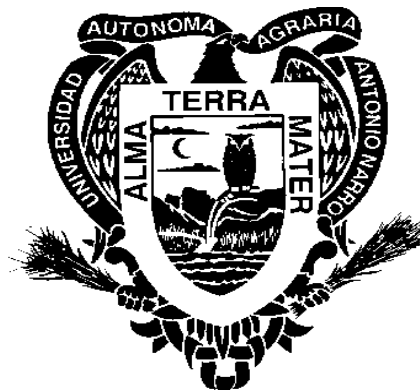


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



Digestibilidad *in situ* de 4 especies de Nopal (*Opuntia* spp)

POR

LEOBARDO JIMÉNEZ CRUZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Enero del 2004.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

TESIS

Digestibilidad *in situ* de 4 especies de Nopal (*Opuntia* spp)

POR

LEOBARDO JIMÉNEZ CRUZ

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADO POR:

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez

Presidente

Mc. Lorenzo Suárez García

Sinodal

Mc. Manuel Torres Hernández

Sinodal

Mc. Ramón F. García Castillo.

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Enero del 2004.

DEDICATORIA.

A Dios por iluminar mi camino cuando más lo necesite y ayudarme a no renunciar en los momentos más difíciles de mi carrera.

Dedico con todo mi corazón éste trabajo a mis padres al Sr. Fernando Jiménez R. Y a la Sra. Clara Cruz A. Como un pequeño atributo a su noble sacrificio para hacer de mi una persona de bien y por todo lo bueno que me han dado durante toda mi vida: Pero quiero dedicarlo en especial a mi madre, a la que admiro y respeto por ser una mujer maravillosa y que ha sido mi apoyo más firme en mi formación como profesionista, y quien ha sacrificado tantas cosas a cambio de nada.

A mis queridos hermanos: José Alfredo, Arminda y Griselda. Por el apoyo que siempre me brindaron, por la confianza que depositaron en mi y por todo lo que nos une, a quienes les deseo lo mejor de la vida.

Para una persona de quien guardo tan bonitos y hermosos recuerdos y de la que siempre estaré orgulloso de ser su nieto, que es mi motivo de inspiración para lo que hasta ahora soy y seré; con muchísimo cariño, respeto y más que nada admiración para mi abuelita Lucinda Raymundo.

A mis sobrinos. Salvador, Roberto, Alondra M. Fernando y Eveli. Por su amor y cariño que depositaron en mi.

A mi tía Hinoeme. Por su amor y cariño que siempre me brindo y que siempre estuvo en los momentos cuando más lo necesite.

A mis tíos(as), primos(as) y sobrinos(as) y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para la realización de éste trabajo

AGRADECIMIENTOS.

A mi “ALMA TERRA MATER” por brindarme la oportunidad de seguir preparándome como persona y profesionalista, instruyéndome en el difícil camino de la vida del que no se tiene regreso y que ahora es mi propio destino.

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez, le doy mis más sinceros agradamientos por la oportunidad que me brindo para realizar este trabajo, contando en todo momento con su apoyo incondicional y sus

conocimiento tan valiosos en el transcurso de este trabajo para poderlo llevar acabo.

Al Ing. M. C. Lorenzo Suárez Gracia, por su valiosa asesoría en el análisis estadístico para poder salir adelante con este trabajo.

Al Ing. M. C. Manuel Torres Hernández, por su valiosa asesoría en la revisión de este trabajo.

A mis maestros que en forma desinteresada me transmitieron sus conocimientos para mi formación como profesionista.

A todos mis compañeros de la generación 94, principalmente de la especialidad de zootecnia.

A todos mis amigos e ingenieros: Ing. José Luis G., Fernando, Humberto, Sequera, Abel, Eva Rosales, Luz, Hilda, Nelly, Sanjuana, Samuel, Lorena, Vanesa , Lucas, Francisco L., Sonia, Jorge Orvelin, Julio, Carlos T., Florencio Otoñes., Pedro, Mauricio, Moisés, Favio, Medardo, Benito, Martín, Eduardo, Jorge, Edgar. Gracias por la amistad y por su apoyo que me han brindado durante mi carrera universitaria.

CONTENIDO

Dedicatorias.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Indice de Cuadros.....	ix
Indice de Figuras.....	xi
Resumen.....	xii
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Hipotesis.....	4
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Generalidades del Nopal.....	5
2.2 Origen.....	5
2.3 Clasificación taxonómica.....	6
2.4 Descripción botánica.....	7
2.5 Fisiología de la planta.....	9
2.6 Distribución.....	9
2.7 Valor nutritivo del nopal.....	13
2.8 Utilización de Opuntia ssp.....	14
2.8.1 Forraje.....	14
2.8.2 Verdura.....	16

2.8.3 Fruta.....	17
2.8.4 Industrial.....	18
2.9 Importancia del Genero Opuntia en las zonas áridas.....	20
2.10 Métodos de reproducción y propagación del nopal.....	21
2.11 Digestibilidad del Nopal.....	21
2.12 Técnica de la digestibilidad in situ.....	23
2.13 Medición de las tasa de degradación ruminal.....	24
2.14 La técnica de la bolsa de Nylon en la digestibilidad in situ.....	26
2.15 Factores que afectan la digestibilidad in situ.....	27
III.- MATERIALES Y METODOS.....	30
3.1 Descripción del área de estudio.....	30
3.2 Material Genético en evaluación.....	30
3.3 Digestibilidad in situ por el método de la bolsa de Nylon.....	31
3.4 Materiales utilizados.....	32
3.5 Procedimiento.....	33
3.6 Análisis estadístico.....	34
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 Digestibilidad in situ de la materia seca (DMS).....	35
4.2 Análisis proximal.....	45
V.- CONCLUSIONES.....	47
VI.- LITERATURA CITADA.....	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación taxonómica del nopal.....	6
Cuadro 2.2 Análisis bromatológico de Opuntia spp. en diferentes localidades en el estado de Coahuila.....	13
Cuadro 2.3 Principales especies de Opuntia utilizadas como forraje en los agostaderos del norte del país.....	14
Cuadro 2.4 Principales especies de Opuntia utilizadas para verdura.....	17
Cuadro 2.5 Principales variantes de nopal tunero cultivados en México..	17
Cuadro 2.6 Productos de tuna y nopal.....	19
Cuadro 2.7 Total de Nutrientes Digestibles del nopal evaluados en borregos.....	22
Cuadro 4.1 Medias de respuestas obtenidas en la digestibilidad in situ de la materia seca (DMS) de las cuatro especies de Nopal.....	36
Cuadro 4.2 Comparación de medias de tratamientos de la variable digestibilidad de las cuatro especies.....	38
Cuadro 4.3 Comparación de medias de la variable digestibilidad para el factor tiempo de incubación.....	38
Cuadro 4.4 Comparación de medias de la variable digestibilidad para Interacción tratamiento por tiempo de incubación.....	40

Cuadro 4.5 Análisis Bromatológico de las cuatro especies de nopal.....46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del Tratamiento 1.....	42
Figura 2 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del Tratamiento 2.....	42
Figura 3 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del Tratamiento 3.....	43
Figura 4 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del Tratamiento 4.....	43

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la digestibilidad *in situ* de cuatro especies de nopal a diferentes periodos de tiempo (0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 hr.), utilizando un toro fistulado de la raza Holstein con un peso de 700 Kg. por el método de la bolsa de Nylon, para el análisis de los resultados se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de (4 x 7) con 2 repeticiones.

Los resultados de la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) para la especie *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* tuvieron valores en el tiempo cero hr. de 10.60%, 3 hr. 21.07%, 6 hr. 28.51%, 12 hr. 35.57%, 24 hr. 47.73%, 48 hr. 68.81% y 72 hr. 86.27%. La DMS de la *O. rastrera* a las cero hr. fue de 20.10%, 3 hr. 23.38%, 6 hr. 33.90%, 12 hr. 35.71%, 24 hr. 39.84%, 48 hr. 41.74% y 72 hr. 54.67%, *O. megacantha* presentó resultados de DMS en el tiempo cero hr. de 5.60%, 3 hr. 10.79%, 6 hr. 12.19%, 12 hr. 28.72%, 24 hr. 32.88%, 48 hr. 49.15% y 72 hr. 57.25% y para *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* la DMS en el tiempo cero fue de 8.21%, 3 hr. 17.06%, 6 hr. 17.30%, 12 hr. 18.28%, 24 hr. 32.37%, 48 hr. 54.13% y 72 hr. 62.56%.

