., 2000: Murillo et al.,1994)

El Nopal como Forraje

De Alba (1971) lo define como forraje tosco, aquellos que contienen más del 20% de fibra cruda, o menos de 2.5 Mcal de energía metabólica (EM)/kg ms; por lo que al nopal se le debe de considerar como tal y no como por su contenido de fibra (11.20%) si no por su nivel de energía metabolizable (1.83 – 2.2 Mcal/kg).

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

- 1) Se amontonan hierbas secas alrededor de las plantas y se la prende fuego, lo que trae consigo que acabe la planta, pues el tronco es el que soporta todo el fuego más intenso.

Cuadro 2.1. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (materia seca, %).

Especie	M S	M O	P C	G C	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	Palomo, 1963
<i>O. lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	"
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	"
<i>O. imbriacata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. ficus - indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Baurer y Flores, 1969
<i>O. spp.</i>	10.01	-----	5.71	3.01	8.11	12.01	55.01	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	7.96	-----	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	Lastras y Pérez, 1978

Fuente: Flores y Aguirre, 1992 y Murillo et al. 1994

- 2) Cortar las ramas (varias pencas) y chamuscarlas por ambos lados sobre el fuego y luego picarlas antes de darlas al ganado.

- 3) Cortar el borde de las pencas donde hay más espinas y dejar que el animal haga el resto (utilizado por los pastores de cabras y borregos).

4) Empleando chamuscador, este se emplea para chamuscar en pie o bien chamuscar las pencas ya cortadas.

5) Usando picadoras de nopal

6) Cocción en calderas.

7) Algunos ganaderos dejan fermentar el nopal picado, con lo que ablandan las espinas.

Usos Alternativos del Nopal

Bloques Multinutricionales (BM)

Los BM son suplementos balanceados donde se incluyen de preferencia forrajes de alta calidad, ingredientes proteicos y/o energéticos, así como minerales y vitaminas. Además se incorpora nitrógeno no proteico (NNP), principalmente en forma de urea, y los ingredientes que hacen posible la solidificación y formación del bloque (melaza, cal y cemento). Los BM son diseñados para servir como alimento estratégico durante la época seca, resultando en un mejoramiento de la ganancia de peso vivo. En situaciones extremas evitan las excesivas pérdidas de peso en los animales y por consiguiente reducen la mortalidad (Gutiérrez et al., 2007).

Nopal Fermentado

La fermentación dirigida de ingredientes de alta digestibilidad como la melaza, pulpa de cítricos, subproductos de frutas etc. ha sido utilizada por muchos años en Cuba (Elías y Lezcano, 1993; Elías, 2007) y recientemente en México (Aranda, 2006). Hasta ahora, la tecnología que ha sido propuesta para su aplicación por investigadores brasileños y mexicanos (Aranda, 2006) involucra una tecnología laboriosa y de alto costo ya que se requiere deshidratar y moler el nopal previo a la fermentación, situación que compromete su aplicación para aquellos pequeños y medianos productores.

Las fermentaciones en estado sólido (FES) son aquellas en donde se promueve el crecimiento microbiano y la formación de productos sobre o dentro de una matriz sólida. El objetivo de la FES es transformar productos o ingredientes de baja calidad en alimentos fortificados que contengan mayor contenido de proteína cruda y proteína verdadera, así como promover una mayor digestibilidad y consumo en los animales; impactando de manera directa en un mayor suministro de nutrientes y como consecuencia mayor producción animal. Además de mejorar la calidad de los ingredientes como el nopal; el proceso debe de ser sencillo y económico, de tal manera que sea una opción real para que los productores puedan mejorar la eficiencia de producción de su hato. Los dos elementos fundamentales para el proceso de producción de FES son el uso de pequeñas cantidades de ingredientes que coadyuven a la fermentación del material (melaza, urea, vitaminas y minerales etc.) y la adición de microorganismos eficientes beneficiosos activados (MEBA) (Gutiérrez, 2007).

