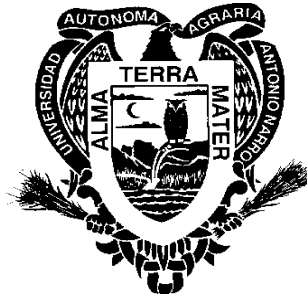


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



Tasa de Degradación *In Vitro* de la Fibra de Algunas
Especies del Género *Opuntia*, Cosechadas en Verano

Por

GABRIELA SALAS GUZMÁN

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el
Titulo de:

Ingeniero Agrónomo Zootecnista

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

**Tasa de Degradación *In Vitro* de la Fibra de Algunas Especies
del Genero *Opuntia*, Cosechadas en Verano**

Por

GABRIELA SALAS GUZMÁN

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADA

Asesor principal

Ing. MC. José Eduardo García Martínez

Sinodal

Dr. Juan José López González

Sinodal

Ing. MC. Camelia Cruz Rodríguez

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Dr. Ramón F. García Castillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Junio del 2004

DEDICATORIA

A mis padres: **Antonio Salas** y **María del Refugio Guzmán** por sus sabios consejos que me han impulsado a seguir el camino de la superación siendo ellos mi mayor ejemplo, enseñándome a enfrentar todos los obstáculos, como agradecimiento por su apoyo moral que siempre me brindaron con el cual logre terminar mi carrera profesional que es para mi la mayor de las herencias.

A mis hijos **Ricardo** y **Samuel**, por ser mi principal motivo para superarme cada día más.

A mis hermanos **Antonio, Diana, Hugo y Verónica** y a sus familias por haberme brindado su apoyo en todo momento.

A mis amigos y compañeros y en especial a mi amiga **Maira** porque juntas logramos lo que nos propusimos.

A mi amiga **Gaby** por enseñarme que en la vida hay prioridades, por ser un apoyo más en mi vida y por brindarme siempre su amistad.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme brindado la vida y la oportunidad de seguir adelante en cada momento de mi carrera.

A mi **Alma Terra Mater** por haberme permitido formarme como profesionista y por todos los conocimientos que de ella obtuve.

A los miembros del Comité de Asesoría: **Ing. MC. J. Eduardo García Martínez, Dr. J. José López González e Ing. MC. Camelia Cruz Rodríguez** por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su apoyo incondicional y su asesoría.

A la **Lic. Laura Olivia Fuentes Lara** por su paciencia, dedicación y enseñanza en el laboratorio.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
El Género <i>Opuntia</i>	5
Clasificación taxonómica.....	6
Descripción de las especies estudiadas.....	7
<i>Opuntia ficus – indica</i>	7
<i>Opuntia imbricata</i>	7
<i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>tricolor</i>	8
<i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>subarmata</i>	8
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	9
Calidad nutritiva.....	9
Consumo de nopal.....	11
Factores asociados al consumo.....	14
Métodos utilizados para preparar el nopal.....	14
Inconvenientes del nopal como forraje.....	16
Muestreo de forrajes.....	17
La degradabilidad y digestibilidad de la fibra.....	17
Factores que condicionan la degradabilidad ruminal de la fibra....	20
Técnicas para medir la digestibilidad de los forrajes.....	21
Digestibilidad <i>in vivo</i>	21
Digestibilidad <i>in situ</i>	21
Digestibilidad <i>in vitro</i>	22
Análisis de forrajes por el sistema de fracciones de fibra.....	23
Fibra en detergente neutro (FDN).....	25
Fibra en detergente ácido (FDA).....	25
Obtención del líquido ruminal.....	26
Uso de la técnica de DIVMS para la obtención de la tasa de digestión de paredes celulares.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
Descripción del área de estudio.....	28
Preparación del sustrato.....	29

Procedimiento experimental.....	29
Obtención del líquido ruminal.....	30
Análisis estadístico.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
Análisis bromatológico.....	32
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y materia orgánica.....	33
Tasa de degradación de las paredes celulares (FDN).....	35
CONCLUSIÓN.....	46
RESUMEN.....	47
LITERATURA CITADA.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Análisis bromatológico de diferentes especies del nopal.....	10
4.1	Análisis bromatológico de las especies utilizadas.....	33
4.2	Porcentajes de digestibilidad <i>in vitro</i> de las especies utilizadas.....	34
4.3	Tasa de degradación (kd) de las especies de nopal utilizados.....	37
4.4	Porcentajes de fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) <i>in vitro</i>	38
4.5	Porcentajes de fibra potencialmente digestible (FPD) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) <i>in vitro</i>	39
4.6	Porcentajes de degradación de la fibra en detergente neutro (FDN) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) <i>in vitro</i>	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia ficus-indica</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	40
4.2	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia imbricata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	41
4.3	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>subarmata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	41
4.4	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>tricolor</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	42
4.5	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia cantabrigiensis</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	42
4.6	Relación entre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y su tasa de degradación (kd) entre las especies.....	45

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 que representan más del 60% del territorio nacional.

Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por sus condiciones extremas, como baja precipitación pluvial y mala distribución; en ocasiones lluvias torrenciales y largos períodos de sequía, temperaturas extremas, muy altas en primavera y verano y muy bajas en invierno, es por eso que la producción de forraje en estas zonas es pobre e irregular durante todo el año.

Sin embargo, existen otras causas de sub-alimentación, una de ellas es el limitado conocimiento de la vegetación nativa como productora de forraje y de los métodos para utilizarla racionalmente. Tal es el caso de los Nopales (*Opuntia spp.*) forrajeros, los cuales presentan una perfecta adaptación a estas condiciones y constituyen un forraje aceptado por los rumiantes de importancia pecuaria, tanto en condiciones de estabulación como de pastoreo.

Siendo el Nopal una planta con resistencia natural a la sequía, debido a su fisiología muy particular y a su compleja estructura anatómica y morfológica, ofrece una alternativa real para el uso de los suelos de las regiones áridas y semiáridas del país.

El Nopal (*Opuntia spp*) es una planta de origen mexicano que desde tiempos inmemoriales ha jugado un papel importante en la cultura nacional. Se encuentra en casi todo el territorio nacional, pero su importancia pecuaria está localizada en los estados del Norte.

Aunque el nopal es un cultivo rústico que crece aun en suelos pobres y de poca precipitación pluvial, requiere de técnicas agronómicas para su mejor aprovechamiento.

Los ganaderos se han visto en la necesidad de utilizar la penca del nopal como alimento de emergencia para el ganado, dando a los ecosistemas nopalers naturales una explotación inadecuada, con lo cuál, a través del tiempo se han ido generando grandes áreas deforestadas que han perdido casi totalmente su potencial productivo. Por esta razón es necesario manejar correctamente las poblaciones naturales de nopal, con el fin de conservarlas y obtener una mejor producción.

La calidad nutritiva del nopal forrajero, se considera de regular a mala, sin embargo los altos precios de otros forrajes de mayor calidad, y la disponibilidad de estos en épocas de sequía hacen que la demanda del nopal crezca año con año.

Aunque el nopal no constituye un alimento rico en proteínas para el ganado, si representa un alimento que puede mantenerlo vivo durante la época de sequía, ya que la succulencia de las pencas le proporcionan agua e hidratos de carbono, mientras se le proporciona un alimento adecuado al animal.

El uso del nopal como forraje se ha hecho sin distinguir especies, aprovechando todo tipo de nopales, sin embargo, debido a las características que presentan ciertas especies, en cuanto a grosor, succulencia, ausencia de espinas y aceptación por el ganado han sido seleccionadas como forrajes.

El ganado puede consumir este alimento, por un tiempo determinado sin sufrir daño, siempre y cuando las espinas sean quemadas o maceradas.

La distribución silvestre de *Opuntias* incluye a diferentes ambientes y un amplio rango de especies, lo cual se debe a la alta variabilidad genética de esas especies que se origina en la diversidad ecológica de las áreas de donde son nativas.

La utilización de las formas de vida silvestres de estos recursos no reúne los requisitos mínimos indispensables para la correcta explotación, y prueba de ello es la notable disminución de las áreas costeables para recolecta. Las zonas nopaleras se encuentran cada vez más retiradas de los centros de población y de las carreteras y caminos. Esa situación puede originar que en un tiempo dado ya no sea costeable acarrearlo por la distancia e inaccesibilidad, pudiendo quedar la ganadería, en estas áreas, sin este auxilio.

Las propiedades nutritivas del nopal son muy variables, dependiendo del género, especie y variedad, así como de la precipitación, edad y estación del año.

Se ha demostrado que al examinar la cinética de la digestión de la pared celular puede ayudar a sugerir métodos con los cuales las fuentes dietarias de fibra pueden ser más eficientemente utilizadas.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la tasa de degradación *in vitro* de 5 diferentes especies del género de *Opuntia*, cosechadas en la estación de Verano, siendo estas: *Opuntia ficus – indica*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia lindheimeri* variedad *subarmata* y variedad *tricolor* y *Opuntia cantabrigiensis*.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Género *Opuntia*

Existen en el mundo 258 especies que comprenden este grupo, de las cuales 100 se encuentran en México. Su identificación es difícil debido al enorme polimorfismo que se produce por la hibridación, lo cual dificulta distinguir las especies originales (Bravo, 1978).