El análisis proximal se determinó de acuerdo con la A.O.A.C. en la variable proteína para *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* presentó 14.13%, *O. rastrera* 5.73%, *O. megacantha* 6.08% y *O. lindheimeri* Var. *Subarmatha* 10.24%. con respecto a la variable fibra, *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 10.64%, *O. rastrera* 13.85%, *O. megacantha* 10.84% y *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* 14.07%. en extracto etéreo *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 2.04%, *O. rastrera* 1.78%, *O. megacantha* 1.62% y *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* 2.09%. para extracto libre de nitrógeno, *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 42.26%, *O. rastrera* 45.59%, *O. megacantha* 47.25% y *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* 46.06% y para la variable ceniza *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 19.42%, *O. rastrera* 28.23%, *O. megacantha* 32.89% y *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* con 24.92%.

Las cuatro especies de Nopal presentaron buena digestibilidad, siendo superior la especie *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri*, seguida por *O. lindheimeri* Var. *subarmatha*, *O. megacantha* y presentando menor digestibilidad *O. rastrera*.

Los resultados indican que a mayor tiempo de incubación mayor será la degradación de la MS.

De acuerdo al análisis proximal, *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* presentó mejor resultado de proteína, siendo inferior *O. rastrera*. Para la variable fibra *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* fue superior, presentando menor resultado *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri*, en extracto etéreo *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* presentó mejor resultado y *O. megacantha* presentó menor

resultado y para la variable cenizas *O. megacantha* fue superior, presentado menor resultado *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri*.

I.- INTRODUCCIÓN.

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. En ellas, la fuente principal de humedad ocurre en el verano con lluvias de carácter torrencial y de baja magnitud, lo que ocasiona por un lado, que la penetración de agua al suelo sea deficiente y, por el otro, que se evapore rápidamente debido a las altas temperaturas presentes en esa época.

Lo anterior ha originado que los productores de ganado recurran a la utilización de plantas adaptadas a la sequía, entre las que Marroquín, et al. (1964) menciona a considerables especies del género *Opuntia*. De ellas, y en concordancia con Martínez (1968) el nopal rastrero que crece en forma silvestre representa un recurso forrajero particularmente importante por su gran volumen de consumo.

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 y señala

también que la explotación de las nopaleras es más fuerte en el norte del país, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; donde argumentan su uso en que es un forraje fresco, succulento, de buena gustocidad y susceptible de explotarse durante todo el año (Sampayo, 1971). En la región de Nuevo León el 64% de los Ganaderos lo utilizan en mayor o menor cantidad durante todo el año (Borrego 1986).

El nopal es un forraje succulento, pero su contenido protéico es bajo en comparación con otros forrajes; pero no se debe olvidar las posibilidades que se tienen para aumentar su valor nutritivo, si se mezcla con otros concentrados en la alimentación del ganado Esteva (1986) citado por Gutiérrez (1994) y que al mezclarlo con otros alimentos se incrementa su digestibilidad Hare (1972) citado por Lastra (1978).

Así entonces, sabiendo que el nopal se encuentra distribuido en casi todo el territorio mexicano, y su mayor importancia la tienen los estados del Norte González (1978) citado por Burgos (1983), y que su costo comparado con otros forrajes es menor; se pretende lograr una utilización de un alimento propio de la región, de bajo costo y de alto valor nutritivo, el cual en su mayor porción sea digerido y aprovechado por el ganado.

ANTECEDENTES.

El cultivo de nopal y su aprovechamiento se remonta a las antiguas civilizaciones mesoamericanas y su importancia en la vida social, económica y religiosa llegó a ser tal, que determinó las rutas migratorias de las tribus nómadas de Áridoamérica, los asentamientos humanos en el centro del país, formó parte del escudo de Tenochtitlan y es símbolo que se conserva hasta nuestros días.

Se considera que el 52.2% de la superficie nacional está ocupada por zonas áridas y semiáridas, y que las condiciones climáticas que prevalecen en estas impiden la producción de otros cultivos, lo que convierte al nopal en una de las alternativas económicas más viable para la producción pecuaria.

En la actualidad, el nopal ocupa en México un área de más de 3 millones de ha., mayoritariamente silvestre, del cual se extrae un conjunto numeroso de productos con una amplia gama de aplicaciones.

JUSTIFICACIÓN.

La digestibilidad en Nopal Forrajero (*Opuntia* spp.) es importante conocerla y determinarla para su utilización como una fuente de alimentación para el ganado, en las comunidades de matorrales donde existen los nopales, por tal motivo el presente trabajo brinda la oportunidad de conocer la digestibilidad del Nopal para obtener un mejor aprovechamiento no solo como fuente de agua para los animales en tiempos de sequía, sino también como fuente de alimentación para el ganado.

OBJETIVOS.

- Determinar la digestibilidad del Nopal (*Opuntia* spp.) en las diferentes especies y tiempos de incubación.
- Determinar el análisis proximal de las cuatro especies de nopal.

HIPÓTESIS.

- Existe diferencia en la digestibilidad *in situ* de la MS. en las cuatro especies de nopal estudiadas
- Existe diferencia en la composición química de las cuatro especies de nopal estudiadas.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA.

GENERALIDADES DEL NOPAL.

En América el Nopal ha desempeñado desde tiempos muy remotos un papel importante en el desarrollo de las culturas del centro de México. La explotación de los recursos renovables ha constituido por mucho tiempo la base de la economía de la vida del hombre del campo sobre todo en la región árida del norte de México, y los sistemas de manejo y explotación actuales, que se han desarrollado en forma empírica pasando de generación en generación, siendo de carácter destructivo en detrimento de los recursos nativos en algunos casos como el Nopal. Sin embargo el mal manejo que se le ha dado a través del tiempo, ha permitido que un recurso natural, símbolo de nobleza y riqueza, hoy en día paradójicamente se le asocie con la miseria, ignorancia y marginación (Bravo, 1978).

ORIGEN.

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

En México se localizan 61 géneros de los 92 que existen en América del norte, lo que lo ubica como centro de diseminación (Bravo, 1978); donde ocupa cerca de 3 millones de hectáreas, distribuidas en 11 estados del país principalmente.

CLASIFICACIÓN TAXONOMICA.

Según Bravo (1978), la ubicación taxonómica (Cuadro 2.1) de la familia Cactaceae ha estado sujeta a variaciones dentro de las categorías superiores a ella; igualmente, las entidades taxonómicas que la integran han experimentado cambios en su clasificación con base en los conceptos científico y filosóficos que prevalecen en cada tiempo.

Cuadro 2.1 Clasificación Taxonómica del Nopal. (Bravo,1978. Modificado con base en Cronquist, 1981).

Reino	Vegetal
Subreino	Hembriophyta
División	Hembriophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Opuntiales
Familia	Cataceae
Subfamilia	Opuntioideae

Tribu	Opuntiae
Género	Opuntia
Subgénero	Opuntia (antes Platyopuntia)
Especie	spp

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

Varios autores han elaborado descripciones detalladas de la morfología de las especies de nopales entre ellos Ayala (1987), Bravo- Hollis (1978), Britton y Rose(1963), Hernandez (1973), por lo que solo se describirá brevemente las características morfológicas del género Opuntia.

Plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas. Tronco bien definido o con rama desde la base. Ramas erectas, extendidas o postradas. Artículos globosos, claviformes, cilíndricos o aplanados (cladodios) muy carnosos o leñosos.

Hojas con limbo pequeño, cilíndrico carnosos, muy pronto caducos. Areolas con espinas, pelos gloquidas y aveces glándulas; generalmente las de la parte superior de los artículos son las productoras de flores; espinas solitarias o en grupos, de sección redondeada o aplanada, desnudas o con vainas papiráceas, de colores variados; gloquidas usualmente numerosas, naciendo en la parte superior de la areola. Flores generalmente

hermafroditas, usualmente una en cada areola; ovario ínfero, con una cavidad y muchos óvulos, rodeado de un pericarpelo de origen axial, más o menos tuberculoso, cuyas areolas llevan pequeñas brácteas caducas, gloquidas y espinas más o menos numerosas o ausentes, perianto regular, segmentos exteriores del perianto verdes o coloridos, gradualmente en transición con los segmentos interiores del perianto, éstos extendidos y de colores amarillos, anaranjado, rojo hasta purpúreo; estambres numerosos, mucho más cortos que los pétalos, frecuentemente sensitivos, estilo único, grueso; lóbulos de estigmas cortos. Fruto en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico, a menudo comestible. Semillas provistas de un arilo grueso, duro, blanco, que rodea a la semilla, embrión curvo; cotiledones grandes.

La planta es arborescente con tallo no definido, constituidos de pencas o cladodios; alcanza una altura de 1 a 1.5 m. La forma de reproducción es vegetativa o sexual mediante pencas o fracciones de pencas. El contenido de agua en el nopal alcanza valores de 90%. La cantidad de minerales que se localizan formando parte de los órganos y tejidos del nopal son el calcio, potasio, así como magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio y manganeso, predominando en forma de carbonatos y en ocasiones como cloruros, sulfatos y pequeñas cantidades de fosfatos.

Las pencas y tallos tienen espinas. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales.

FISIOLOGIA DE LA PLANTA.