Producción de etanol

La búsqueda intensiva de productos orgánicos que sean fermentables para la producción de etanol es evidente. El nopal por sus características de fácil y rápida

digestión puede ser un ingrediente importante para ello. Productores de la región han propuesto y sugerido que se realicen proyectos de investigación en ese sentido, ya que, de ser exitoso dicho proceso, se pueden tener cuatro grandes productos que serían muy útiles para los ranchos ganaderos de la región, a saber:

- 1) Promover la siembra de nopal para recuperar áreas degradadas reteniendo agua y suelo, aprovechando además el forraje producido,
- 2) Producir etanol como combustible alternativo y de alta demanda en el futuro
- 3) Aprovechar los subproductos con alto nivel proteínico en la alimentación animal
- 4) en algunas unidades de producción sería útil para apoyar al control de las invasiones de nopal en praderas establecidas (Gutiérrez et al., 2007).

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 del alimento que no es excretado en las heces, cual se supone ha sido absorbido; puede expresarse como el coeficiente de digestibilidad de la materia seca, en porcentaje (McDonald, 1975).

El valor nutritivo de los forrajes, expresados como consumo de nutrientes, está compuesto por tres variables que se incluyen en la siguiente fórmula:

Consumo de Nutriente = Consumo de Forraje × Digestibilidad Forraje × Aprovechamiento

De los tres componentes que determinan el consumo de nutrientes, la digestibilidad es el más importante, debido a que la influencia que tiene esta sobre el consumo y la eficiencia de utilización de los nutrientes del forraje (Raymond, 1975; citado por Flores, 1977)

La digestibilidad es un concepto que indica la cantidad o por ciento que de un alimento el animal aprovecha (De Alba, 1971). Conocer la digestibilidad de un forraje es importante, porque no es proporcional al contenido de nutrientes, y por lo tanto, no se puede predecir con el análisis químico (Flores, 1977).

Las pruebas de digestibilidad in vivo además de costosas son muy tardadas, y requieren de grandes cantidades de alimento, debido a esto se han desarrollado métodos que estiman la digestibilidad en forma in directa o in vitro (De Alba, 1980).

Técnica *in vitro*

La serie de 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 amoniaco que podría llagar a ser

limitado en los forrajes de pobre calidad; hay poca oportunidad para los nutrientes digeribles escapar a la fermentación (Van Soest, 1994)

Trabajos Relacionados con la Digestibilidad in vitro

Gopar (2001) en su trabajo de investigación relacionado con la tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del género *Opuntia*, cosechadas en primavera, utilizó las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad *tricolor* y *O. lindheimeri* variedad *subarmata* a las cuales se cortaron las pencas cada mes durante la estación de primavera. El análisis bromatológico se hizo mediante un modelo completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, para la determinación de la cinética de la digestión de la fibra utilizó la técnica in vitro descrita por Tilley y Terry (1963), con la modificación de Goering y Van Soest (1970) en la cual se interrumpió a diferentes tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas), el cual fue analizado mediante el modelo de regresión lineal simple, donde para el análisis bromatológico obtuvo una diferencia significativa ($P < 0.05$) para los contenidos de materia seca total (MST), cenizas (C), extracto etéreo (EE), proteína curda (PC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y materia orgánica (MO), para la digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) no obtuvo una diferencia significativa para cada una de las especies, pero la *O. ficus indica* tuvo la mayor DIVMS de 58.8% y una DIVMO de 63.49%.

Sánchez (2001) al estudiar la tasa de degradación de la fibra de algunas especies del género *Opuntia* in vitro, cortadas en otoño, utilizando las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad *tricolor* y *O. lindheimeri* variedad *subarmata*. Donde el análisis bromatológico fue analizado mediante un modelo estadístico completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones y la digestibilidad in vitro fue mediante un modelo de regresión lineal

simple, de los cuales los resultados obtenidos fueron para el análisis bromatológico donde no hubo diferencia ($P>0.05$) para la materia seca total, materia orgánica, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, y extracto libre de nitrógeno. Para la digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) no obtuvo diferencias significativas ($P>0.05$), in embargo la *O. ficus-indica* fue la que mostro mayor digestibilidad de 63.99% con relación a las demás especies.