El género *Opuntia* se encuentra ampliamente distribuido en México, desde el nivel del mar hasta las partes altas de las Sierras Madre Oriental y Sierra Madre Occidental, además en las altiplanicies del centro y norte del país, donde se localizan las nopaleras más abundantes, tanto por su diversidad, como por su densidad y su tamaño (Marroquín, 1964; López, 1977).

Desde el punto de vista de la importancia forrajera resalta el género *Opuntia* específicamente el subgénero *Platyopuntia*, conocido comúnmente como nopales, que se caracteriza por sus artículos aplanados en forma de raqueta y porque posee un porte muy variado: pudiendo ser rastrero, arbustivos y arborescentes (Elizondo *et al.* , 1987).

Los *Platyopuntia* representan los nopales cultivados por excelencia y también incluyen las especies silvestres cuya fruta tiene amplia aceptación entre la población. Este subgénero abarca las especies forrajeras de mayor significación, aunque comprende algunas otras que no tienen mucha importancia (Borrego, 1986).

Clasificación Taxonómica

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

REINO: Vegetal

SUBREINO: Embryophita

DIVISIÓN: Angiospermeae

CLASE: Dicotiledoneae

SUBCLASE: Dialipetala

ORDEN: Opuntiales

FAMILIA: Cactaceae

SUBFAMILIA: Opuntioideae

GÉNERO: Opuntia

SUBGENEROS: Platyopuntia

ESPECIE: spp.

Descripción de las especies estudiadas

Opuntia ficus - indica (Linne)

Planta arborescente de 3 a 5 m de altura o más. Tronco leñoso bien definido de 60 cm a 1.50 m de altura y 20 a 30 cm de diámetro. Artículos oblongos hasta largamente ovalados de 30 a 60 cm de largo y de 20 a 40 cm de ancho, color verde opaco, espinas casi siempre ausentes. Flores de 7 a 10 cm de diámetro y como de 6 a 8 cm de largo, amarillas con la porción media rojiza o verdosa. Fruto oval de 5 a 10 cm de largo y 4 a 8 cm de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o púrpuro, con abundante pulpa carnosa.

Opuntia imbricata (Haworth)

Arbusto hasta de 5 m de altura con ramas más o menos abundantes. Tronco corto, leñoso, bien definido de unos 10 cm de diámetro. Artículos de 12 a 35 cm de largo y de unos 2.5 a 3.5 cm de diámetro. Espinas numerosas. Flores numerosas en la extremidad de las ramas de 5 a 7 cm de diámetro, de color púrpura a púrpura rosado. Fruto tuberculado, amarillo, carnoso cuando madura, sin espinas, obovoide, persistente en el invierno. Semillas abundantes y lisas.

Opuntia lindheimeri (Engelmann) var. tricolor (Griffiths)

Artículos determinados, obovados, aplanados, de 17.5 a 20 o 25 cm de largo, de 15 a 17.5 o 20 cm de ancho. Espinas de 1 a 3 o hasta 6, presentes en casi todas las aréolas, de 5 a 7.5 cm de largo, amarillas con base no rojiza.

Opuntia lindheimeri (Engelmann) var. subarmata (Griffiths)

Plantas arbustivas suberectas, sin tronco bien definido, de hasta 1.7 m de altura por 2.4 m de diámetro; artículos obovados de 20 a 33 cm de longitud, por 22 a 34 cm de diámetro, color verde. Las espinas cuando existen se presentan en la parte superior de las aréolas del borde del artículo. Flores de 6 a 8 cm de longitud y de 4 a 10 cm de diámetro, segmentos amarillos con una línea medio verdosa o verde rojiza. Fruto carnoso, obovado de 3 a 4 cm de longitud por 2.5 a 3 cm de diámetro, de color rojo purpúreo. Semillas escasas.

Opuntia cantabrigiensis (Lynch)

Arbustos redondeados, de 1 a 2 m de altura. Artículos orbiculares hasta obovados, de 12 a 20 cm de longitud, de color verde azulado pálido, hojas de color verde claro. Espinas generalmente 3 a 6 pero a veces más. Flores de 5 a 6 cm de longitud amarillentas con centros rojizos. Fruto globoso, como de 4 cm de diámetro de color púrpura y pulpa carmesí. Semillas numerosas.

Calidad Nutritiva

La variación de los nutrientes del nopal esta relacionado con la época del año y cambian de acuerdo con los factores ambientales como son el suelo, la precipitación, la temperatura y la duración del día; estos factores son los que determinan la calidad nutricional de las plantas, lo cual indica que el resultado del Análisis Bromatológico para cada especie es independiente del lugar estable, humedad disponible antes de cortarse y fecha de colección de las muestras (Carreras *et al.*, 1997).

Flores y Aguirre (1992) hacen el análisis bromatológico de diferentes especies del nopal (Cuadro 2.1) en los que reportan resultados muy variados según los géneros *Opuntia* y *Nopalea*.

Cuadro 2.1. Análisis Bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (porcentajes en base a Materia Seca).

Genotipo	Materia Seca	Materia Orgánica	Proteína Cruda	Grasa Cruda	Fibra	Cenizas	E.L.N.	Autor
<i>Nopalea spp</i>	10.69	73.79	8.92	1.50	17.21	26.21	50.70	Griffiths y Hare, 1963
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.10	4.32	26.55	64.43	Palomo, 1963
<i>O. tenuispina</i>	12.45	70.20	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	"
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.49	68.87	"
<i>O. rastrera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	"
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	"
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.89	68.46	4.79	1.09	3.70	31.54	58.87	"
<i>O. engelmannii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	"
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	"
<i>O. lindheimeri</i>	11.57	74.50	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	"
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	"
<i>O. streptacantha</i>	16.10	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	Griffiths y Hare, 1963
<i>O. leucotricha</i>	4.50	74.00	7.56	2.66	14.00	26.00	49.78	"
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	"
<i>O. cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.20	27.49	54.04	"
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	"
<i>O. duranguensis</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91	Baurer y Flores, 1969
<i>O. ficus - indica</i>								
Variedades								
<i>Amarillo oro</i>	11.29	86.93	3.80	1.38	7.62	13.07	74.13	"
<i>Oaxaca</i>	10.16	84.60	3.11	1.24	8.00	15.40	72.25	"
<i>No. 1</i>	8.07	77.96	5.24	1.52	7.82	22.04	63.38	"
<i>Forrajera</i>	7.96	80.08	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	"
<i>Tapona</i>	8.00	81.12	6.88	1.00	----	8.88	81.25	Villarreal, 1958

Citados por Flores y Aguirre, 1992

ELN= extracto libre de Nitrógeno

Consumo del Nopal

Los forrajes abaratan el costo de la ración de los rumiantes; por este motivo, algunas raciones se formulan asumiendo un cierto consumo de forraje, y complementándolo con concentrado para cubrir las necesidades nutritivas del animal.

En otras ocasiones el forraje se aporta para asegurar un cierto aporte de fibra que permita mantener una adecuada funcionalidad ruminal y mejorar el contenido graso de la leche. En ambos casos es necesario estimar la cantidad de forraje que puede consumir el animal, ya que la capacidad ruminal suele limitar la inclusión de forrajes en la ración, particularmente si se pretende formular raciones con un contenido energético alto. Los forrajes son la base de la alimentación y los cereales son utilizados como suplementos en sistemas productivos de rumiantes.

Dependiendo de la forma que el nopal se suministra a los animales, va a ser la cantidad de nopal consumida. El ganado vacuno se calcula que consume entre 20-40 kg. por día. En ovinos y caprinos varia entre 3 y 9 kg por día, dependiendo de las condiciones del agostadero, ya que cuando llueve, la dieta consumida es más variada, y el consumo del nopal baja; cuando es invierno o época de sequía, el consumo del nopal se incrementa. (López, 1999; Flores y Aguirre, 1992).

□□œ:□□Ÿ¶□□Ÿ¶□□9

□□□□**Â**□□□□□□□□**Â**□□□□□□□□**Â**□□□4□□□□□□□□□□□□□□**ö**□□□□□□□□"..."□□

□□□□□"..."h□□□Š...□□"iYÁ□9

□□□ø□¿□□□□□□□□□□□□□□□Y□□□

□□œ:□□Ÿ¶□□Ÿ¶□□9

La cantidad de alimento diario que consumen los animales domésticos, no es siempre constante, existen numerosos factores que pueden modificar el consumo sea elevándolo o reduciéndolo, entre ellos están por ejemplo el clima y factores medio-ambientales, edad, sexo, especie, tipo de alimento y gustosidad de ese alimento.

Un aumento en la frecuencia de alimentación permitirá un aumento de consumo y de eficiencia con que el alimento es utilizado.