Se considera a la familia de las cactáceas como pertenecientes al tipo fotosintético C-3 con metabolismo ácido crasuláceo (CAM) (Stan, 1973; Smith, 1979; citado por Romo, 1984).

Las cactáceas como respuesta a las condiciones ecológicas y edáficas almacenan grandes cantidades de agua en sus tejidos abriendo sus estomas durante la noche para evitar la transpiración y pérdida de agua absorbiendo el CO₂ del aire, el cual convierten en ácidos orgánicos en especial en ácidos málico e isocítrico. Durante el transcurso del día los estomas permanece cerrados al mismo tiempo los ácidos orgánicos son transformados para liberar CO₂ el cual será utilizado para la fotosíntesis. De este comportamiento fisiológico se deduce que exista una alta eficiencia en el uso del agua tan indispensable en este medio ambiente, pues el índice de

transpiración es mínimo comparado con el de otras planta permitiéndole a la planta utilizar esa agua almacenada en los momentos críticos de humedad.

DISTRIBUCIÓN.

La distribución del género *Opuntia* en América se reporta desde lo 50° latitud norte, hasta la patagonia, Argentina, en el hemisferio sur.

Distribución Nacional.

En México el nopal está presente en todo el país, radicando su importancia desde el punto de vista pecuario en los estados del norte. González (1978) citado por Ruiz (1986) indica que para los estados de Coahuila, Nuevo león y Tamaulipas, las especies forrajeras más importantes son *Opuntia cantabrigensis* (cuijo) y *Opuntia lindheimeri* (cacanapo).

Para Zacatecas y San Luis Potosí, las especies más importantes son *Opuntia streptacantha* (cardón) y *Opuntia leucotricha* (duraznillo).

Marroquín (1964), distingue tres zonas nopaleras dentro del territorio Centro-Norte del país.

a). Zona nopalera potosina-zacatecana. Esta es un área cactológica que incluye parte de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato. Las

temperaturas medias mensuales varían de 12.0 a 20.0 ° C; el sustrato, que es de origen ígneo formado por rocas, de carácter efusivo, riolitas principalmente, sobre el cual predominan matorrales cracicaules compuestas por: *Opuntia streptacantha*, *Opuntia leucotricha*, *Opuntia robusta* y *Opuntia imbricata*.

b). Zona nopalera del norte de México. Comprende el norte de Tamaulipas, Norte y Oriente de Nuevo León. Es una zona de llanuras y colinas de poca elevación con vegetación de mezquite *Opuntia-pastizal*. Tiene una variación con la precipitación mensual de 5 mm. En la época seca a 100 mm. En la estación lluviosa, para las temperaturas medias mensuales, de 11.0 ° C, a más de 30 ° C para los meses más calientes. Es una zona de gran importancia ganadera. Las especies que más se presentan son: *Opuntia lindheimeri* y *Opuntia engelmannii*.

c). Zona nopalera difusa. Es la región más amplia del país, aunque con una menor densidad de individuos por ha. Se extiende desde las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua. Es una zona de planicies y sierras calizas con matorrales desérticos microfilo y matorral desértico rosetófilo. La

precipitación mensual varía entre 5.0 mm. A 60.0 mm. y la temperatura media mensual varía entre 11.0 ° C y 30 ° C con excepción de la porción más septentrional del estado de Chihuahua. En estas zonas se encuentran los siguiente nopales: *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia macrocentra* y *Opuntia microdasys*.

Para el estado de Coahuila COTECOCA (1979), reporta la presencia del género *Opuntia* en la mayor parte de los tipos de vegetación que conforman al estado, excepto en tipos de vegetación de bosques tales como: *Aciculifolio*, *aculiescuamifolio*, *latifoliado esclerófilo caducifolio* y en tipos de vegetación de pastizal como: *Amacollado arborescente*, *amacollado abierto* y *amacollado arbosufrutescente*.

Distribución Mundial.

El Nopal se ha difundido por todo el planeta ya que se encuentran en lugares como la India, Sicilia, África del Norte y África del Sur, Hawai, Madagascar, etc. Sin embargo en algunos de estos lugares, se considera como maleza por lo cual se combate (Meyer y Mclanghlin, 1981; Johnson, 1977; citados por Ruiz 1986).

En países como África del Sur, África del Norte, Madagascar, Argelia, Túnez, España, Italia, India. Argentina, Brasil, Guatemala y Estados Unidos se están realizando importantes estudios en nopal, con el objeto de lograr un mejor aprovechamiento de este recurso como forraje (Flores, 1977).

VALOR NUTRITIVO DEL NOPAL.

El valor nutritivo del nopal (Cuadro 2.2) depende de uno o más factores, que influyen sobre él en mayor o menor grado; siendo algunos de ellos: aspectos genéticos (variedades artificiales o naturales) estado de madurez y edad de la planta, estación del año, manejo y 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).

Cuadro 2.2 Análisis bromatológico de *Opuntia* spp., de diferentes localidades en el estado de Coahuila. (Gutiérrez, 1994)

Determinación	<i>Opuntia</i> spp.	<i>Opuntia</i> rastrera	<i>O. lindheimeri</i>
---------------	---------------------	-------------------------	-----------------------

	Saltillo, Coah.	Ramos Arizpe	Zaragoza, Coah.
Humedad	88.28	87.51	85.71
Proteína	0.49	0.54	0.56
Carbohidratos	6.05	7.70	7.10
Extracto Etéreo	0.30	0.20	0.45
Fibra cruda	1.96	1.80	2.90
Cenizas	2.96	2.26	3.28

UTILIZACIÓN DE OPUNTIA spp.

Dentro de la gran diversidad de especies del género *Opuntia* existen especies que por sus características específicas son ubicadas en diferentes rubros para su utilización.

Forraje.

En regiones áridas y semiáridas, varias especies de nopal se utilizan como forraje para alimentar el ganado en épocas de sequía o durante el invierno (Cuadro 2.3); aunque no es un alimento completo, sí aporta fibra, minerales y principalmente una cantidad importante de agua que los

animales necesitan. Al respecto, Blanco (1979) manifestó que el nopal puede emplearse como alimento durante la sequía y como parte de la alimentación habitual de los rebaños que han sido alimentados prolongadamente con forrajes secos, con efectos benéficos inmediatos.

Cuadro 2.3 Principales especies de *Opuntia* utilizadas como Forraje en los agostaderos del norte del país (Flores Y Aguirre, 1989).

Especie	Nombre común
<i>Opuntia streptacantha</i>	Cardón
<i>O. leucotricha</i>	Duraznillo
<i>O. robusta</i>	Tapón
<i>O. cantabrigiensis</i>	Cuijo
<i>O. rastrera</i>	Rastrero
<i>O. microdasys</i>	Cegador
<i>O. lindheimeri</i>	Cacanapo
<i>O. engelmannii</i>	Rastrero
<i>O. azurea</i>	Coyotillo

O. stenopetala	Serrano
O. fulgida	Cardenche
O. choya	Choya
O. macrocentra	Chivero
O. chrysacantha	Espina amarilla
O. lucens	Penca redonda
O. tenuisoia	Coyotillo

De la Cruz et al. (1983), describen diferentes formas de aprovechamiento del nopal forrajero.

1. Amontonar hierbas, secar alrededor de la planta y prenderle fuego. Esto implica la muerte de la planta, ya que el tronco es el mas expuesto a la intensidad del fuego.
2. Cortar las pencas, chamuscarlos en ambos lados sobre un fuego de hiervas y luego picarlas antes de dársela al ganado.
3. Cortar el borde de la penca, donde hay más espinas y dejar que el animal la consuma. Lo utilizan los pastores de cabras y borregos.
4. Uso de chamuscador de petróleo, para usarlo con la planta en pie (S.L.P.) o bien chamuscar pencas ya cortadas (establos de Coahuila y Nuevo León).
5. Picadoras de nopal utilizadas en establos.
6. Uso de calderas (USA), no utilizadas en México por su costo.
7. Fermentación del nopal y de esta manera se ablanda las espinas.

Verdura.

El consumo de las pencas tiernas (nopalitos) o inmaduros del nopal (*Opuntia* spp) como verdura (Cuadro 2.4), tanto frescas como en diversos guisados, constituye una parte importante en la dieta familiar de los habitantes de ciertas regiones del país. Por un lado, en estas regiones se tienen las condiciones ambientales propicias para el cultivo del nopal, y por otro, aún más importante, los hábitos alimenticios de la población dan a los nopalitos gran importancia dentro de la dieta. Recientemente, en Sudáfrica se ha promovido el consumo del nopalito en poblaciones rurales (Mizrahi y Nerd, 1999).

Cuadro 2.4 Principales especies de *Opuntia* utilizadas para verdura.

(Carranza 2001).

Especie	Nombre común
<i>Opuntia robusta</i>	Tapón
<i>Opuntia streptocantha</i>	Cardón
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Pelon

Fruta.