Montes (2003) al estudiar la tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies de nopal del género *Opuntia* cortadas en invierno. Utilizando las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad *tricolor* y *O. lindheimeri* variedad *subarmata*. Donde el análisis bromatológico fue analizado mediante un modelo estadístico completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones y la digestibilidad in vitro fue mediante un modelo de regresión lineal simple, de los cuales los resultados obtenidos fueron para el análisis bromatológico donde no hubo diferencia ($P>0.05$) para la materia seca total, materia orgánica, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, y extracto libre de nitrógeno entre las especies. Para la digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) no obtuvo diferencias significativas ($P>0.05$), in embargo la *O. lindheimeri* variedad *subarmata* fue la que mostro mayor digestibilidad de 92.54% con relación a las demás especies.

Abrego (2009) en su trabajo de investigación de la evaluación bromatológica y digestibilidad in vitro de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con subproductos de cervecería. Donde el nopal fue evaluado en dos factores. El primer factor en estudio fue el material vegetativo en dos procesos: la biomasa ensilada e *in natura*. El segundo factor corresponde al nopal (*Opuntia ficus-indica*), tratado con subproductos de cervecería; levadura (*Sacharomices cerevisiae*) y masilla, en diferentes niveles, arreglados de la siguiente manera; t_1 : 100 % Nopal (testigo), t_2 : 80 % Nopal + levadura 10 %, t_3 : 70 % Nopal + granos húmedos de cervecería (GHC) 20 %, t_4 : 60 % Nopal + levadura 10 % + GHC 20 %, (excepto al testigo,

los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza). Para analizar el contenido bromatológico, FDN y FDA, lo hizo mediante un diseño experimental en bloques completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 4 por tres repeticiones. Factor **A**.- Biomasa ensilada e *in natura*. Factor **B**.- Los cuatro niveles en los que se evaluó al nopal adicionado con sub productos de cervecería. Para analizar la cinética de digestión ruminal, se empleo un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2x4x6. Obteniendo los resultados, para el análisis bromatológico no encontró diferencia significativa, para la digestibilidad sí encontró significancia en el nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza donde el t₂ tubo la el mayor porcentaje de digestibilidad de 77.95% a las 72 hr.

Velásquez (2007) al estudiar la degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor, donde utilizo tres tratamientos que fuero grano de maíz normal molido, rolado y extruido y el tiempo de incubación de fue de 1, 3, 6, 12, 24, y 36 hr. Para la degradación de la materia seca utilizo un diseño completamente al azar con arreglo factorial y para evaluar la tasa de desaparición de la materia seca lo hizo mediante la ecuación descrita por Orskov y McDonald (1979). Sus resultados fueron que si hubo diferencia significativa para las primeras 6 hr de degradación sin el maíz rolado y extruido que tuvieron mayor degradación de 67% y 79% respectivamente, en cuanto a la tasa de degradación y degradación efectiva fue más alta para el extruido y seguido del maíz rolado y el maíz normal molido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área del Estudio

El material que se utilizó en este trabajo fue colectado en los terrenos aledaños a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Producción Animal de la misma universidad ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. La cual se encuentra en las coordenadas, 25° 22' latitud norte y 101° 00' latitud oeste. Con una altitud de 1742 msn m. Que tiene una temperatura media anual de 19.8°C y una precipitación total media anual de 298.5 mm. Cuenta un tipo de clima designado BWhw (x')(e); clima muy seco, semicálido, con invierno fresco y extremoso con lluvias de verano y precipitación invernal superior de 10% del total anual. Con humedad relativa que alcanza es de 80% en los meses lluviosos y el 30% en los periodos secos, como promedio (Mendoza, 1983).

Metodología

Preparación de la Solución Buffer

Las soluciones que se prepararon fueron dos, una solución buffer A y una B las cuales sirvieron como un amortiguador ya que tienen la función semejante a la saliva del animal en el rumen. Las soluciones contenían lo siguiente: solución buffer A fosfato de potasio (KH_2PO_4), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y urea; solución buffer B bicarbonato de sodio (Na_2CO_3) y sulfuro de sodio ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Las cuales se

mezclaron en una proporción de 1:5, mezclando así una parte de solución buffer B 266.7 ml y 5 partes de solución buffer A 1330 ml teniendo aproximadamente 1600 ml de la mezcla final la que posteriormente se le añadió 400 ml de líquido ruminal.

