

**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 Primavera**

**Por**

**ESTEBAN ALEJANDRO GOPAR ESCAMILLA**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener  
el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo Zootecnista**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio del 2001**

**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 Primavera**

Por

**ESTEBAN ALEJANDRO GOPAR ESCAMILLA**

**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

---

Ing. MC. Juan José López González

Sinodal

---

Lic. Laura Olivia Fuentes Lara

Coordinador de la División de Ciencia Animal

---

Ing. Rodolfo Peña Oranday

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio del 2001

## **DEDICATORIA**

Con amor incondicional a mis padres: **Esteban Gopar Vázquez** y **Blanca Escamilla** de Gopar por darme la libertad y confianza para la toma de mis decisiones; el ejemplo y las lecciones que formaron la base de mi educación; y la oportunidad, sus sacrificios y el apoyo para terminar satisfactoriamente mi carrera.

Agradecido eternamente,... Mil gracias.

## AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Terra Mater** por albergarme en su seno de enseñanza durante todos estos años.

Al **Ing. MC. J. Eduardo García Martínez** por su apoyo y asesoría; al **Ing. MC. J. José López González** por su ayuda y paciencia, para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo.

A los laboratorios: de Nutrición y alimentos, y de Bioquímica, para realizar las investigaciones que apoyaron este trabajo.

A mis compañeros y amigos que me brindaron su amistad, **Melesio Sánchez, Juan Aragón, Casto Méndez, Sergio Chávez**, y en especial al **MVZ Adelfo López**.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Distribución geográfica del nopal.....	4
Distribución en el estado de Coahuila.....	5
Descripción botánica.....	7
Clasificación taxonómica.....	7
Descripción de las especies.....	8
Importancia del nopal.....	10
Consumo de nopal.....	12
Calidad nutritiva.....	14
Sistema de fracción de fibra.....	17
Fibra detergente neutro (FDN) o paredes celulares.....	17
Fibra detergente ácido (FDA).....	18
Métodos para medir la digestibilidad.....	19
Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	19
Digestibilidad <i>in situ</i> .....	20
Digestibilidad <i>in vivo</i> .....	20
Cinética ruminal.....	21

Comparación de los métodos.....	22
Factores que afectan la digestión de la fibra.....	23
Obtención del líquido ruminal.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
Descripción del área de estudio.....	27
Preparación del sustrato.....	28
Procedimiento experimental.....	28
Obtención del líquido ruminal.....	29
Análisis estadístico.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
Análisis bromatológico.....	31
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y materia orgánica.....	32
Tasa de degradación de las paredes celulares (FDN).....	34
CONCLUSIÓN.....	43
RESUMEN.....	44
LITERATURA CITADA.....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (porcentajes en base a materia seca).....	15
2.2	Composición química (%) del nopal, durante las 4 estaciones del año.....	17
2.3	Dinámica estacional de las características de digestión ruminal del nopal <i>Opuntia engelmannii</i> .....	22
4.1	Análisis bromatológico de las especies utilizadas.....	32
4.2	Porcentajes de digestibilidad <i>in vitro</i> de las especies utilizadas.....	33
4.3	Tasa de degradación (kd) de las especies de nopal utilizados.....	35
4.4	Porcentajes de fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) <i>in vitro</i> .....	36
4.5	Porcentajes de fibra potencialmente digestible (FPD) de las especies utilizadas a diferentes tiempos de incubación (TI) <i>in vitro</i> .....	37
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> .....	41

## 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> .....	38
4.2	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia imbricata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .....	38
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> .....	39
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> .....	39
4.5	Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia cantabrigiensis</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .....	40
4.6	Relación entre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y su tasa de degradación (kd) entre las especies.....	42

## INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas de México que ocupan aproximadamente el setenta por ciento del territorio nacional, es común observar períodos prolongados de sequía y cambios extremos de las condiciones agroclimáticas. Esto hace que en estas áreas marginales sean muy difíciles las prácticas agropecuarias así como los cultivos que se utilizan para alimentar el ganado, lo cual ocasiona baja disponibilidad y baja productividad de forrajes.

Estos ecosistemas frágiles, se han caracterizado por la sobreutilización y mal manejo, situación que ha originado que una enorme proporción de los mismos se encuentre degradada, casi improductiva, sujeta a la erosión acelerada e invadida por especies poco deseables presentando en general una baja productividad potencial del sistema (Cantú, 1984). Con esto, la producción animal se ve limitada sobre todo, en épocas de invierno, donde el alimento escasea y donde se requiere establecer alternativas en la alimentación animal, haciéndose necesaria mayor inversión para sostener una explotación pecuaria, ya sea de leche o de carne. Pero según Flores y Aguirre (1992), la principal causa de la baja productividad pecuaria es la alimentación deficiente del ganado. Sin embargo, hay otras causas de la baja alimentación, por ejemplo, el limitado conocimiento de la vegetación nativa como productora de forraje y de los diferentes métodos para utilizar esa información (López, 1999).