Los frutos frescos (Cuadro 2.5) generalmente son comestibles; la pulpa constituye entre 60 y 70% del fruto y contiene en promedio, de 12 a 15% de azúcares del peso fresco, entre los que predomina la fructosa y la glucosa. De estos azúcares, la fructosa es uno de los edulcorantes más aceptados a nivel mundial, dado que actualmente se está usando como sustituto de la sacarina. La tuna puede consumirse fresca o industrializada y es posible obtener jugo para preparar mieles, jarabes, mermeladas, melcochas, queso de tuna, colorante y aguardiente Valdez (1986) citado por Carranza (2001).

Cuadro 2.5 Principales variantes de nopal tunero cultivados en México.

(Flores y Gallegos 1993).

Variante	Entidades donde se produce	Especie
Villanueva	Puebla	
Alfajayucan	México e Hidalgo	O. amyclaea; según Bravo (1978) es O. megacantha
Burrona	Zacatecas, Jalisco	
Crisalina	Zacatecas, Jalisco y Aguascalientes	O. amyclaea
Reyna	Guanajuato, Zacatecas	

Gavia	San Luis Potosí.	
Esmeralda	Guanajuato, Querétaro.	
Rojo pelón	Gto, Zac, Jalisco, S.LP.	
Rubí reyna	Zacatecas, S.L.P.	
Torreaja	Jal, Zac, Aguascalientes.	
Morada	Aguascalientes.	
amarilla		
Monteza	Zacatecas, Jalisco.	
Cardón	Guanajuato Querétaro	O. streptacantha

Industrial.

A partir de las pencas maduras, mediante diversos procesos, es posible elaborar productos alimenticios (Cuadro 2.6), medicinales, de limpieza y aseo personal (champús, enjuagues y cremas entre otros). El nopal también es fuente de celulosa, hemicelulosa y pectinas que son utilizada para modificar el estado físico (geles, pastas u otros) en alimentos, medicamentos y cosméticos (Méndez *et al.* 1999).

Es importante destacar el uso del nopal como sustrato para el desarrollo del insecto denominado cochinilla (*Dactylopius coccus*, Homóptera) para la obtención de un colorante conocido como grana.

IMPORTANCIA DEL GÉNERO OPUNTIA EN LAS ZONAS ÁRIDAS.

El nopal es importante en una amplia área del territorio mexicano, debido a que cerca del 60% de la República Mexicana es zona árida o Semiárida y su problema principal es la escasez de agua Granados y Castañeda (1991). Flores (1994) señala que el cultivo del nopal en algunas regiones está relacionado con la improductividad agrícola del área, Flores y Gallegos (1993) indican que el cultivo del nopal es de los pocos que se pueden adaptar a las condiciones difíciles de temporal de las zonas áridas y semiáridas.

Cuadro 2.6 Productos de Tuna y Nopal. (Sáenz, 1999).

Órgano o Partes	Producto
Cladodios	Nopalitos en curtidos y en salmuera
	Mermeladas
	Harina

	Alcohol
	Fibra dietética y mucílago
Tunas	Jugos y Néctares
	Mermeladas y Jaleas
	Colorantes de la pulpa y pigmentos de la cáscara
	Alcohol y Vinos
	Fruta enlatada
	Fruta Congelada
Semillas	Aceite

MÉTODOS DE REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DEL NOPAL.

El nopal puede ser propagado sexual o asexualmente. Con la propagación sexual (a partir de semillas) las plantas tardan más tiempo en iniciar su producción y resultan heterogéneas en diversas características morfológicas y fenológicas debida que se generan mediante polinización cruzada (Estrada *et al.*, 1994). Por otro lado, la propagación asexual

(vegetativa) puede realizarse a partir de pencas completas o de fragmentos (Flores y Gallegos 1993).

1. Pencas completas. Este método se utiliza cuando existe suficiente material para la propagación y cuando la distancia que separa el lugar de donde se obtendrá la planta y el sitio de plantación no estén retirados. las pencas seleccionadas para reproducción deben estar completas, sin mutilaciones y provenir de una nopalera que tenga entre cinco y ocho años de edad. La edad optima de las pencas es de dos a tres años y deben estar sanas, sin plagas.
2. Conjunto de dos o más pencas. Se le denomina “brazo”, se utiliza cuando la nopaleda está cercana del huerto que se pretende establecer. Este método es recomendable porque es más económica que el de una penca sola.
3. Fracciones mínimas de una penca. Cuando el material vegetativo es escaso y su transportación es costosa, es posible el empleo de fracciones de una penca.

DIGESTIBILIDAD DEL NOPAL.

La digestibilidad es considerada como la porción real digerida por los animales, es importante para valorar la calidad del nopal como forraje, entre

algunos aspectos que afectan la digestibilidad son: la fecha de corte, la edad del brote cuando se corta o pastorea, el daño causado por el medio ambiente y el mal manejo del forraje.

Flores y Bauer, (1977) trabajando con nopal *Opuntia ficus-indica* var. Copena F-1, en un lote de borregos cuyos resultados se presentan en el (cuadro 2.7), concluyen de la siguiente forma.

1. El nopal contiene gran cantidad de agua y poco contenido de materia seca.
2. Por la energía digestible que contiene debe ser considerada como un forraje tosco de épocas de escasez y complementarse con pajas, rastrojos y silos.
3. Es un forraje tosco por el nivel de energía metabolizable. ($1.83 = 2.2 \times 0.82$).

Cuadro 2.7 Total de Nutrientes Digestibles del Nopal evaluados en borregos. (Flores y Bauer, 1977)

	Materia seca	Materia Orgánica	Proteína Cruda	Extractó Etéreo	Fibra Cruda	E.L.N	Nit. Dig. Total	Energia Kcal/Kg
Total	7.96	10.05	0.51	0.18	0.12	8.25	-	3102.10
Digestible	4.82	6.58	0.32	0.14	-	6.67	6.67	7.13

El valor nutritivo de los forrajes expresados como consumo de nutrientes está compuesta por tres variables que aparecen en la siguiente formula.

Consumo Nutriente = Consumo Forraje x Dig. Forraje x Aprovechamiento
(eficiencia de utilización de los nutrientes digestibles).

De los tres componentes que determinan el consumo de nutrientes, la digestibilidad es la más importante, debido a la influencia que tiene ésta sobre el consumo y la eficiencia de utilización de los nutrientes del forraje Raymond (1986) citado por Gutiérrez (1994).

Conocer la digestibilidad de un forraje es importante, porque no es proporcional al contenido de nutrientes, y por tanto, no se puede predecir con el análisis químico Flores (1977) citado por Gutiérrez (1994).

TÉCNICA DE LA DIGESTIBILIDAD *In situ*.

A través de la historia se han utilizado diferentes técnicas o procedimientos para determinar el valor nutritivo de los alimentos, tanto en el laboratorio como en el mismo animal; los cuales, en la actualidad son la base de métodos muy complejos y a medida que el conocimiento científico avanza, éstos se perfeccionan aun más. Aunque, los procedimientos de

laboratorios como fibra detergente ácido digestión *in vitro*, etc., son actualmente asequibles, simplemente pretenden imitar el proceso de digestión natural que ocurre en el sistema digestivo de los animales. Por lo que la técnica más utilizada en la actualidad es la digestibilidad *in situ* Quin *et al.*, (1938) citado por Orskov *et al.*, (1980). Dentro de las principales ventajas de ésta técnica se pueden destacar las siguientes: Dan un rápido estimado de la tasa y el grado de la degradación de los alimentos de forma simultánea en el rumen permitiendo analizar y evaluar los alimentos. Inicialmente esta técnica fue utilizada por Quin *et al.*, (1938) citado por Romero (1990); usando bolsas cilíndricas de seda muy fina para medir la cantidad de alimento digerido en el rumen de ovejas. Posteriormente, la seda fue reemplazada por materiales sintéticos totalmente resistentes a la degradación ruminal; así Schoeman *et al.*, (1972), citado por Hernández (1995) utilizaron bolsas de poliéster, y Meherz y Orskov, (1977) sugirieron la utilización de bolsas de nylon, que junto con las de dacrón, son las más utilizadas actualmente.

MEDICIÓN DE LA TASA DE DEGRADACIÓN RUMINAL EN ALIMENTOS.

Un alimento, al ser ingerido por el animal, sufre modificaciones físicas y químicas en su estructura a lo largo del tracto digestivo, que se le conoce como degradación, y es la resultante de dos fuerzas competitivas que actúan simultáneamente sobre éste, la tasa de pasaje y la tasa de degradación (Mertens, 1977; Van Soest, 1982; Faichney; 1984. citados por Pezo, 1990).