Preparación de Muestras

Se lavaron las bolsas de nylon, luego se dejó escurrir en una charola para luego secarlas en la estufa a 40°C durante 24 hrs para después pesar las bolsas vacías luego se le puso a cada una 5 gr de nopal previamente molido para nuevamente volver a pesar, se utilizaron 21 muestras y 2 blancos (testigos).

Extracción del Líquido Ruminal

El líquido ruminal se extrajo de un novillo charoláis fistulado, el cual se le añadió nopal en su dieta para adaptar al animal durante 5 días, a este a su vez se le restringió el alimento y agua 16 hrs antes de la extracción del líquido ruminal con el fin de evitar una dilución (Llamas y Tejada, 1990). Esta técnica fue realizada de acuerdo a lo señalado por Tilley y Terry (1963).

Técnica *in vitro*

La degradación *in vitro* se determinó según Tilley y Terry (1963), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) la cual se interrumpió en los siguientes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 hrs.) con los ajustes de ANKOM DAISY^{II} (1998).

El principio de funcionamiento del DaisyII® consiste en establecer condiciones de incubación semejante a las condiciones *in vivo*, de tal manera que el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a la anaerobiosis necesaria en el proceso (Giraldo et al., 2007).

Las muestras de 5 g aproximadamente, se introdujeron en bolsas de nylon, cada tratamiento se corrió por triplicado, para cada tiempo, posteriormente fueron depositadas en recipientes de vidrio con capacidad de 4 lts, en los que se añadieron 1600 ml de la mezcla de las soluciones B y A (1:5) y 400 ml de líquido ruminal de bovino de carne estabulado descrito por (Goering y Van Soest, 1970) y 21 muestras, con un blanco por frasco.

Los frascos se introdujeron en el incubador DAISY^{II} durante (72, 48, 24, 12, 6, 3 y 0 hrs.), bajo una rotación lenta y temperatura constante de 39.5°C. Al término de cada tiempo las bolsas fueron lavadas cuidadosamente, puestas a secado (50°C) durante 24 hrs. y pesadas nuevamente.

Análisis Estadístico

Los resultados del análisis bromatológico y la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con igual número de repeticiones, teniendo siete tratamientos y tres repeticiones de cada uno.

Para evaluar la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de cada tratamiento se ajustó mediante la ecuación descrita por Orskov y McDonald (1979), correspondiente al siguiente modelo exponencial.

$$Y = A + B (1 - e^{-c \cdot t})$$

Donde:

Y= degradación o desaparición potencial a tiempo t

A= fracción soluble a tiempo 0.

B= fracción insoluble degradable.

e= Exponencial.

c= tasa fraccional de degradación de la fracción insoluble B.

t= tiempos de degradación (incubación en horas)

A+B, representa la degradación máxima potencial

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

Degradabilidad Ruminal Efectiva

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

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).

e= exponencial

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:

$$A+B \cdot C / (C+K)$$

Modelo basado en McDonald (1981)

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis Bromatológico

El cuadro 4.1 muestra los resultados bromatológicos del *Opuntia spp* donde no se observa diferencia significativa ($P>0.05$) para los contenidos de materia seca total (MST), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), ceniza (Cz), fibra cruda (FC), fibra ácido detergente (FAD) y fibra ácido detergente neutro (FDN).

Gopar (2001), obtuvo diferencias significativas ($P<0.05$) para los contenidos de MST, Cz, EE, PC, ELN y MO, sin embargo para la FC no encontró diferencia estadística significativa ($P>0.05$); sin embargo Sánchez (2001) y Montes (2003), no encontraron diferencia significativa en ningún componente del Análisis Bromatológico. Tal vez esta diferencia se deba a la época del año, edad de la penca, tipo de suelo donde se desarrolla la planta o a las condiciones en que el material fue estudiado.

Cuadro 4.1. Análisis Bromatológico del *Opuntia spp*.