Una oferta constante de forraje, asociado con sus carbohidratos solubles, facilitará la actividad microbiana involucrada en la degradación de la fibra. Además habrá una menor demanda de capacidad ruminal asociada a la frecuencia de alimentación, lo que resultará en un mayor consumo.

Factores Asociados al Consumo

La regulación del consumo voluntario de alimento, se ve influenciada por 3 tipos de factores:

1.-Fisiológicos: son relacionados con el animal: especie, edad, raza, sexo, genotipo, estado de producción y estado de salud.

2.-Ambientales: determinados por el clima, las instalaciones y las interacciones de jerarquía dentro del grupo de animales

3.-Dietéticos: fundamentalmente debido a la concentración de nutrientes de la dieta, la gustosidad de esta, y la presencia o ausencia de factores anti-nutricionales o tóxicos.

Métodos Utilizados para Preparar el Nopal

El nopal normalmente se utiliza en el lugar donde crece, quemándole sus espinas y permitiendo que el ganado llegue hasta ellos en lugar de lo opuesto; debido a que el gran contenido de agua de los cladodios hace muy caro su transporte a grandes distancias. Pero se tiene la desventaja de desperdiciarse gran cantidad debido a que el animal lo pisotea y lo tumba quitándole las partes quemadas. (Flores y Aranda, 1997).

Por lo tanto lo más común es utilizarlo de la siguiente manera:

-Cortar el nopal; esto se hace usando un cuchillo adherido a un tubo o barra con un par de ganchos en el final. Los ganchos son usados para alzar los nopales cortados y ponerlos en una camioneta. El principal problema aquí es el nivel a que son cortados los nopales.

-Transportar el nopal; esto se hace en camionetas pequeñas o grandes, en carretillas, etc., pero desafortunadamente los sitios donde el nopal puede ser encontrado y cortado se han convertido en lugares cada vez más lejanos (100-150 km).

-Quema del nopal; esto se hace con la finalidad de quitarle las espinas de ambos lados, y se puede hacer con un gas o kerosene, pero el uso de quemadores es caro y en el caso del keroseno, las gotas de combustible se quedan en el nopal y el ganado se rehusa a comérselo.

-Cortar el nopal; una vez que el nopal esta libre de espinas, es cortado en pedazos y dado al ganado, este proceso se puede hacer manualmente o por maquinas cortadoras.

-Alimentar al ganado; el nopal es llevado en carretillas hacia el comedero y usualmente es suplementado dos veces al día. La cantidad usada para el ganado es de alrededor de 30 a 40 kg. de nopal fresco por día y de 6 a 8 kg. por día para cabras y borregos. (Borrego, 1986).

Inconvenientes del Nopal como Forraje

El ganado no acostumbrado al nopal y el que lo consume en grandes cantidades (60 a 90 kg.) esta expuesto a sufrir timpanitis, lo que se evita proporcionándole rastrojo o heno.

También pueden producirse bolas de fibra en el estomago de los animales, cuando consumen nopal sin picar y no tienen acceso a zacate u otro alimento tosco por temporadas largas.

Por lo que es importante que al ganado que no se le ha administrado nopal se le proporcione gradualmente, ya que si se encuentra débil y se le obliga a consumirlo se presentan diarreas debido al alto contenido de sales inorgánicas, lo que provoca que el ganado se debilite aún más con posibilidades de incremento de las pérdidas.

Lozano (1958) menciona que cuando el ganado consume variedades espinosas del nopal sin chamuscar, se clavan las espinas en su lengua y paladar, lo que provoca que permanezca con la boca abierta sin poder comer, y si no se le atiende puede morir de hambre.

Muestreo de Forrajes

Para hacer un muestreo correcto es necesario conocer el objetivo de la investigación y los parámetros que se van a evaluar. En los forrajes son muchas las variables que influyen para una buena calidad: origen genético, estado fenológico de la planta, tipo de suelo,

condiciones atmosféricas, prácticas de manejo como fertilización, regadío, pastoreo, etc., (Hughes *et al.*, 1981; Tejada y Carrasco, 1990).

Cuando se toman muestras de un forraje, estas deberán tener la siguiente información: 1) Material del que se trata; 2) Nombre común o regional; 3) Nombre científico: género, especie y variedad; y 4) Estado fenológico.

La Degradabilidad y Digestibilidad de la Fibra

La técnica de la cinética de la degradación ruminal permite caracterizar las diferentes fracciones dietarias degradables que pueden ser utilizadas por los microorganismos ruminales y posteriormente por el animal.

La digestibilidad de la fibra esta en función de su degradabilidad ruminal, y en menor medida de su degradabilidad en el intestino grueso.

Los principales factores que determinan la intensidad de la degradación ruminal de la fibra son su lignificación y el aporte de concentrado en la ración. La lignina, además de no ser degradable, reduce la degradabilidad del resto de componentes de la fibra, de tal manera que los lignocarbhidratos (suma de lignina y carbohidratos asociados a la lignina,

se consideran totalmente indegradables. La degradabilidad ruminal de los carbohidratos de la pared celular no ligados a la lignina oscila entre el 50-75%, y en el intestino grueso se degradan alrededor del 20% de los carbohidratos estructurales no degradados en el rumen. Respecto a la influencia del aporte de concentrado en la degradabilidad ruminal de la fibra es conveniente tener presente que los microorganismos del rumen utilizan rápidamente el almidón de los cereales, provocando un descenso del pH. ruminal a menos de 6.0; El bajo pH. deprime el desarrollo de las bacterias celulolíticas, esto es, al aumentar la inclusión de concentrado en las raciones de los rumiantes se reduce la degradabilidad de la fibra. Aunque la combinación óptima para un correcto funcionamiento ruminal se sitúa en alrededor del 65% de la energía aportada como concentrado y el 35% como forraje, habitualmente son necesarias inclusiones de concentrado superiores al 70% de la ración para mantener una alta producción, por lo que los forrajes no se degradan bien en el rumen; No obstante, la reducción de la degradabilidad de la fibra debido a las altas inclusiones de concentrado no es tan acentuada cuando los forrajes de la ración son de buena calidad, la fibra de los forrajes de buena calidad es fácilmente degradada por las enzimas producidas por la flora celulolítica, por lo que, aunque la actividad de esta flora esté deprimida debido al alto aporte de concentrado, su producción de enzimas es aún suficiente para degradar altos porcentajes de la fibra de los forrajes de buena calidad.

Los tampones ruminales (bicarbonato sódico, óxido de magnesio) evitan la disminución drástica del pH. ruminal debido a una alta inclusión de concentrado, por lo que la actividad de la flora celulolítica no está excesivamente deprimida.

La degradabilidad y digestibilidad de cada materia prima incluida en la ración de los rumiantes depende no sólo de su composición química, sino también de la composición de los demás ingredientes de la ración, debido al efecto asociativo entre ingredientes.

Los cambios bruscos de ración suelen tener efectos nefastos en los rumiantes debido a la falta de adaptación de la flora ruminal, y se suelen manifestar en forma de diarreas intensas, acidosis ruminal, meteorismo e incluso enterotoxemias que pueden provocar la muerte de los animales.

La utilización de ciertos aditivos como levaduras, hongos blancos y bacterias celulolíticas permiten mejorar la degradabilidad ruminal de la fibra.

Factores que Condicionan la Degradabilidad Ruminal de la Fibra

1) Cantidad de alimento ingerido: la degradabilidad de la ración depende del tiempo de permanencia del alimento en el aparato digestivo, y esto es particularmente cierto referido a la permanencia del forraje en el rumen; al aumentar la cantidad ingerida de alimento aumenta la velocidad del tránsito digestivo, y por tanto se reduce la degradabilidad de los forrajes. La reducción de la degradabilidad debida al aumento de la ingestión no es muy importante cuando los forrajes son de buena calidad, pero sí es considerable para forrajes de mala calidad.

2) Cantidad de grasa en la ración: la alta inclusión de grasa (inclusiones superiores al 5%) interfiere el desarrollo microbiano del rumen, reduciendo la digestibilidad de la fibra de la ración; esto es particularmente cierto cuando se incorporan a la ración grasas con un porcentaje importante de ácidos grasos insaturados.

3) Tamaño del forraje: el picado de los forrajes provoca un aumento de la velocidad de tránsito intestinal, lo que se manifiesta por un lado en un aumento de la ingestión del forraje, y por otra en una disminución de su degradabilidad. También permite mejorar la degradabilidad ruminal de la fibra.

Técnicas Para Medir la Digestibilidad de los Forrajes

Existen tres técnicas para determinar la digestibilidad de los forrajes que son: *in vivo*, *in situ* e *in vitro*.

Digestibilidad *in vivo*

Los animales deberán pesarse al inicio y al final de la prueba y desparasitarse antes de iniciar el período de acostumbramiento. El alimento se suministra en dos raciones (mañana y tarde) y los residuos no consumidos deberán retirarse diariamente. La colección de heces debe empezar dos días después de iniciada la colección de residuos de alimento y continuarse por eso días más, después de finalizada la colección de los mismos. Los residuos de alimento de cada animal deben pesarse diariamente y en una submuestra determinar MS, la cual puede utilizarse para posteriores análisis químicos. (Rodríguez y Llamas, 1990).