La digestibilidad se define según el potencial de degradación del material, la tasa de degradación de esta fracción potencialmente degradable y su tiempo de paso en el rumen o degradación real, más la digestión que ocurrirá en el tracto digestivo posterior. Los cuales se enfatizarán dentro de los parámetros de la digestión ruminal que son:

a.- Degradabilidad Potencial: degradación que sufriría un alimento en el ecosistema ruminal si es que las condiciones presentes y el tiempo de retención, no fueran limitantes (Wilkins, 1978 citado por Pezo, 1990). En la actualidad no existe todavía un acuerdo, sobre cual es el tiempo de incubación para estimar la degradación de la M. S., pared celular, etc. pero para cuestiones prácticas, Orskov et al. (1980) propusieron que se requieren de 12 a 36 horas de incubación para alimentos concentrados; 24 a 60 horas para forrajes de alta calidad y de 48 a 72 horas para forrajes de mala calidad, sin embargo, diferentes estudios realizados con forrajes muy diversos indican que el tiempo óptimo de incubación de éstos para ésta determinación son 72 hr, (Cherney et al., 1986; citado por Pezo, 1990).

b.- Degradabilidad Inicial: Es la degradabilidad de un alimento que corresponde al valor de la digestibilidad obtenida en el tiempo cero, que esto representa las fracciones solubles (Miller, 1982, citado por Pezo, 1990). Por lo que se deben de hacer determinaciones testigo, sometiendo la muestra en agua a 37° C durante 10 segundos para corregir el error.

c.- Período de pre-fermentación: Este período no es un artificio de los modelos usados, sino que por el contrario, tiene sentido biológico puesto que

para que ocurra degradación de la fracción fibrosa se requiere que esta se hidrate, sufra alteraciones físicas y químicas, y que las bacterias celulolíticas se adhieran a la fibra, especialmente si se trata de los tejidos más lignificados que se degradan muy lentamente. Este período de pre-fermentación es la degradación de la fibra por la acción enzimática de los microorganismos ruminales.

d.- Tasa de Degradación Ruminal: Es la cantidad de sustrato que puede ser degradada por unidad de tiempo. Para la determinación de la tasa de degradación de los forrajes se requiere detener el proceso de digestión a intervalos de tiempo previamente establecidos, intervalos que varían en función del tipo de alimento y de la fracción cuya tasa de degradación se pretende evaluar. (Mertens y Ely, 1982; citados por Pezo, 1990), para lo cual se tiene los procesos de digestión *in situ*.

LA TÉCNICA DE LA BOLSA DE NYLON EN LA DIGESTIBILIDAD *In situ*.

La técnica de la bolsa de Nylon propuesta por Quin et al., (1938) Citado por Romero (1990), permite estimar la degradabilidad de los nutrientes; que consiste en colocar muestra de alimento en bolsas hechas de material indigestible (Nylon, Dacrón o Seda) en el rumen de animales fistulados. La degradabilidad se mide por la pérdida de materia seca o contenido de nutrientes después de un período específico de incubación. La técnica de la

bolsa de Nylon o fibra sintética ha sido utilizada por varios años para estimar la degradación de los alimentos en el rumen (Van Keuren y Heimemann, 1962; Mehrez y Orskov, 1977; Uden y Van Soest, 1984). Esta técnica presenta varias ventajas con respecto a otras técnicas, como son rapidez, bajo costo y evaluación de un gran número de ingredientes en menor tiempo (Ha y Kennelly, 1984).

Orskov et al (1980) menciona tres limitantes importantes de la técnica *in situ*. Primero: Dado que la muestra está contenida dentro de la bolsa no queda expuesta a mecanismos de disminución. Segundo: La muestra contenida en la bolsa no tiene la posibilidad de abandonar el rumen al igual que los contenidos del rumen de similar tamaño de partícula, y Tercero: En realidad lo que se mide es la reducción del material a un tamaño suficientemente pequeño para abandonar la bolsa y no necesariamente una degradación completa a componentes químicos evidentemente mas sencillos.

FACTORES QUE AFECTAN LA DIGESTIBILIDAD *In situ*.

Característica de la bolsa.

Material: Diversos materiales han sido usados en la construcción de las bolsas, Quin *et al.*, (1938), citado por Hernández (1995), utilizaron una seda fina, mientras que Schoeman *et al.*, (1972) y Mehrez y Orskov (1977),

autores citados por Romero (1990) usaron material de dacron obtenido de un paracaídas viejo. Por lo tanto las bolsas que se utilizan deben ser de dacron (poliéster), debido a que esta tela esta hecha de fibras soldadas y no tejidas las cuales deberán ser cosidas con hilo de poliéster, evitando dejar ángulos rectos en la base de las bolsas, las costuras deberán sellarse con un pegamento resistente de preferencia los de pegar vinil.

Tamaño de los poros: La porosidad del material de la bolsa tiene la finalidad de evitar la entrada de contenido ruminal no asociado con el alimento evaluado y permitir la entrada de las poblaciones microbianas para que efectúen su tarea fermentativa y al mismo tiempo restringir la salida de partículas alimenticias no degradables (Nocek, 1988). Los investigadores antiguos dieron gran énfasis al tamaño del poro en material de la bolsa ya que esto regula el pasaje de partículas sólidas en las bolsas. Se ha encontrado que materiales con poros de 20 u y 35 u dan pérdidas más pequeñas de MS que aquel material con poros de 53 u; Orskov et al, (1980) consideraron que las 10 u deben ser el máximo tamaño para un poro. La tela de nylon actualmente usada en el instituto Rowett tiene un tamaño de poro de 12 milimicras.

Área superficial de la bolsa: El tamaño óptimo de la bolsa ha sido estudiado por un numero de investigadores, el tamaño optimo es esencialmente un compromiso entre dos factores componentes. Por una parte hay la necesidad de tener la bolsa suficientemente grande en relación

al tamaño de la muestra usada, para así asegurar que el fluido ruminal pueda fácilmente entrar en la bolsa y mezclarse con la muestra. Por otra parte hay la necesidad de tener una bolsa suficientemente pequeña que pueda ser fácilmente retirada de la cánula ruminal.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad Metabólica y en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N), la cuál se encuentra situada en

Buenavista, Saltillo, Coahuila, a 8 Km. de dicha Ciudad. Sus coordenadas geográficas son 25° 22' 00" Latitud Norte y 101° 01' 00" Longitud Oeste, con una altura de 1743 msnm. Su tipo de clima según Koppen, modificado por García (1973) es BShwx (e') correspondiente muy seco, estepario, lluvias, escasa todo el año, extremo, la precipitación media anual es de 298.5 mm. Y la temperatura media anual es de 14.8 ° C (Agrometeorología, 1983).

MATERIAL GENÉTICO EN EVALUACIÓN.

Se evaluaron cuatro especies con características específicas, las cuales se encuentran en el campo experimental del Bajío en la U.A.A.A.N. y fueron identificadas por el departamento de botánica de la UAAAN.

Para este trabajo se utilizó, un toro fistulado de la raza Holstein de 700 Kg. de peso vivo aproximadamente, esto fue realizado a nivel de campo.

Para proceder a la evaluación se clasificaron por especie, tomando cada especie como un tratamiento quedando de la siguiente manera: T1 Opuntia lindheimeri Variedad lindheimeri, T2 Opuntia rastrera, T3 Opuntia megacantha, T4 Opuntia lindheimeri Variedad subarmatha. Para lo cual se utilizó una estufa, a una temperatura de 60-65 ° C para eliminar la humedad y

facilitar el molido. Las muestras fueron molidas en un molino marca willey con criba de 2 mm.

Por medio de la técnica de bolsa de Nylon se determinó la digestibilidad *in situ*, luego por medio de un análisis proximal de acuerdo con la A.O.A.C (1980), se analizaron las muestras determinado materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (grasa) (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y cenizas.

DIGESTIBILIDAD *IN SITU* POR EL MÉTODO DE LA BOLSA DE NYLON.

La técnica *in situ* consiste en colocar una cierta cantidad de muestra dentro de la bolsa de Nylon, dejando bien cerrada y posteriormente colocarla en el rúmen de los animales fistulados por cierto periodo de tiempo. Esta técnica permite determinar simultáneamente la cantidad de muestra que es digerida y la tasa a la que ésta digestión se realiza.

MATERIALES.

Los materiales utilizados para realizar esta técnica son:

1. Muestra molida con criba de 2 a 3 mm.

2. Bolsa de Nylon o de dacrón de 14 x 4 cm. Con doble costura en las que se vaciaron las muestras.
3. Hilo de nylon con las que se ataron las bolsas a 2.5 cm. de distancia de arriba hacia abajo.
4. Hilo plástico con el cual se ataron las bolsas dejando un espacio de entre 15 a 20 cm., entre bolsa y bolsa, y 30 cm. de antes de la primera bolsa se ató un contrapeso ó ancla y 50 cm. De la ultima bolsa a la cánula para permitir el libre movimiento de las bolsas en ambas fases del rúmen.
5. Un ancla ó contrapeso de alrededor de 100 gr. que se ató al hilo de plástico en cada fase o intervalo de tiempo en las que se sometieron las muestras.
6. animales: para esta prueba se utilizo un toro fistulado lo cual se mantuvo alimentado con una dieta similar (forraje), durante la evaluación.