COMPONENTE (%)	
MST	89.18
PC	7.88
E.E.	1.53
Cz	22.65
FC	11.48
FAD	13.51
FDN	39.54

Digestibilidad in vitro de Materia Seca

El cuadro 4.2 muestra los resultados que se obtuvieron de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a diferentes intervalos de tiempo; tratamiento 1 (0 hr), tratamiento 2 (3 hr), tratamiento 3 (6 hr), tratamiento 4 (12 hr), tratamiento 5 (24 hr), tratamiento 6 (48 hrs) y tratamiento 7 (72 hr), en los que se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$). Los valores encontrados muestran un constante incremento de la DIVMS hasta las 48 hr, seguido por una disminución a las 72 hr, esto se debe probablemente a la pérdida de sustrato para seguir con la digestibilidad. Estos resultados difieren con lo obtenido por Abrego (2009), donde se observó DIVMS a las 72 hr de 80.31% de nopal in natura sin ningún subproducto de cervecería y de 77.95% con nopal al 80% + 10% de melaza y 10% de subproductos de cervecería y a las 24 hr una digestibilidad de 71.79% con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproductos de cervecería. Este mismo autor registró digestibilidad de nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecería en el cual obtuvo digestibilidad de 76.28% a las 72 hr con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproducto de cervecería, 75.18% con nopal al 60% + 10% de melaza y 30% de subproducto de cervecería a las 24 hr y el nopal sin ningún subproducto de cervecería y sin melaza tuvo la mayor digestibilidad de 61.32% hasta las 96 hr.

Cherney *et al.* (1993) reporta valores altos para la alfalfa (75.1%), ensilado de maíz (73.2%) y avena (83.7%) de DIVMS que son semejantes con los resultados obtenidos en el tratamiento 5 (24 hr) y tratamiento 7 (72 hr). Valdés y Jones (1987), obtuvieron una DIVMS en 30 zacates de 63.3% en promedio y 25 leguminosas de 58.5% en promedio, lo que indica que la *Opuntia spp* es mas digestible que los zacates y leguminosas.

Fisher *et al.* (1989) mencionan que la extensión de la digestibilidad in vitro de la materia seca a las 48 hrs generalmente se correlaciona bien con los coeficientes

de digestión in vivo. Sin embargo no todos los forrajes tienen su máxima extensión de desaparición a las 48 hr. Esto también pudo ser afectado por otros factores como genéticos (variedad, estado de madurez, edad de la planta, estación del año, frecuencia de corte entre otras, factores físicos y químicos del suelo (De Alba, 1971, Espinoza, 1987, Flores, 1977, Belasco, 1958).

Cuadro 4.2. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de *Opuntia spp.* a diferentes intervalos de tiempo.

Tratamiento	% de Digestibilidad
1	39.51 ^a
2	46.31 ^b
3	65.48 ^c
4	68.78 ^d
5	75.57 ^e
6	90.05 ^f
7	84.82 ^g

^{abcdefg} Diferentes índices en la columna indican diferencia (P<0.05)

Calculo de las Fracciones

Durante la fase inicial, en un lapso de tiempo hay degradación menor debido a que hay una adaptación de las bacterias del rumen con el alimento, a esto se le llama fracción A, ya que hay una adaptación de las bacterias se da un incremento en la degradación, esto es la fracción B, pero la degradación llega a un pico donde se mantiene por cierto tiempo y luego esa degradación desciende debido a que ya no hay mas substrato para seguir la degradación del alimento.

En el cuadro 4.3 se muestran los resultados obtenidos donde la fracción soluble a tiempo 0 (A) fue de 39.69%, la fracción insoluble potencialmente degradable (B) fue de 46.65%, la tasa fraccional de degradación de la fracción B que se

representa como C fue de 0.0861%, la degradación residual (RSD) fue de 5.27% y la degradación máxima potencial (A+B) fue de 86.34%.