Digestibilidad *in situ*

Esta técnica se basa en la interpretación de la desaparición de material colocado en una bolsa de nylon que es introducida en el rumen de animales fistulados y canulados. La desaparición se mide en intervalos periódicos hasta un tiempo aproximado de 96 horas.

Presenta algunas importantes ventajas sobre la *in vitro*, entre ellas que la digestibilidad se lleva a cabo en el rumen con la participación de microorganismos ruminales en su ecosistema natural.

Esta técnica es más barata que la *in vitro*, sin embargo su uso para predecir el valor nutritivo de un alimento se ve limitado por una mayor variabilidad y a la dificultad para realizar una estandarización adecuada que permitiera llevarla a cabo en forma similar a lo expuesto anteriormente para la DIVMS.

Esta técnica también nos proporciona una amplia visión de la degradación de los componentes nutricionales a través del tiempo en cambio los métodos *in vitro* e *in vivo* solo nos proporcionan una cifra (Tilley y Terry, 1963).

Digestibilidad *in vitro*

Este sistema se basa en su primera etapa en una fermentación en un sistema cerrado, es decir, los productos de la fermentación no son removidos. La fermentación es producida por microorganismos añadidos en el líquido ruminal utilizado como inóculo. Sin embargo, la fermentación en estas condiciones no refleja de ninguna forma lo que realmente sucede en el rumen, y que éste es un sistema abierto con condiciones muy especiales; por lo tanto, es incorrecto el término “rumen artificial” para describir esta técnica.

En la primera etapa se adiciona una solución amortiguadora esto con el fin de mantener el pH alrededor de 6.9, (rango 6.7 a 7.0) siendo éstas las condiciones óptimas para que actúen las bacterias ruminales, especialmente las celulolíticas.

En la segunda etapa de esta técnica se lleva a cabo una digestión con pepsina en medio ácido, añadiendo HCL. El principal objetivo de esta etapa es eliminar la proteína

microbiana existente dejando únicamente la materia seca no digerida. Esta etapa es comparativa con lo que sucede en el abomaso.

La DIVMS no considera la digestión intestinal y aún más importante es que este método no toma en cuenta la excreción endógena producida en el animal (Tilley y Terry, 1963).

Análisis de Forrajes por el Sistema de Fracciones de Fibra

Este sistema se basa en la separación de los alimentos vegetales en diferentes fracciones o “entidades” de acuerdo a su composición química y valor nutritivo. Estas separaciones se realizan con solubilizaciones mediante el empleo de detergentes y otros reactivos.

Este sistema tiene la desventaja de ser caro, además de que existe relativamente poca información acumulada de análisis realizados, sin embargo el sistema es muy flexible y puede utilizarse en varias secuencias de acuerdo a necesidades específicas (Van Soest, 1982).

La principal separación en este sistema se logra mediante el uso de un detergente en pH neutro. Con ello se obtienen las paredes celulares (fibra detergente neutro, FDN), que corresponde a la fibra real de un forraje, y cuya disponibilidad depende en gran parte del grado de lignificación de una planta. Por diferencias se estima el contenido celular que se encuentra libre de lignina y tiene una disponibilidad casi completa para el animal (Van Soest, 1967).

La disponibilidad de la FDN está afectada por factores como la cristalización de la celulosa, la acetilación de la hemicelulosa y el contenido de productos como la sílica y la cutina (Morrison, 1979; Van Soest, 1976). La FDN da estructura a una planta y está relacionada negativamente con el consumo de alimento por el animal. Esto se debe a que el proceso de digestión no reduce sensiblemente el volumen de un forraje, ya que no destruye la estructura o esqueleto de la pared celular. Solamente una reducción del tamaño de partícula por la molienda o rumia del forraje, reducirá el volumen del mismo, facilitará el pasaje de alimento al tracto inferior, y de esta manera podrá aumentar el consumo de alimento (Van Soest, 1976).

La determinación de fibra detergente ácido (FDA) permite la obtención por diferencia de la hemicelulosa, y sirve como paso preliminar para la obtención de la celulosa y la lignina. Esta última está relacionada negativamente con la digestibilidad de un forraje ya que forma enlaces ésteres con la hemicelulosa principalmente, reduciendo la digestibilidad tanto de la celulosa como de la hemicelulosa (Morrison, 1979; Van Soest, 1976).

Fibra en Detergente Neutro

Fracción del alimento que no es soluble en detergente neutro, consiste en paredes celulares como lignina, celulosa y hemicelulosa, relacionando al consumo del **alimento ya** que sus componentes ocupan espacio en el rumen y se digieren lentamente y en diferente porcentaje.

La extracción del forraje con una solución neutra de Lauril Sulfato de Sodio recobra los mayores componentes de las paredes celulares, esta extracción es no hidrolítica y puede contaminarse con almidón que se elimina con amilasa, la queratina se elimina con Sulfito de Sodio y los minerales son poco recuperados en detergente neutro (Van Soest, 1994).

La FDN esta inversamente relacionada al consumo voluntario por lo que es más deseable un bajo valor de FDN.

Fibra en Detergente Ácido

Fracción del alimento no soluble en detergente ácido, consiste en celulosa (digestible) y lignina (indigestible).

La solución en detergente ácido se separa en dos fracciones: 1) solubles ácido detergentes que es el contenido de hemicelulosa rápidamente digestible y 2) la fibra en detergente ácido, que es la porción menos digestible de los alimentos.

La FDA es un método para estimar la fibra de los alimentos; frecuentemente sustituido por fibra cruda.

La FDA es un indicador de la digestibilidad del forraje por su alta proporción de lignina que es la fracción indigestible de la fibra.

La FDN va a ser siempre un número más alto que la FDA porque ésta no contiene hemicelulosa. A más bajo valor de FDA más alimento puede digerir el animal.

Obtención de Líquido Ruminal

El líquido ruminal deberá obtenerse de dos novillos o borregos fistulados, tratando de obtener partes iguales de ambos. Estos animales deberán estar en una dieta con 100% de alfalfa henificada de buena calidad más sal mineralizada a libertad.

Se considera a la alfalfa ya que es el alimento más adecuado y fácil de obtener, sin embargo puede mezclarse con un 50% de un zacate o forraje fibroso. Deberá de evitarse el uso de grandes cantidades de concentrado o ensilajes en estas raciones, ya que el conteo de bacterias celulolíticas podría bajar.

Para obtener el líquido se quita la tapa de la cánula ruminal y con la mano se retira la ingesta seca que pueda existir en la parte alta, después se toma la ingesta húmeda de la parte media.

El líquido o ingesta obtenida se filtra con la ayuda de un embudo provisto de cuatro capas de gasa; la ingesta se exprime y el bagazo seco se desecha. De esta manera deberán obtenerse aproximadamente tres veces el volumen necesario para la determinación.

La necesidad de utilizar un termo dependerá de la distancia que haya de los corrales al laboratorio. Ya en el laboratorio el líquido ruminal puede volverse a filtrar a través de ocho capas de gasa y se pasa a un frasco precalentado a 39°C en el baño maría. Se tapa el frasco y se deja reposar en el baño hasta que se separen dos capas. Con una manguera y por

succión se toma de la parte inferior la cantidad de inóculo necesaria para realizar la determinación.

Uso de la Técnica de DIVMS para la Obtención de la Tasa de Digestión de Paredes Celulares

Mediante el uso de la primera etapa de la técnica de DIVMS, con diferentes horas de fermentación, seguido por la determinación de paredes celulares (FDN), es posible obtener la tasa de digestión de éstas (Waldo, Smith y Cox, 1972; Mertens and Lopten, 1980).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción Del Área De Estudio

El material utilizado para este trabajo fue colectado en los terrenos aledaños a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

El análisis químico se efectuó en el laboratorio de Nutrición y en la Unidad Metabólica del Departamento de Nutrición y Alimentos de la misma Universidad ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, estado de Coahuila. Los cuales se encuentra en las coordenadas, 25° 22' Latitud Norte y 101° 00' Longitud Oeste. Con una altitud de 1742 msnm. Teniendo una temperatura media anual de 19.8° C y una precipitación total media anual de 298.5 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 el 80% en los meses lluviosos y el 30% en los periodos seco, como promedio (Mendoza, 1983).

Preparación del Sustrato

El material biológico fue seleccionado sobre la base de las variedades del género *Opuntia* que son más utilizadas como forraje por los ganaderos del Municipio de Saltillo. Las especies que fueron utilizadas son: 1) *Opuntia imbricata* (Haworth), 2) *Opuntia ficus-indica* (Linné), 3) *Opuntia cantabrigiensis* (Lynch), 4) *Opuntia lindheimeri* variedad *tricolor* (Griffiths) y 5) *Opuntia lindheimeri* Engelmann variedad *subarmata* (Griffiths).