PROCEDIMIENTO.

1. Se hicieron 4 pesadas de 5 gr. de muestra molida y seca dentro de la bolsa, se cerraron con hilo de nylon a 2.5 cm. de la costura de la parte de arriba hacia abajo quedando listos para la prueba. Una de las pesadas será el testigo.

2. Se colocaron las bolsas en el rúmen del animal fistulado. Las muestras del tiempo 72 hr. se introdujeron primero, posteriormente las del 48 hr. y así sucesivamente hasta el tiempo cero, al cabo de este tiempo de incubación, se extrajeron las bolsas cuidadosamente al mismo tiempo introduciendo a un recipiente con agua normal y se lavaron moviéndolas suavemente con los dedos, una vez limpios, se dejaron secar a temperatura ambiente para poder sustraer la muestra, posteriormente se dejaron en una estufa a 70 ° C durante 24 hr. y con la diferencia entre el peso de la muestra antes de la digestión y después se calculó la muestra digerida.

3. Las bolsas testigos se separaron y se introdujeron en agua destilada a 39 ° C por 5 minutos, para determinar la solubilidad al tiempo cero. Posteriormente fueron lavados con agua normal y secados a 70 ° C. Por 24 hr. para pesar las bolsas posteriormente, por ultimo calcular el porciento de digestibilidad mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{100 - (W3 - (W1 \times C1) \times 100}{W2}$$

$$100 - (W3 - (W1 \times C1) \times 100$$

$$\% \text{ DIV.} = \frac{\quad}{W2 \times \text{MST}}$$

Donde : W1 = Peso de la bolsa tarada.

W2 = Peso de la muestra.

W3 = Peso de la muestra después de la incubación.

C1 = Correlación de la bolsa (blanco) (peso final de la bolsa / peso inicial de la bolsa).

MS = Materia seca.

Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos de digestibilidad se analizaron por medio de un diseño completamente al azar con arreglo factorial de (4x7) con 2 repeticiones (Olivares, 1994). El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{lj} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

i = 1, 2, 3, 4. Tratamientos

j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Tiempos

k = 1, 2. Repeticiones

Para encontrar una respuesta sobre el porcentaje de digestibilidad en relación con el tiempo se llevó a cabo una correlación.

Con respecto al análisis proximal se compararon las medias de cada una de las variables.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Digestibilidad in situ de la Materia Seca (DMS).

Los resultados obtenidos de la digestibilidad *in situ* de la materia seca en el presente estudio se muestra en el cuadro 4.1 de las cuatro especies de nopal en los diferentes periodos de incubación.

Cuadro 4.1 Medias de respuestas obtenidas en la digestibilidad *in situ* de la Materia Seca (DMS) de las 4 especies de Nopal.

Tiempo (hr.)	O. lindheimeri Var. lind. (%)	O. rastrera (%)	O. megacantha (%)	O. lindheimeri Var. subarmatha (%)
0	10.60	21.10	5.60	8.21
3	21.07	23.38	10.79	17.06
6	28.51	33.90	12.19	17.30
12	37.57	35.71	28.72	18.28
24	47.73	39.84	32.88	32.37
48	68.81	41.74	49.15	54.13
72	86.27	54.67	57.25	62.56

Nota: O. Significa Opuntia y Var. variedad.

Una vez realizado el análisis de varianza para la variable digestibilidad, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, ($P > 0.01$) por lo que se procedió a realizar comparaciones de medias por el método de Tukey.

En el cuadro 4.2 se presenta la comparación de medias de los cuatro tratamientos, con valores de 42.94% para la Opuntia lindheimeri Var. lindheimeri, 35.63% para Opuntia rastrera, 29.99% Opuntia lindheimeri Var. subarmatha y 28.08% para Opuntia megacantha. Como se puede observar en el cuadro 4.2 las especies Opuntia lindheimeri Var. subarmatha y Opuntia megacantha son iguales, sin embargo son diferentes con respecto a las especies Opuntia lindheimeri Var. lindheimeri y Opuntia rastrera, indicando que existe diferencia significativa ($P > 0.05$).

Cuadro 4.2 Comparación de medias de tratamientos de la variable digestibilidad de las cuatro especies.

Tratamientos	Medias (%)
O. Lindheimeri Var. Lindheimeri	42.94 ^a
O. Rastrera	35.63 ^b
O. Lindheimeri Var. subarmatha	29.99 ^c
O. Megacantha	28.08 ^c

^{abc} = Literales diferentes muestran diferencias significativas ($P > 0.05$).

Los resultados en relación al tiempo se presentan en el cuadro 4.3, del tiempo cero a las 72 hr. Observándose diferencias significativas ($P > 0.05$), según resultados arrojados, en todos los tiempos de incubación existe diferencia ($P > 0.05$).

Cuadro 4.3 Comparación de medias de la variable digestibilidad para el factor tiempo de incubación.

Tratamiento (hr.)	Media (%)
72	65.1850 ^a
48	53.4587 ^b
24	38.2075 ^c
12	30.0688 ^d
6	22.9950 ^e
3	18.0788 ^f
0	11.1087 ^g

^{abcdefg} = Medias con literales diferentes muestran diferencias significativas (P>0.05).

Para las prueba de medias de la interacción (tratamiento x tiempo), se presentan en el cuadro 4.4 la especie *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* (T1) en los tiempos 24, 48, 72 hr., son estadísticamente iguales con las especies *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* (T4) en los mismo tiempos y con *O. rastrera* (T2) en el tiempo 72 hr. Al mismo tiempo *O. megacantha* (T3), en los tiempos 48, 72 hr. Presentan similitudes con las especies antes mencionadas. Presentan igualdades también entre las especies *O. megacantha* en los tiempos 12, 24 hr. y *O. rastrera* en los tiempos 6, 12, 24, 48 hr., así como en la especie *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* en el tiempo 12 hr. y a su vez con *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* en el tiempo 24 hr. De igual forma se

aprecian igualdades entre *O. rastrera* en los tiempos 0, 3 hr., *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* en los tiempos 3, 6, 12 hr. y *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* en el tiempo 3 hr. Por otra parte *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* en el tiempo 0 hr. *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 0 hr. y *O. megacantha* en los tiempos 0, 3, 6 hr. Mostraron resultados similares.

Cuadro 4.4 Comparación de medias de la variable digestibilidad para la interacción tratamiento por tiempo de incubación.

Tratamiento x tiempo	hr.	Media (%)
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>lindheimeri</i>	72	86.26 ^a
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>lindheimeri</i>	48	68.81 ^b
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>subarmatha</i>	72	62.56 ^{bc}
<i>O. megacantha</i>	72	57.25 ^{bcd}
<i>O. rastrera</i>	72	54.66 ^{cde}
<i>O. lindheimeri</i> var. <i>subarmatha</i>	48	54.12 ^{cde}
<i>O. megacantha</i>	48	49.16 ^{def}
<i>O. lindheimeri</i> Var. <i>lindheimeri</i>	24	47.73 ^{def}
<i>O. rastrera</i>	48	41.74 ^{efg}
<i>O. rastrera</i>	24	39.84 ^{efg}
<i>O. lindheimeri</i> Var. <i>lindheimeri</i>	12	37.57 ^{fgh}
<i>O. rastrera</i>	12	35.70 ^{fgh}
<i>O. rastrera</i>	6	33.96 ^{ghi}
<i>O. megacantha</i>	24	32.87 ^{ghi}

O. lindheimeri Var. subarmatha	24	32.37 ^{ghi}
O. megacantha	12	28.72 ^{hij}
O. lindheimeri Var. lindheimeri	6	28.51 ^{hij}
O. rastrera	3	23.38 ^{ijk}
O. lindheimeri Var. lindheimeri	3	21.07 ^{kl}
O. rastrera	0	20.10 ^{kl}
O. lindheimeri Var. subarmatha	12	18.28 ^{klm}
O. lindheimeri Var. subarmatha	6	17.30 ^{klm}
O. lindheimeri Var. subarmatha	3	17.06 ^{klm}
O. megacantha	6	12.20 ^{lmn}
O. megacantha	3	10.80 ^{lmn}
O. lindheimeri Var. lindheimeri	0	10.60 ^{lmn}
O. lindheimeri Var. subarmatha	0	8.21 ^{mn}
O. megacantha	0	5.53 ⁿ

abcdetghijklmn = Medias con literales diferentes, difieren estadísticamente

(P > 0.05)

La correlación entre el tiempo y % de digestibilidad se muestra en las figuras (1, 2, 3, 4) para cada una de las especies de Nopal.