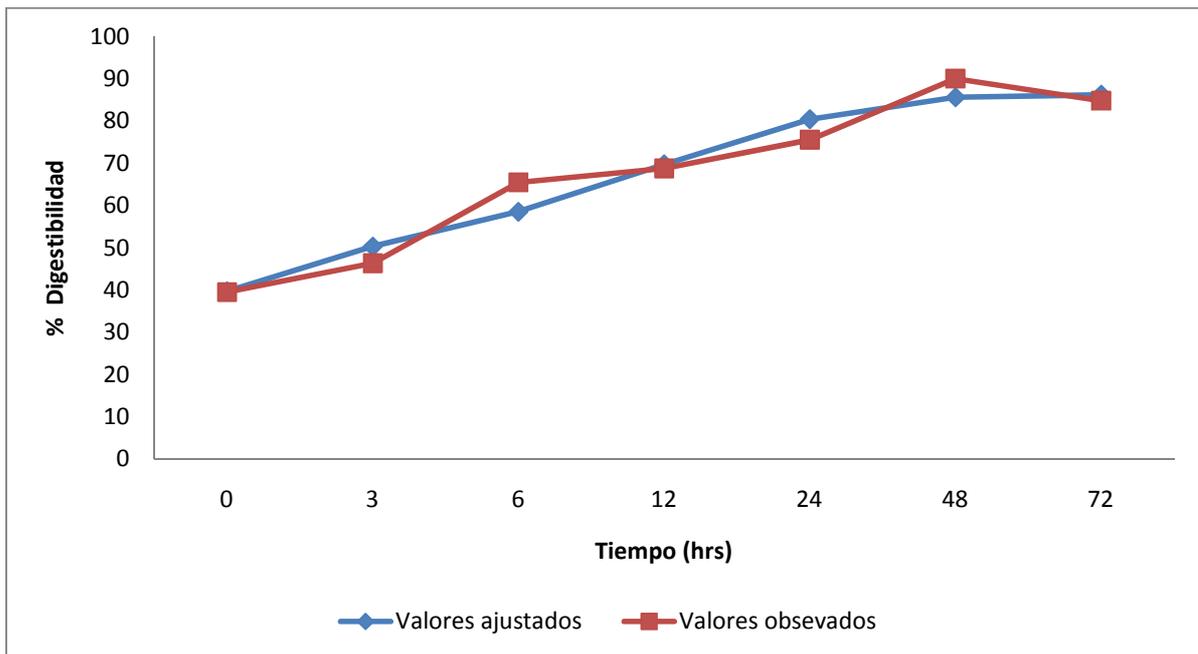
La fracción soluble fue baja, apreciándose con ello una lenta desaparición de la fracción potencialmente degradable, lo que manifestaría la necesidad de un tiempo de incubación más prolongado. Los alimentos que tienen fracción "B" alta y cuya degradabilidad es intermedia serán más afectados por aumentos en la tasa de pasaje debido a una mayor dependencia del tiempo de permanencia en el rumen para ser degradados.

Cuadro 4.3. Cálculo de las fracciones de degradación del *Opuntia spp.*

	A= 39.69		B= 46.65		C= .0861		RSD= 5.27	
tiempo	0	3	6	12	24	48	72	
Mediciones	39.51	46.32	65.48	68.78	75.57	90.05	84.82	
Valores ajustados	39.69	50.31	58.52	69.74	80.43	85.59	86.24	

A= fracción soluble, B= fracción insoluble, C= tasa fraccional de degradación de la fracción B, RSD= degradación residual.

La grafica 4.1 muestra como la degradación ya con los valores ajustados va aumentando de una manera más uniforme teniendo así su máxima degradación a las 72 hr y comparándolo con los valores observados ocurre hasta las 48 hr y luego desciende.



Grafica 4.1. Comparación de los valores observados con los ajustados de la DIVMS de la *Opuntia* spp.

Tasa de Pasaje

La tasa de pasaje es el tiempo que tarda en pasar el alimento en el rumen, esto se relaciona con el tamaño de la partícula del alimento, entre más finas pasan más rápido y la degradación es menor, entre más grande las partículas tardan más en pasar y la degradación es mayor (Araujo y Vergara, 2007).

Por lo anterior se puede decir que la tasa de pasaje se puede manipular si se le incluye o si le ofrece una dieta al animal donde los ingredientes sean partículas de tamaño intermedio, el alimento será aprovechado de una manera más efectiva.

El cuadro 4.4 muestra los diferentes porcentajes de degradación de la materia seca a diferentes tasas de pasaje, la cual disminuye al incrementar la tasa de pasaje debido al tiempo de exposición del alimento a los microorganismos del rumen, ya que a mayor tiempo de exposición del alimento con los microorganismos hay mayor degradación de la materia seca.