Se seleccionaron tres plantas (repeticiones) de cada especie a las cuales se les cortaron pencas (cladiodos) cada mes durante la estación de primavera. Se picaron en trozos para secarse parcialmente en estufa a 70° C. Las muestras de cada planta se agruparon, de manera que se tuvieron tres substratos de cada especie. Fueron molidas para posteriormente ser analizadas en el laboratorio.

Procedimiento Experimental

En la determinación de la cinética de la digestión de la fibra de los forrajes se utilizó la técnica de digestibilidad *in vitro* descrita por Tilley y Terry (1963), con la modificación de 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) analizando a cada uno de los respectivos residuos de la fermentación la fibra en detergente neutro (FDN), incubadas por duplicado con un testigo para cada tiempo, y determinando la FDN original de cada muestra como ajuste.

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

Obtención del Líquido Ruminal

La obtención del líquido ruminal fue de un novillo fistulado. Este animal fue alimentado con una dieta de heno de avena, el animal donador se le restringió el acceso al

alimento y agua 16 horas antes de la extracción del fluido 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).

Análisis Estadístico

Los resultados del análisis bromatológico, DIVMS y DIVMO fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (especies) e igual número de repeticiones (3).

Para la cinética de la digestión se considera el residuo de 96 horas como la extensión máxima de la digestión o Fibra Potencialmente Indigestible (FPI) y la diferencia con el resultado de FDN original de las muestras es la Fibra Potencialmente Digestible (FPD). La tasa de degradación (kd) se obtuvo transformando los datos obtenidos de la FPD residual en logaritmos naturales (LN) en cada tiempo de incubación. La pendiente obtenida corresponde a la tasa de degradación (kd).

A continuación se describe el modelo de regresión lineal simple empleado en este estudio.

$$y_i = \beta x_i + \alpha + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\varepsilon_i \sim \text{NI}(0, \sigma^2)$$

Donde:

γ_i = Logaritmo natural de los residuos (%) de FPD del i-ésimo tiempo de incubación in vitro.

χ_i = i-ésimo tiempo (h) de incubación in vitro.

β = Coeficiente de regresión. Tasa de degradación (k_d) de las paredes celulares (FDN) de las especies.

γ_i = Intercepción al origen.

ε_i = Variable aleatoria a la cual se asume distribución normal con media cero y varianza σ^2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Bromatológico

En el cuadro 4.1 se muestran los resultados obtenidos del Análisis Bromatológico de las especies estudiadas, donde se muestra una diferencia altamente significativa ($P < 0.05$) para los contenidos de Proteína Cruda (PC) y Extracto Etéreo (EE). Sin embargo para la Materia Seca Total (MST), Cenizas (Cz), Fibra Cruda (FC), Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) y Materia Orgánica (MO) no existe una diferencia estadística significativa ($P > 0.05$).

En otros trabajos relacionados con las mismas especies pero para la estación de primavera, Gopar (2001), obtuvo diferencias significativas ($P < 0.05$) para los contenidos de MST, Cz, EE, PC, ELN y MO, sin embargo para la FC encontró que no existe una diferencia estadística significativa ($P > 0.05$); sin embargo para la estación de otoño e invierno, Sánchez (2001) y Montes (2003), encontraron que no existe diferencia significativa en ninguno de los componentes del Análisis Bromatológico.

Se encontraron altos porcentajes en todos los componentes del Análisis Bromatológico con respecto a los mencionados por Flores y Aguirre (1992), quizás esto se deba a las condiciones en que el material fue estudiado.

Martínez (1994) reporta valores en las especies de maguey forrajero *Agave atrovirens* y de *Agave salmiana* muy poco similares, existiendo una gran ventaja por parte de las *Opuntias*.

Cuadro 4.1. Análisis bromatológico de las especies utilizadas.

Concepto ¹		<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>	
-----------------------	--	----------------	----------------------------	--

	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>imbricata</i>	Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
MST	91.05	92.09	90.45	91.96	89.44
Cenizas	27.92	20.93	23.05	27.76	26.03
Proteína Cruda	8.71ab	10.46a	6.66bc	6.10c	8.56ab
Extracto Etéreo	1.98a	1.56bc	1.22d	1.32cd	1.72ab
Fibra Cruda	14.59	15.62	14.04	16.04	17.50
ELN	46.80	51.43	55.04	48.78	46.20
MO	65.62	72.83	69.61	66.42	66.27

MST = materia seca total. ELN = extracto libre de nitrógeno MO = materia orgánica ¹ %

en Base Seca.

* Los valores con letras diferentes tienen significancia de (P<0.05)

Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca y Materia Orgánica

En el cuadro 4.2 se muestran los porcentajes de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO), dónde se tuvo una diferencia significativa para ambos casos (P<0.05). Al respecto, Gopar (2001) menciona que para la estación de primavera no se obtuvieron diferencias significativas, en las mismas especies, lo cual nos indica que cualquier especie puede ser utilizada.

Por otro lado, para la estación de otoño, Sánchez (2001), solo encontró diferencia significativa para la DIVMO y Montes (2003) para la estación de invierno encontró diferencia significativa solo para la DIVMS, ambos autores trabajaron con las mismas especies del presente trabajo. Cherney *et al.* (1993), reportan valores más altos de DIVMS para la alfalfa de (75.1 %), para el silo de maíz (73.2 %) y para la avena de (83.7 %).

Los resultados obtenidos por Valdés y Jones (1987), para la DIVMS en 30 zacates (65.3 % en promedio) y 25 leguminosas (58.5 % en promedio) dan lugar a suponer que las *Opuntias* son menos digestibles que los zacates, pero son similares a las leguminosas para la estación de verano. Los resultados obtenidos por Martínez (1994), para la DIVMS y DIVMO en *Agave atrovirens* (64.52 y 57.52% respectivamente) y *Agave salmiana* (62.4% y 54.35% respectivamente) son más altos que los resultados de las *Opuntias* para esta estación del año.

Cuadro 4.2. Porcentajes de digestibilidad *in vitro* de las especies utilizadas.

Concepto	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
DIVMO	49.95 ^a	53.38 ^a	57.45a	30.85b	41.70ab
DIVMS	59.40 ^a	57.51 ^a	57.24a	36.77b	46.93ab

DIVMO = digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Tasa de Degradación de las Paredes Celulares (FDN)

En el cuadro 4.3 se muestran los resultados obtenidos de la tasa de degradación (kd), donde se observa que la especie *Opuntia cantabrigiensis* (0.60 %/h) fue mayor, siguiendo en orden descendente *Opuntia imbricata* (0.50 %/h), *Opuntia lindheimeri* var.

subarmata (0.49 %/h), *Opuntia lindheimeri* var, *tricolor* (0.39 %/h) y *Opuntia ficus - indica* (0.27 %/h).

Ramírez *et al.* (2000) encontraron valores muy altos de tasa de degradación para las estaciones de primavera, verano, otoño e invierno (11.4 %/h, 13.6 %/h, 11.7 %/h y 11.7 %/h respectivamente), sin embargo estos valores quizás se deban a que se utilizaron muestras de cladodios muy tiernos de la especie *Opuntia engelmannii* y la técnica de la digestibilidad *in situ*.

Cruz (1999), reporta para algunos forrajes de uso común como el heno de alfalfa (0.18 %/h), ensilado de maíz (0.61 %/h) y paja de sorgo (0.38 %/h), por lo que tenemos que para esta estación del año los resultados obtenidos de kd son más altos que el heno de alfalfa, sin embargo, como sabemos el contenido de lignina en la alfalfa es mucho mayor, lo que puede explicar dichos resultados.

Gopar (2001), para la estación de primavera obtuvo resultados de kd de (0.28 %/h , 0.65 %/h, 0.74 %/h, 0.36 %/h y 0.30 %/h). Para la estación de otoño Sánchez (2001), obtuvo resultados de (0.44 %/h, 0.31 %/h, 0.20 %/h, 0.24 %/h y 0.39 %/h).

Mientras que Montes (2003), para la estación de invierno reporta valores de (0.12 %/h, 0.12 %/h, 0.40 %/h, 0.11 %/h y 0.11 %/h). Lo cual nos indica que para las estaciones de primavera, verano y otoño las kd son más altas que las reportadas por Cruz (1999) y para la especie *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* en la estación de invierno.

Fisher *et al.* (1989), obtuvieron una kd de (0.19 %/h) para el heno de alfalfa, (0.13 %/h) para la avena, (0.16 %/h) para el rye grass y (0.08 %/h) para el sorgo.

Grant y Mertens (1992), obtuvieron resultados más bajos para el heno de alfalfa (0.07 %/h) y heno bromegrass (0.05 %/h) y Varel y Kreikemeier (1995), reportan a la alfalfa en rangos de (0.04 a 0.01 %/h) de FDN. Por lo que se observa en todos los casos que la kd es más baja que las especies estudiadas en este trabajo.

Sin embargo Parada (1997) obtuvo kd de la FDN *in situ* de (0.54 %/h) para el heno de alfalfa, (0.57 %/h) para el rye grass, (0.62 %/h) para el heno de avena, (0.27 %/h) para el rastrojo de maíz y (0.20 %/h) para la paja de sorgo, pero esto puede ser debido a la técnica utilizada y a la calidad del forraje.