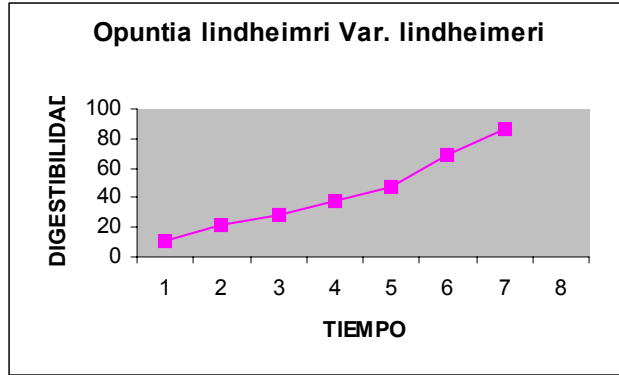


Figura. 1 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del tratamiento 1 (Opuntia lindheimeri Var. lindheimeri).

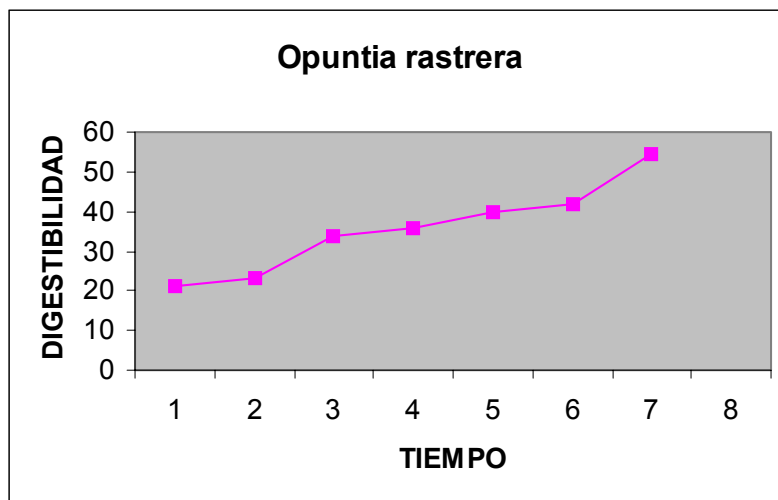


Figura. 2 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del tratamiento 2 (Opuntia rastrera).

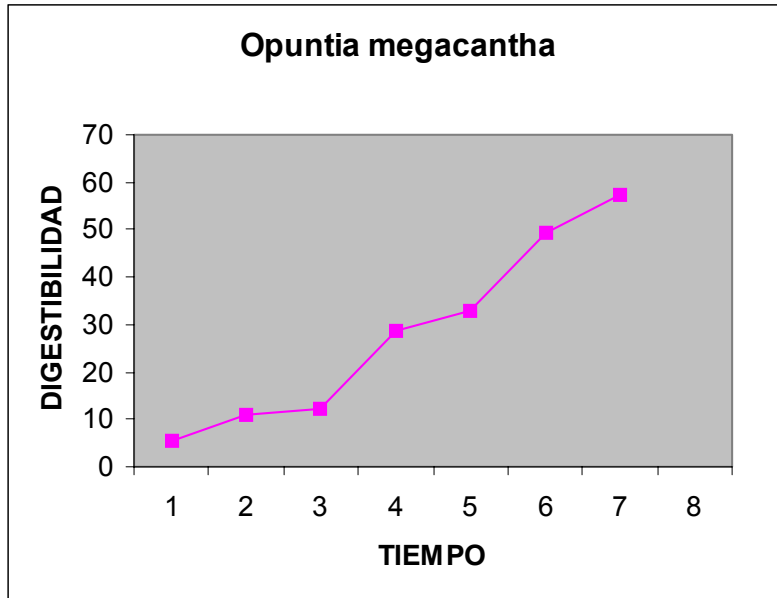


Figura. 3 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del tratamiento 3
(Opuntia megacantha).

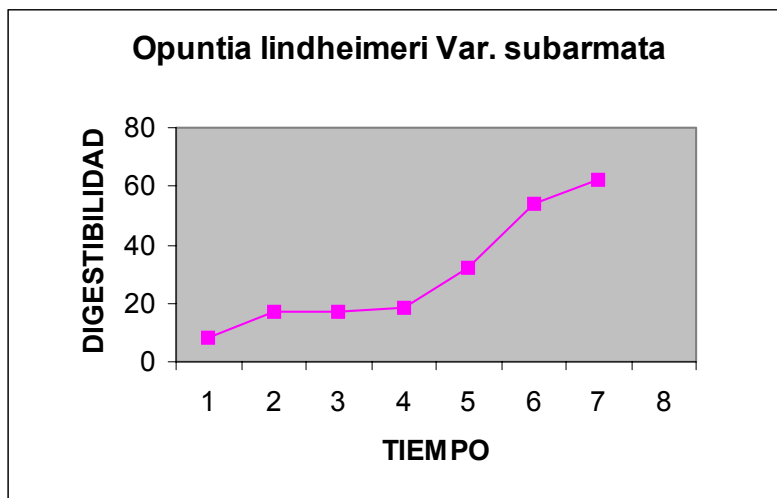


Figura. 4 Correlación de la digestibilidad y el tiempo del tratamiento 4
(Opuntia lindheimeri Var. lindheimeri).

Nota: Digestibilidad se expresa en Por ciento y el Tiempo es el intervalo en que se introdujeron las muestras (0,3,6,12,24,48,72 hr.).

Los resultados obtenidos de la digestibilidad *in situ* de la materia seca en las cuatro especies de nopal tuvieron un rango de 5.6 a 86.27%, encontrándose una media para *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* de 42.94%, seguida por *O. rastrera* con 35.63%, *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* presento resultado de 29.99% y para *O. megacantha* 28.08%, inferior a lo que señalan García et al., (1999) en un estudio realizado por el método *in vitro* a diferentes variedades de nopal, encontrando que la digestibilidad de la materia seca variaba de 72.5 a 92.9%.

Así mismo estudios realizados por Espinoza (1987), para evaluar los efectos de diferentes niveles de harina de nopal suplementado a vacas Hosltein, encontró que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca fue de 56.84%, 66.80% y 61.70% para los niveles 0, 2.0 y 4.0 Kg. de harina de nopal.

Otros autores reportan valores de 75% de digestibilidad *in vitro* en la especie *O. lindheimeri* Meyer y Brown (1985).

Murrillo (2001), en estudios realizados para determinar la digestibilidad *in situ* en tres especies de nopal encontró valores de 90% para el genotipo AN-TV6, 82% para AN-FV1 y 70% para el ecotipo liebres.

Si se analizan los datos que se muestran en el (cuadro 4.1), se puede apreciar que a mayor tiempo de incubación, mayor es la digestibilidad, coincidiendo con lo mencionado por McDonald *et al.*, (1975), en el sentido de que a mayor tiempo que permanezca un alimento en el tracto digestivo mayor es la digestibilidad.

La digestibilidad para *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* fue de 86.27%, para *O. rastrera* de 54.67%, *O. megacantha* presentó un valor de 57.25% y para *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* fue de 62.56%.

En cuanto a los resultados del análisis proximal de este trabajo que se muestra en el cuadro 4.5 se encontró una gran semejanza a los resultados obtenidos por Gregory y Felker (1992), Everitt y González (1981), en diferentes especies de nopal obteniendo valores de Proteína 5-12%, Extracto etéreo 0.45-1.89%, Fibra cruda 10.7-114%.

Como menciona Crampton y Harris (1974), es importante conocer el contenido de fibra para saber si un alimento tiene mayor o menor digestibilidad, debido a que cuando un alimento aumenta en fibra, tal y como sucede en los forrajes al madurar, su digestibilidad disminuye (McDonald *et al* 1975), por lo anterior es necesario conocer el estado fisiológico de las plantas antes de proporcionarlos.

En general los contenidos de proteína son semejantes con los de algunas gramíneas como el sorgo 8.9%, o como el maíz 10% de proteína cruda.

Al igual que las otras especies de nopal tienen un alto contenido de fibra (*O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* 10.64%, *O. rastrera* 13.85%, *O. megacantha* 10.84% y *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* 14.07%, similar al salvado de trigo que contiene 12-18%).

Cuadro 4.5 Análisis Bromatológico de las cuatro especies de nopal.