Velásquez (2007) obtuvo valores de 77.38%, 65.56%, 57.54% de degradación con maíz grano normal, 79.33%, 70.01%, 64.07% de degradación de maíz rolando y 81.46%, 74.81%, 69.57 de degradación de maíz extruido al vapor a una tasa de de pasaje de 2, 5 y 8 hr, estos resultados se asemejan a los obtenidos en este trabajo ya que a medida que aumenta la tasa de pasaje la degradación es menor.

Cuadro 4.4. Degradación de la Materia seca a diferentes tasas de pasaje (%).

Tasa de pasaje hrs (K)	Degradación de Materia seca (%)
0.01	81.5
0.02	77.5
0.03	74.3
0.04	71.5
0.05	69.2
0.06	67.2
0.07	65.4
0.08	63.9
0.09	62.5
0.10	61.3
0.11	60.2
0.12	59.2

CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

El *Opuntia spp.* presenta una alta digestibilidad de la materia seca de 90.05% lo cual indica que es una planta con buena digestibilidad ya que otras plantas como el ensilado de maíz, avena y zacates presentan rangos de 73.2%, 83.7%, 63.3% de digestibilidad respectivamente, así mismo tiene una buena composición química.

En cuanto al tiempo de incubación, el mayor resultado de digestibilidad se alcanzó a las 48 hrs.

Con los valores ajustados según el modelo exponencial de McDonald la degradación potencial máxima fue de 86.34% en un tiempo de incubación de 72 hrs. Lo cual indica que el nopal tiene una buena degradación en relación a otras plantas como los zacates y leguminosas

La tasa de pasaje tuvo una relación estrecha con la degradación efectiva ya que al aumentar el tiempo de incubación la degradación es mayor.

Literatura Citada

Abrego, G. A. 2009. Evaluación bromatológica y digestibilidad in vitro de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con subproductos de cervecería. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, Mexico.

Ankom Technology. 1998. In vitro true digestibility using the Daisy II incubator. Frequently Asked Questions. Ankom Technology, Fairport, NY. http://www.ankom.com/10_faqs/faqs.shtml. Consultado el 13 de Diciembre de 2010.

Araujo, F. O. y Vergara. L. J. 2007. Propiedades físicas y químicas del rumen. Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 15 Maracaibo, Zu, Venezuela. http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/49-rumen.pdf. Consultado el 25 de febrero de 2011.

Becerra, B. A. 2006. Aprovechamiento de subproductos de manzana mediante la producción de proteína microbiana con fermentación en estado sólido para la alimentación animal. Tesis Doctorado. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Mex.

Belasco, I. J., M. F. Gribbins and D. W. Kolterman. 1958. The response of rumen microorganisms to pasture grass and prickly pear cactus following foliar application of urea. J. Anim. Sci. 17(1):209 – 217.

Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Tomo I. Universidad Nacional Autónoma De México. Ciudad Universitaria. México, D. F. pp67-71, 147, 334.

Borrego, E., F. y N. Burgos. 1986. El nopal. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. pp. 1 - 33

Burgos, V., S. N. 1983. El nopal (*Opuntia* spp). Monografía. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Carranza, S. J. A. 2001. Caracterización morfológica del cladodios de *Opuntia* spp. Del campo experimental de la URUZA. U. A. Ch. Tesis Licenciatura. Chapingo. Mex. pp. 82.

Cherney, D. J. R.; J. H. Cherney and R. F. Lucey. 1993. In vitro digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. J. Dairy Sci 76: 790 – 797.

De Alba, J. 1971. Alimentación del ganado en América latina. Segunda edición. La Prensa Medica Mexicana. México. pp. 475

De Alba, J. 1980. Alimentación del ganado en América latina. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Ed. La prensa mexicana. México.

Elías, A. y Lezcano, O. 1993. Efecto de la fuente de N y algunos factores de crecimiento en la población de levaduras que se establece en la Producción de Saccharina. Rev. Cubana de Cienc. Agric. 27:227.

Elías, A. 2007. Estrategia para la producción de alimentos para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos que protejan el medio ambiente. II Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. La Habana, Cuba.