Cuadro 4.3 Tasa de degradación (kd) de las especies de nopal utilizados.

Concepto	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
FDN (%)	51.76	57.17	56.98	55.61	64.08
FPI (%)	16.23	17.45	16.09	15.22	10.41
FPD (%)	17.26	21.72	29.07	30.14	18.18
Kd (%/h)	0.27	0.50	0.49	0.39	0.60

FDN = fibra detergente neutro

FPI = fibra potencialmente indigestible

FPD = fibra potencialmente digestible

En el cuadro 4.4 se muestran los resultados de la Fibra Potencialmente Indigestible (FPI), lo cual podemos observar que a las primeras 4 hrs. de incubación existe una degradación muy significativa comparada con su FDN original.

Observamos que la especie *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* tiene la más alta degradabilidad con respecto a su FDN (38.90 %FPI vs. 55.61 % FDN), pero a las 96 hrs. obtenemos que *Opuntia cantabrigiensis* tuvo la más alta degradabilidad con respecto a su FDN (10.41 %FPI vs. 64.08 %FDN). Estas dos especies ofrecen las mejores características ya que no alteran mucho el consumo por mostrar un menor tiempo de degradación de fibra.

A las 96 hrs. tiempo en que se considera máximo de la extensión en la digestión para los forrajes, Gopar (2001), para la estación de primavera obtuvo resultados de (10.7 %, 15.1 %, 11.16 %, 21.6 % y 15.81 %).

Para la estación de otoño Sánchez (2001), obtuvo resultados de (7.93 %, 18.42 %, 21.39 %, 10.46 % y 11.31 %). Y para la estación de invierno Montes (2003), obtuvo (13.17 %, 22.70 %, 18.57 %, 12.42 % y 17.76 %).

Pero los resultados obtenidos por Cruz (1999), para el heno de alfalfa son de (22.36 %), para el ensilado de maíz de (18.49 %) y paja de sorgo de (37.83 %). Fisher *et al.* (1989), reportaron para la alfalfa (15.3 %), avena (26 %), rye grass (34 %) y sorgo (18.9 %).

Cuadro 4.4. Porcentajes de fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) *in vitro*.

TI (h)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
4	39.01	50.32	50.88	38.90	55.17
8	32.40	44.85	38.98	52.16	40.60
12	20.06	50.90	44.75	32.16	42.46
24	18.36	44.09	43.45	32.10	20.05
36	19.96	25.80	31.43	30.75	26.41
48	19.96	24.91	23.38	20.05	24.91
60	17.26	21.72	29.07	20.14	18.19
72	14.59	20.26	19.80	24.71	14.35
84	12.21	21.04	16.15	19.83	15.92
96	16.23	17.45	16.09	15.22	10.41

En el cuadro 4.5 se muestra el porcentaje de FPD, para lo cual obtenemos que la especie que tuvo la degradación más alta a las 96 hrs. fue *Opuntia cantabrigiensis* siguiendo en forma descendente *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*, *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia ficus-indica*, siendo estos resultados (53.67, 40.89, 40.39, 39.72 y 35.53 % respectivamente).

A las 96 hrs. Gopar (2001), obtuvo para la estación de primavera (27.74, 57.4, 51.52, 42.76 y 32.02 %), para la estación de otoño Sánchez (2001), obtuvo resultados de (45.86, 37.31, 32.05, 40.26 y 50.75) y para la estación de invierno Montes (2003) obtuvo resultados de (13.23, 22.65, 41.38, 13.78 y 19.44 %).

Cruz (1999), obtuvo para el heno de alfalfa (14.27 %), ensilado de maíz (46.24 %) y paja de sorgo de (34.31 %).

Cuadro 4.5. Porcentajes de fibra potencialmente digestible (FPD) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) *in vitro*.

TI (h)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
4	12.75	6.85	6.10	16.71	8.91
8	19.36	12.32	18.00	3.45	23.48
12	31.70	6.27	12.23	23.45	21.62
24	33.40	13.08	13.53	23.51	44.03
36	31.80	31.37	25.55	24.86	37.67
48	31.80	32.26	33.60	35.56	39.17
60	34.50	35.45	27.91	35.47	45.89
72	37.17	36.91	37.18	30.90	49.73
84	39.55	36.14	40.83	35.78	48.16
96	35.53	39.72	40.89	40.39	53.67

Se utilizó el modelo de regresión lineal de los logaritmos naturales en la Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual obtenidos a diferentes tiempos de incubación *in vitro*, para obtener las gráficas donde se muestra la tasa de degradación de la fibra (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5)

Observando que la que tiene mejor tendencia es la especie *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*.

Gopar (2001), obtuvo que la especie *Opuntia imbricata* fue la de mejor tendencia teniendo un R^2 de 0.98 para la estación de primavera, para la estación de otoño Sánchez (2001), obtuvo a la especie *Opuntia cantabrigiensis* tuvo la mejor tendencia con un R^2 de 0.93 y para la estación de invierno Montes (2003) obtuvo que la especie *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* tuvo la mejor tendencia con un R^2 de 0.88.

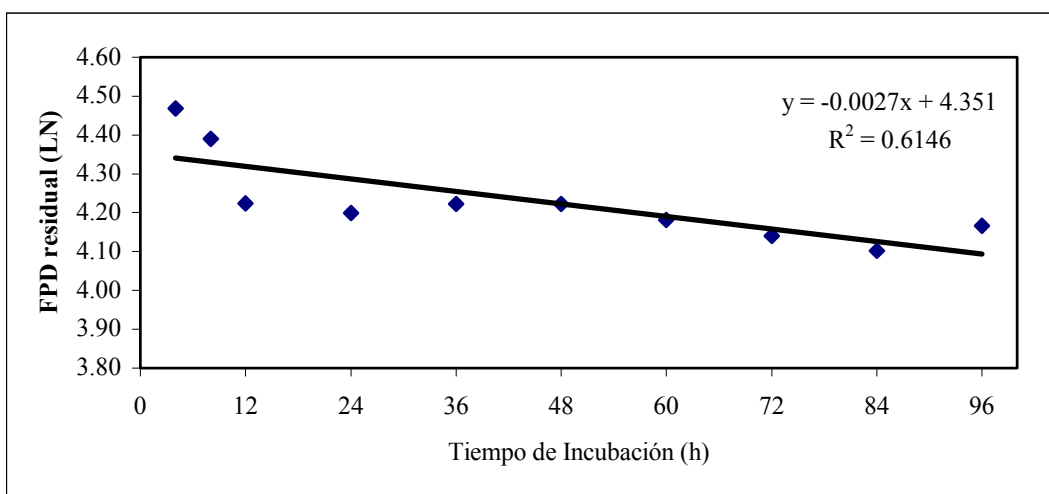


Figura 4.1. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia ficus-indica* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

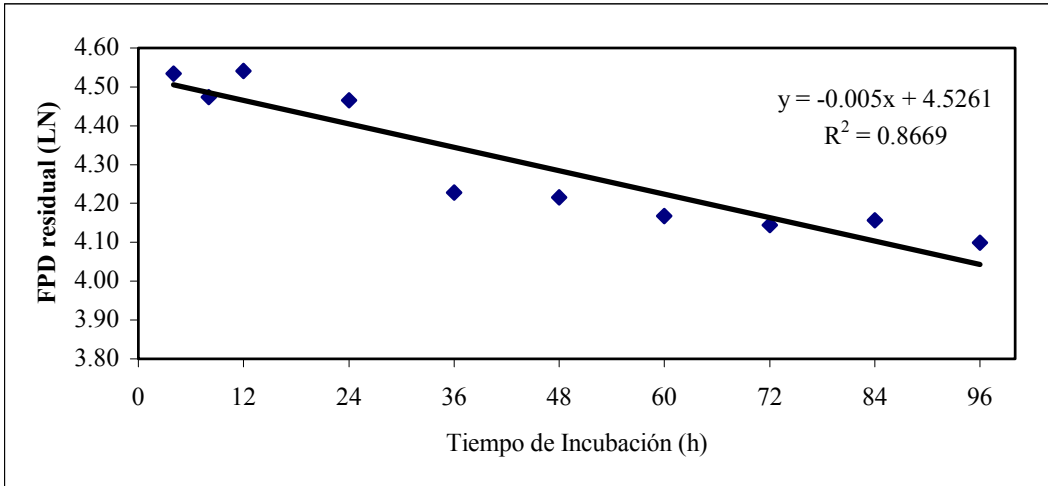


Figura 4.2. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia imbricata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