Componente	O. lindheimeri Var. lindheimeri %	O. rastrera %	O. megacantha %	O. lindheimeri Var. subarmatha %
Mataría Seca	96.03	96.01	95.83	94.74
Proteína	14.13	5.73	6.08	10.24
E. Etéreo	2.04	1.78	1.62	2.09
Fibra	10.64	13.85	10.84	14.07
Cenizas	19.42	28.23	32.89	24.92
ELN	42.26	45.59	47.25	46.06

V.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación y a los objetivos propuestos se concluye:

- Todas las especies de nopal presentan buena digestibilidad in situ de la materia seca siendo superior la especie *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* con 86.27% y la inferior fue *O. rastrera* con 54.67%, los cuales indican que son plantas con buena digestibilidad ya que otras especies de nopal presentan rangos de 56.84 a 92.9% de digestibilidad. Asimismo presentan buena composición química especialmente para fibra siendo superior la especie *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* con valor de 14.07%, para Proteína *O. lindheimeri* Var. *lindheimeri* presento mayor resultado con 14.13%, para extracto etéreo *O. lindheimeri* Var. *subarmatha* reporto valores de 2.09% y para la variable cenizas *O. megacantha* alcanzo mayores resultados con 32.89%.
- En cuanto al tiempo de incubación los mayores resultados de digestibilidad se alcanzaron al tiempo 72 hrs.
- A pesar de que existen algunos registros de utilización de esta planta se requiere de mayor difusión y estudios para conocer su potencial real para ser utilizado como alimento en la dieta de los animales.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1980.** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Thirteenth Edition. Publ. The Association of Official Analytical Chemists.
- Agrometeorología. 1983.** Diagnostico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 1-3
- Ayala, O., M. J. 1987.** Influencia de diferentes tratamientos para estimular y acelerar la germinación de *Opuntia* ssp. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Borrego, E. F. 1986.** El Nopal. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México Pp. 30-33, 57-62.
- Blanco, M. G. 1979.** El control de la erosión y la conservación del suelo y del agua en México: aportación histórica-bibliografía México, D. F. Pp.26
- Bravo, H. H. 1978.** Las Cactáceas de México. Tomo I. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México. D.F. Pp. 67-71, 147, 334.
- Britton, N. L. and J. N. Rose. 1963.** the Cactaceae. Dover Publications Inc. New york, USA. Vol. II. P. 1241.
- Burgos V. S. N. 1983.** El Nopal (*Opuntia* spp). Monografía. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Carranza, S. J. A. 2001.** Caracterización Morfológica de Cladodios de Opuntia spp. Del Campo Experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH. Tesis Profesional. Chapingo, México.
- Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1979.** SARH. México. Pp. 255.
- Cronquist, A. 1981.** An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University. New York, USA. Pp. 262.
- Cruz, J. A. De la., S. Preciado., A. Zárate., P. Recio del B., A. Mendoza., R. Del Toro y A. Huereca . 1983.** El Nopal. Comisión Técnica para el Programa de empleo Rural. Saltillo, Coahuila, México. Pp. 80.
- De alba, J. 1971.** Alimentación del ganado en América Latina. Segunda Edición. La prensa Médica Mexicana. México. Pp 475.
- Espinoza, A. J. 1987.** Caracterización Morfológica – Bromatológica del Nopal forrajero en diferentes Ambientes de la Sierra de Paila, Coahuila. Tesis Postgrado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Estrada, L. A., A. M. Torres. y H. J. J. Martínez. 1994.** Micropropagación de Nopal. Memoria Aportaciones Técnicas y Experiencias de la Producción de Tuna en Zacatecas, Morelos. 9 y 10 de Junio de 1994. P. 61.
- Everitt, J. H. and C. L. González. 1981.** Seasonal Nutrient Content in Food Plants of White-Tailed Deer on the South Texas Plains. J. Range Manage. 34: 506-510

- Flores, V. C. 1977.** El Nopal como Forraje. Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo. México.
- Flores, V. C. y O. Bauer. 1977.** El Nopal, Opuntia Ficus-Indica. Var. Copena F-1 Como Forraje. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Flores, V. C. y J. L. Aguirre. 1989.** El Nopal como Forraje. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. Pp. 80.
- Flores, V. C. y C. Gallegos. 1993.** Situación y Perspectivas de producción de Tuna en la Región Centro – Norte de México. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Flores, V. C. A. 1994.** Producción Industrialización y Comercialización del Nopal como Verdura en México. Reporte de Investigación 18. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. P.17.
- García, U. G., O. G. Aranda y C. A. Flores V. 1999.** Digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de Algunos Cultivares de Nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. San Luis Potosí. P 105-106.
- Gutiérrez, A. R. 1994.** Incremento de Proteína y Digestibilidad *in vitro* de 2 Genotipos de Nopal (Opuntia Ficus – Indica) bajo condiciones de Laboratorio. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 3- 5.
- Granados, S. D. y P. A. D. Castañeda. 1991.** Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícula. Pp. 11- 15.

- Gregory, R. A., and P. Felker. 1992.** Crude Protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *J. Arid Environ.* 22:323-329 pp
- Ha, J. K. and J.J. Kennelly. 1984.** *in situ* dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 64:443.
- Hernández, R. 1973.** Distribución del sistema radicular del nopal (*Opuntia* ssp.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Hernández, R. J. 1995.** Degradabilidad de la MS, PC Y Carbohidratos Estructurales de 4 Gramíneas Forrajeras. Tesis Profesional. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Lastra, E. J. 1978.** Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de Ensilaje de Nopal (*Opuntia Ficus-Indica*). Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo.
- Marroquín, J. S. 1964.** Estudio Ecológico y Dasonómico de las Zonas Áridas del Norte de México. INIF. Publicación especial. México. Pp. 166.
- Martínez, M. L 1968.** Estudios del Nopal Rastrero Forrajero y del Nopal Frutal (*Opuntia* ssp). Simposio Internacional sobre el Aumento de la Producción de alimentos en Zonas Áridas. Monterrey, Nuevo León, México, Pp. 339-343.
- Mehres, A. Z. and E. R. Orskov. 1977.** A study of the Artificial fiber bag Technique for Determining the Digestibility of feeds in the Rumen. *J. Agr. Sci. (Camb.)* 88:645-650
- Méndez, G. S. De J., A. M. Torres., J. J. Martínez H. 1999.** Recolección Y Evaluación Agronómica de 30 Variantes de Nopal (*Opuntia* ssp) del Centro de México en Condiciones de Hidroponía En: J. R. Aguirre R Y

J. A. Reyes A. (Eds). Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. P 30.

Meyer, M. M., and R.D. Brown. 1985. Seasonal Trends in the Chemical Composition of Ten Range Plants in South Texas. J. RANGE manage. 38: 154-156

McDonald, P., R. A. Edwards., J. F. D. Grenhalgh. 1975. Nutrición Animal. Segunda Edición, Editorial Acribia, Zaragoza España. Pp 189-190

Mizrahi, y A. Nerd. 1999. Usage of Various Cactus species as fruit and Vegetable crops in Israel. En: J. R. Aguirre R. y J. A. Reyes A (Eds).Memoria del VIII congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. Pp. 240-250

Murrillo, S. M. M. 2001. Tratamiento de biomasa de nopal (*Opuntia spp*) con diferentes aditivos y su análisis químico y degradación *in situ*. Tesis Postgrado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, México

Nocek, J. E. 1980. *In situ* and Methods to estimate Ruminant Protein and Energy Digestibility: A Review. J. Dairy Sci. 71: 2051

Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños Experimentales FAUANL Versión 2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marin, N. L. F:UANL

Orskov, E. R., M. Hughen and I McDonald. 1980. Degradability of Protein Supplements and Utilization of undegraded Protein by high Producing Dairy Cows in: Recent Advances in Animal Nutrition. (Haresing, ed.) Butterworths, London. P. 85.

- Pezo, D. A. 1990.** Medición de las Tasas de Degradación Ruminal en Alimentos. Nutrición de Rumiantes. Guía Metodológica de Investigación. ALPA, RISPA, la ed. IICA. San Jose Costa Rica. Pp. 75; 774.
- Romero, F. 1990.** Utilización de la Técnica de Digestión *in situ* para la Caracterización de Forrajes. Nutrición de Rumiantes. Guia Metodológica de Investigación. ALPA, RISPA, la ed. IICA. San Jose Costa Rica. Pp. 104-105.
- Romo, G. P. 1984.** Evaluación y selección de genotipos sobresalientes de nopal *Opuntia* spp. En varios ambientes de la zona Norte de México. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp 19-22
- Ruiz, A. S. 1986.** Producción de Biomasa de Nopal *Opuntia* ssp. En las Localidades de Noria de Guadalupe, Zacatecas y Ocampo, Coahuila. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp.
- Sáenz, H. C. 1999.** Alternativas tecnológicas para el proceso de Tuna y Nopal. R. Aguirre y J. A. Reyes A. (Eds). Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento Y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. Pp. 228-230.

- Sampayo, R. O. 1971.** Efectos de la Suplementación Dietética con Nopal (O. Chysacantha berg) en la Producción de leche de Vacas Holstein. Tesis Profesional. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León. México.
- Uden, P. and P. J. Van Soest. 1984.** Investigación of the *in situ* bag technique and a comparison of the fermetation in Heifes, Sheep, Ponies and rabbits. J. Anim. Sci. 58:213.
- Van Keuren, R. W. and W. W. Heimermann. 1962.** Study of a nylon bag techniqe for *in vivo* estimation of forage digestibility. J. Anm. Sci. 21:40