Elizondo, E., J. L.; J. J. López. G.; 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. U.N.A.M. México, D.F.

Espinoza, A., J. 1987. Caracterización morfológica y bromatológica del nopal forrajero en diferentes ambientes de la sierra de paila, Coahuila. Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Fisher, D. S.; J. C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of in vitro cell wall disappearance and in vivo digestion. Published. In Agron. J. 81: 25-33.

Flores, V., C. A.; y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Segunda edición. Dirección del Patronato Universitario, Dirección de Difusión Cultural. UACH. Chapingo, Texcoco, México.

Flores, V. C. 1977. El nopal como forraje. Tesis Licenciatura. E.N.A. Chapingo.

Giraldo, L. A., A Gutiérrez L. y C. Rúa. 2007. Comparación de dos técnicas: in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Rev Col Cienc Pec. 20: 269-279

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. USDA. Handb. No. 379. U. S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Gopar, E. E. A. 2001. Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del Genero Opuntia, cosechadas en primavera. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Granda, N. J. 2004. Composición química y digestibilidad in vitro de cinco especies de nopal (*Opuntia* spp). Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Gutiérrez, A. R. 1994. Incremento de proteína y digestibilidades in vitro de 2 genotipos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo condiciones de laboratorio. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Gutiérrez, O. E., A. Elías., H. Bernal., H. Morales. 2007. Usos alternativos del nopal forrajero. Revista salud pública y nutrición. 6° Simposium taller producción y aprovechamiento del nopal en el noroeste de México. Mariny, N.L., Mexico.

Llamas, L. G y I. Tejada H. 1990. Técnicas para el análisis de forrajes para rumiantes. En: Castellanos R. A., G. I. Llamas, A. S. Shimada. Manual de técnicas de investigación en rumiología. Sistemas de educación continua en producción animal. A. C. México.

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. Eds. Juan José López González y Myrna Julieta Ayala Ortega. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

López, G. J. J.; Rodríguez G. A.; L. Pérez. R. y J. M. Fuentes. R. 1996. Usos del nopal forrajero en el norte de México. Journals of the Professional Association for Cactus Development. 1:10 - 14

Lozano, G. M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal. Tesis licenciatura. Universidad de Coahuila. Escuela de Agricultura. Saltillo, Coahuila, México.

McDonald, I. M. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. J. of Agric. Sci. 96: 251 – 252.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greehalgh. 1975. Nutrición Animal. 2da. Ed. Editorial Acribia. Zaragoza España

Marroquín, J. S. 1964. Estudio ecológico y dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. INIF. Publicación Especial. México, D. F. pp. 166.

Montes, I. C. E. 2003. Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del Genero *Opuntia*, cortadas en invierno. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Murillo, S. M. J. M. Fuentes, R. M. Torres, H, F. Borrego, E. y R. Gutiérrez, A. 1994. In vitro protein digestibility of two *Opuntia* genotypes after the addition of yeast, ammonia and urea. 5th annual Texas prickly pear council convention. Kingsville, Texas.

Orskov, E.R., y McDonald. 1979. The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate passage. *J. Agric. Sci* 92:499-503.

Ramírez L. R. G. Alanís F. y Ma, A. Núñez G. 2000. Dinámica estacional de la digestibilidad ruminal de la materia seca del nopal. *Revista Ciencia UANL*. Vol. III, No. 3: 267 – 273. Monterrey, N.L. México.

Sampayo, R. O. 1971. Efectos de la suplementación dietética con nopal (*Opuntia chrysacantha* berg) en la producción de la leche de vacas holstein. Tesis Licenciatura. I. T. E. S. M. Monterrey, N.L. México.

Tilley, J. M. y Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition, Comstock, Cornell University Press. Ithaca, New York, 475 pp.

Velásquez, R. Y. L. 2007. Degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor. Valdivia, Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fav434d/doc/fav434d.pdf>. Consultado 25 febrero de 2011.

APENDICE

Cuadro 7.1. Análisis de varianza de la digestibilidad in vitro de la materia seca de *Opuntia spp.*

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	6	6333.164063	1055.527344	4015.9343	0.000
Error	14	3.679688	0.262835		
Total	20	6336.843750			

Coeficiente de variación= 0.76%