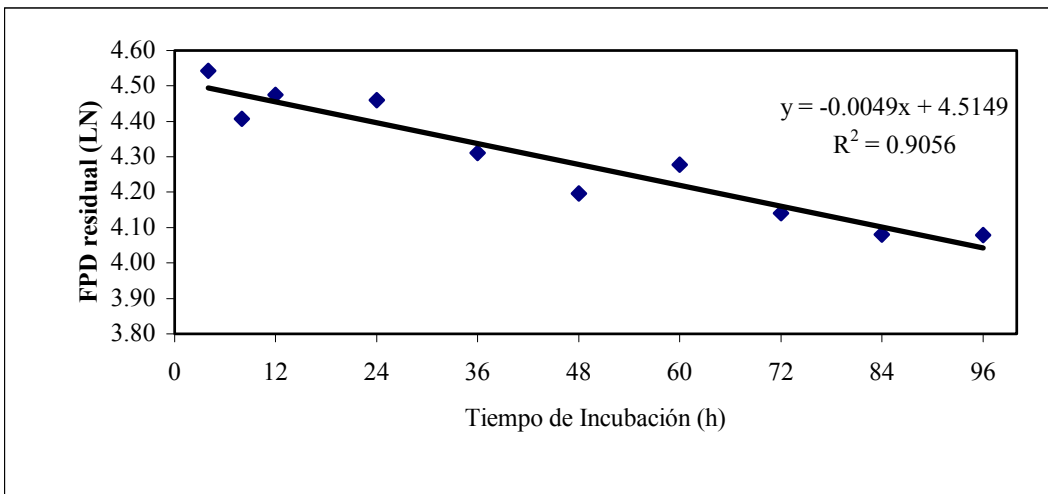


Figura 4.3. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

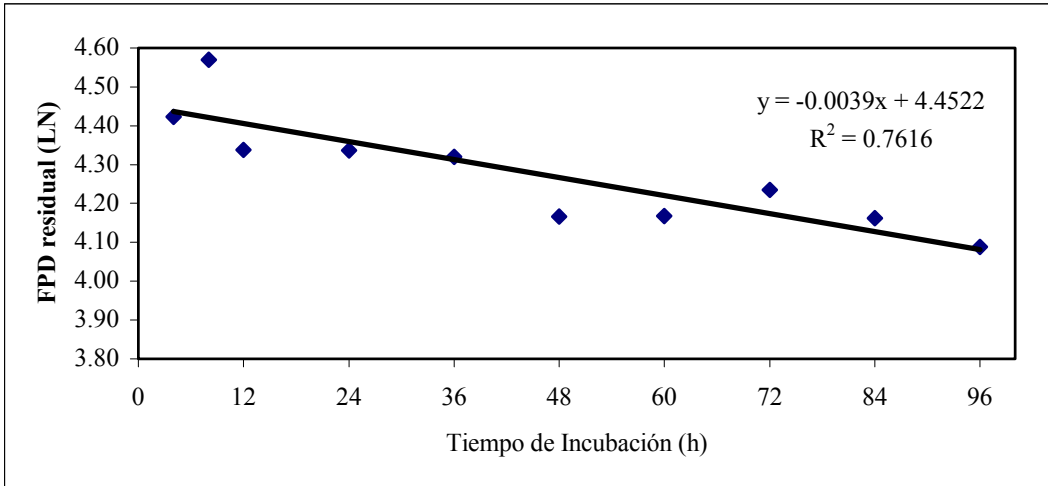


Figura 4.4. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

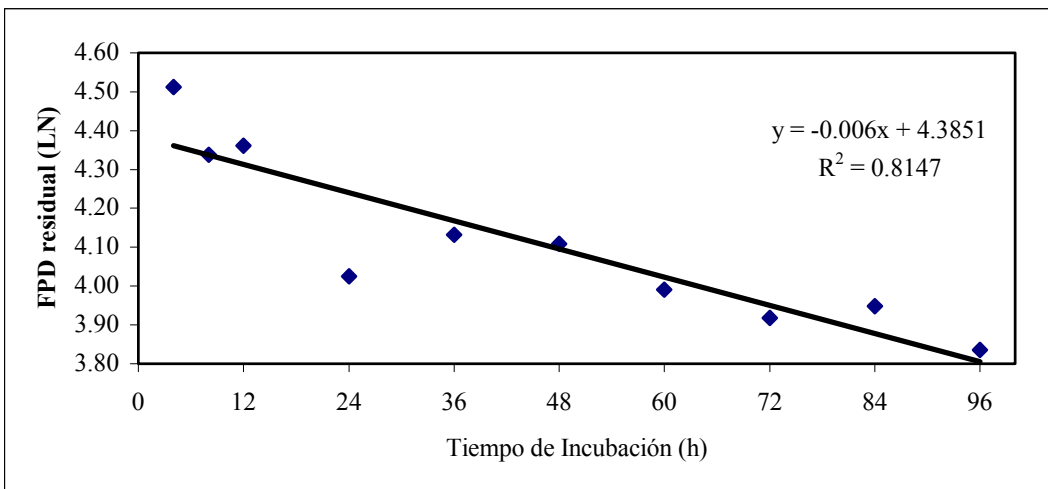


Figura 4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia cantabrigiensis* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

En el cuadro 4.6 tenemos la degradabilidad a que se sometió la FDN a diferentes tiempos de incubación encontrando que la especie *Opuntia ficus – indica* a las primeras 4 hrs. obtiene el mayor porcentaje de degradación de su FDN y la especie *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* tiene la menor degradabilidad. Pero a las 96 hrs. la especie *Opuntia cantabrigiensis* obtiene el porcentaje de más alta degradabilidad.

Gopar (2001) obtuvo que la especie *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* a las 96 hrs. tuvo (82.20 %) para la estación de primavera, para la estación de otoño Sánchez (2001), obtuvo que la especie *Opuntia ficus – indica* obtuvo la mejor degradación a las 96 hrs con un resultado de (85.09 %).

Fisher *et al.* (1989) obtuvieron valores para FDN digestible el alfalfa de (18.7 %), avena (30.4 %), rye grass (30.6 %) y sorgo (42.1 %).

Cruz (1999) menciona valores de degradación de la FDN en heno de alfalfa de (38.96 %), ensilado de maíz de (71.44 %) y paja de sorgo de (47.56 %).

Parada (1997), reporta para el rastrojo de maíz (41.55 %), paja de sorgo (41.96 %), rye grass (57.38 %) heno de alfalfa (39.21 %) y heno de avena de (55.36 %).

Comparando a estos tres últimos autores se observa que ellos obtuvieron una degradación más baja con respecto a este trabajo.

Cuadro 4.6. Porcentajes de degradación de la fibra en detergente neutro (FDN) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) *in vitro*.

TI (h)	<i>Opuntia ficus-indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			Var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
4	24.63	11.99	10.71	10.04	13.90
8	37.41	21.54	31.59	26.21	36.65
12	61.24	10.97	21.46	42.17	33.74
24	64.53	22.88	23.75	42.28	68.71
36	61.44	54.87	44.84	44.70	58.79
48	61.43	56.43	58.97	63.94	61.13
60	66.65	62.00	48.99	63.78	71.62
72	71.81	64.57	65.26	55.57	77.61
84	76.41	63.21	71.66	64.33	75.16
96	68.64	69.48	71.76	72.62	83.75

La relación que existe entre el contenido de FDN y la tasa de degradación (kd) de las especies utilizadas se observa en la figura 4.6 donde obtenemos que las especies *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* tienen mayor similitud.

Gopar (2001) y Sánchez (2001), señalan para las estaciones de primavera y otoño respectivamente que no existe una relación entre FDN y la tasa de degradación (kd). Por lo que la FDN para estas dos estaciones no puede ser tomada como indicador de la kd.

Cruz (1999), encontró que no existe relación entre la FDN y la kd para el heno de alfalfa, ensilado de maíz y paja de sorgo.

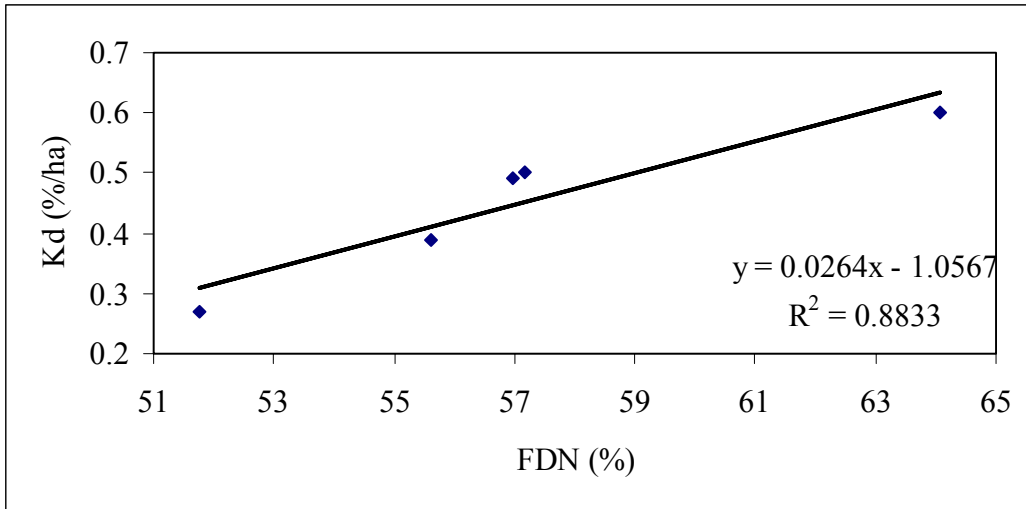


Figura 4.6. Relación entre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y su tasa de degradación (kd) entre las especies.

CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

La especie *Opuntia imbricata* por su mayor contenido de nutrientes es la más apropiada en la alimentación animal.

Las especies *Opuntia ficus – indica* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* presentan una mejor digestibilidad de la materia seca y materia orgánica.

Las especies *Opuntia cantabrigiensis* y *Opuntia imbricata* presentan una mejor tasa de degradación de la fibra.

RESUMEN

Los Nopales (*Opuntia spp.*) forrajeros presentan una perfecta adaptación a las condiciones extremas de sequía debido a su fisiología muy particular además de que constituyen un forraje aceptado por los rumiantes de importancia pecuaria tanto en condiciones de estabulación como de pastoreo, se hizo el presente estudio para conocer más la calidad nutritiva de 5 especies de *Opuntias* cosechadas en verano, las muestras del material biológico fueron colectadas en las áreas aledañas a esta entidad, correspondientes a las siguientes especies *Opuntia ficus – indica*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia lindheimeri* var, *tricolor*, *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* y *Opuntia cantabrigiensis*, a las cuales se le hizo un estudio para conocer el análisis bromatológico, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) y determinación de la tasa de degradación (kd) de la fibra *in vitro* a diferentes tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h); respectivamente. Los resultados del análisis bromatológico, DIVMS y DIVMO se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos (especies) e igual número de repeticiones (3). La tasa de degradación (kd) se obtiene transformando los datos obtenidos de la fibra potencialmente digestible (FPD) residual en logaritmos naturales (LN) en cada tiempo de incubación.

Se encontró una diferencia altamente significativa ($P < 0.05$) para los contenidos de Proteína Cruda (PC) y Extracto Etéreo (EE). Sin embargo para la Materia Seca Total (MST), Cenizas (Cz), Fibra Cruda (FC), Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) y Materia Orgánica (MO) no existe una diferencia estadística significativa. Para la digestibilidad *in*

in vitro de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO), se tuvo una diferencia significativa para ambos casos ($P < 0.05$). Los resultados obtenidos de la tasa de degradación (kd), muestran que la especie *Opuntia cantabrigiensis* (0.60 %/h) fue mayor, siguiendo en orden descendente *Opuntia imbricata* (0.50 %/h), *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* (0.49 %/h), *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* (0.39 %/h) y *Opuntia ficus - indica* (0.27 %/h). Con la utilización de un modelo de regresión lineal de los logaritmos naturales en la Fibra Potencialmente Digestible (FPD) residual obtenidos a diferentes tiempos de incubación *in vitro*, se observa que hay un apropiado coeficiente de determinación (R^2) obteniendo que la especie *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* tuvo la mejor tendencia..

La relación que existe entre el contenido de FDN y la tasa de degradación (kd) de las especies utilizadas muestran que las especies *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* tienen mayor similitud.

Por lo que se concluye que la especie *Opuntia imbricata* por su mayor contenido de nutrientes es la más apropiada en la alimentación animal, las especies *Opuntia ficus - indica* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* presentan una mejor digestibilidad de la materia seca y materia orgánica, pero las especies *Opuntia cantabrigiensis* y *Opuntia imbricata* presenta una mejor tasa de degradación de la fibra.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13th Edn. Association of Agricultural Chemists, Washington, DC.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Instituto de biología de la UNAM. México.
- Borrego, E. F. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Carreras M. E., E. Fuentes and E.F. Merino. 1997. Seed protein patterns of nine species of Cactaceae. *Biochemical Systematics and Ecology*. Vol. 25: 43 – 49.
- Cherney DJ. J. J. Siciliano and A.N. Pell. 1993. Technical note: forage in vitro dry matter digestibility as influenced by fiber source in the donor cow diet. *Journal Dairy Science*. Vol. 71:2112 – 2122.
- Cruz, R. C. 1999. Tasa de Degradación *in vitro* de la fibra de algunos forrajes de uso común. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Elizondo J. L.; J. J. López G.; J. Dueñez A. 1987. El género *Opuntia* (Tournefort) Miller y su distribución en el Estado de Coahuila. 2ª Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto de Biología. U.N.A.M. México. p. 35.
- Elizondo J. L. y Wehbe J. A. 1987. Una nueva variedad de *Opuntia lindheimeri* Engelm. *Cactáceas Suculentas de México*. Vol. 32: 16-18.
- Fisher, D. S., J. C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of in vitro cell – wall disappearance and in vivo digestion. *Agronomic Journal*. Vol. 81: 25 – 33.
- Flores V. C. A. y G. Aranda. 1997. El Nopal como Forraje en México. VII Reunión Nacional y V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. pp. 219-220.
- Flores V. C. A. y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Difusión Cultural. 2ª. Reimpresión.

- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses. 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 Género *Opuntia*, Cosechadas en Primavera. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Grant R. J. and D. R. Mertens. 1992. Impact of *in vitro* fermentation techniques upon kinetics of fiber digestion. Journal Dairy Science. Vol. 75: 1263 – 1272.
- Hughes, H. D. ; M. E. Heath y D. S. Metcalfe. 1981. Forrajes. Ed. C. E. C. S. A. México.
- Llamas L. G y I. Tejada H. 1990. Técnicas de laboratorio para el análisis de forrajes para rumiantes. En: Castellanos R.A., G.L. 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. 1977. Descripción y Transformación del Ecosistema *Opuntia streptacantha* LEMAIRE. Tesis Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- López, G. J, J. 1999. Uso del Nopal Forrajero (*Opuntia* spp) en el Norte de México. En: Curso Taller sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal . Cd. Guadalupe Nuevo León, México.
- Lozano, G. M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal. Tesis Profesional. Saltillo, Coahuila. México. Universidad de Coahuila. Escuela de Agricultura.
- Marroquín, J. S. et al. 1964. Estudio ecológico y dasonómico de las zonas áridas del norte de México. México. INIF. Publicación especial.
- Martínez, C. J. L. 1994. Valor nutritivo de dos especies de maguey (*Agave atrovirens* Kart y *Agave salmiana*) en el sur de Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Mendoza, H. J. M. 1983. Boletín Meteorológico para la Zona de Influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. U. A. A. A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Mertens, D. R. and J. R. Loften. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. J. Dairy Sci. 63: 1437.
- Montes, I, C. E. 2003. Tasa de Degradación *in vitro* de la Fibra de Algunas Especies de Nopal del Género *Opuntia*, Cortadas en Invierno. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Morrison, I. M. 1979. The degradation and utilization of straw in the rumen. Straw decay and its effect on disposal and utilization, Proc. Of a Symposium. Grasbard, E. (Ed.).
- Parada, H. M. R. 1997. Tasa de degradación *in situ* de la fibra de algunos forrajes de uso común. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Ramírez, L. R. G., G.F. Alanís, F. y M.A. Núñez G. 2000. Dinámica estacional de la digestión ruminal de la materia seca del nopal. Ciencia UANL Vol. 3: 267 – 273.
- Rodríguez, G. F. Y L. G. Llamas. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. En: Castellanos, R. A.; L. G. Llamas y S. A. Shimada. (Eds.). Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. A. C. México.
- Sanchez, H, M. 2001. Tasa de Degradación de la Fibra de Algunas Especies de Nopal del Género Opuntia *In Vitro*, Cortadas en Otoño. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Smith, L. W. ; H. K. Goering; D. R. Waldo and C. H. Gordon. 1971. In Vitro digestion rate of forage cell wall components. J. Dairy Sci. 54: 71.
- Tejada, I. y B. Carrasco. 1990. La toma de muestras, su conservación y envío al laboratorio. En: Castellanos, R. A.; L. G. Llamas. Y S. A. Shimada. (Eds.). Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. A. C. México, D. F.
- Tilley J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society. Vol. 18: 104.
- Valdes, E. V. and G. E. Jones. 1987. A Comparison of *in vitro* and *in vivo* dry matter digestibility techniques for the evaluation of forage quality. Canadian Journal Animal Science. Vol. 67: 573 – 576.
- Van Soest, P. J. ; R. H. Wine. 1967. Use of detergents in the análisis of fibrous feeds. IV. The determination of plant cell wall constituents. J. Ass. Offici. Anal. Chemists. 50 : 50.
- Van Soest, P. J. 1976. Physico – chemical aspects of fiber digestión, proc. Of the IV. International symposium in ruminant nutrition. McDonald and Worner (Eds.).
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. O & B Books Inc. Corvallis, Oregon, U. S. A.
- Van Soest P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2^a Edición. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, NY.

Varel, V. H. and K. K. Kreikemeier. 1995. Technical note: comparison of in vitro and in situ digestibility methods. *Journal Animal Science*. Vol. 73: 578 – 582.

Waldo, D. R. ; L. W. Smith and E. L. Cox. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Dairy Sci.* 55 : 125.