Por lo anterior es necesario hacer uso de los recursos naturales que se han adaptado a las condiciones ecológicas de estas zonas, tal es el caso de los nopales forrajeros (*Opuntia spp.*) los que representan una perfecta adaptación a condiciones de aridez y constituyen un forraje aceptado por los rumiantes de importancia pecuaria, tanto en condiciones de estabulación como de pastoreo (Flores y Aguirre, 1992). Por lo tanto, el interés por el cultivo y aprovechamiento del nopal se debe a que se le considera como una estrategia ecológica productiva para prevenir las consecuencias de las sequías que cada vez son más frecuentes y severas, ya que proporcionan una gran diversidad de productos para el consumo humano y animal. Además, contribuye a conservar la biodiversidad debido a que provee alimento, protección y hábitat a la fauna silvestre de dichas zonas (Pimienta, 1993).

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

El análisis químico no es suficiente para medir el valor nutritivo de los forrajes que se utilizan en las dietas de los animales, debido a que algunas de sus partes no son fracciones nutritivas, por ejemplo la fibra cruda que se encuentra parcialmente en el extracto libre de nitrógeno (hemicelulosa, celulosa y lignina) y no únicamente carbohidratos disponibles (Llamas y Tejada, 1990). Por otra parte, la digestibilidad de

los forrajes se ve afectada por muchos factores, desde la especie vegetal hasta las características propias del animal que lo consume.

Por consiguiente, es necesario investigar sobre estas especies de nopal (*Opuntia spp.*) para tener una mayor información y poder utilizarla adecuadamente.

El objetivo del siguiente trabajo es conocer la calidad nutritiva y determinar la tasa de degradación de la fibra de cuatro especies del género *Opuntia* cosechadas en la estación de Primavera, ya que son utilizadas como forraje por los ganaderos de la región del Norte del país.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Distribución Geográfica del Nopal

En México el nopal se encuentra en casi todo el territorio nacional, sin embargo, su importancia pecuaria está localizada en la zona Norte del País. López y Elizondo (1988), distinguen cuatro zonas nopaleras dentro del territorio del País:

Zona Centro-Sur: Esta área comprende los estados de México, Puebla, Querétaro y Oaxaca, caracterizados por nopales de porte alto y productores de verduras y fruta, y forraje en segundo término. Las especies más explotadas son: *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*, *Opuntia amyclaea* y sus múltiples variedades. Existe otra especie que es la *Opuntia tomentosa* usada en la propagación de la cochinilla para la extracción de colorantes naturales.

Zona del Altiplano: Comprende los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, y en menor proporción Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco. Durango presenta plantas de porte arbóreo como la *Opuntia streptacantha* y la *Opuntia leucotricha* y sus variedades, así como especies de porte arbustivo como la *Opuntia robusta*, *Opuntia cantabrigiensis*, y en menor densidad las rastreras como la *Opuntia rastrera*. Existen algunas especies que producen buena fruta entre estas se encuentra la *Opuntia ficus-*

*indica*, *O. streptacantha*, *O. megacantha*, *O. amyclaea* y sus variedades, así como *O. robusta*.

Zona Norte: Es la región del desierto de Chihuahua donde se desarrolla el nopal forrajera en forma natural, formando microclimas, se encuentran plantas de porte arbustivo y arbóreo como la *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. ficus-indica* y *O. amyclaea*. Las cuales generalmente producen frutos de mala calidad comercial. Las plantas de porte arbustivo bajo son: *O. cantabrigiensis*, *Opuntia phaeacantha* y sus variedades, así como *Opuntia lindheimeri*, aunque en menor proporción.

Zona de la Planicie Costera del Golfo: Comprende el Noreste de México, el Noreste del estado de Coahuila, parte de Nuevo León y Tamaulipas. Son especies de porte arbustivo como *O. lindheimeri* y sus variedades.

### **Distribución en el Estado de Coahuila**

En el Estado de Coahuila se reportan por Elizondo *et al.* (1987), 25 especies con 12 variedades de las cuales solo 5 especies y sus variedades son consideradas como forrajeras (Rodríguez *et al.*, 1992), siendo su distribución la siguiente:

Oriente. Caracterizado por ser una de las regiones más húmedas con más de 400 mm de precipitación por año, y una altitud menor de los 1000 msnm, en el cual se

distribuye *Opuntia lindheimeri* y sus 4 variedades (*lindheimeri*, *aciculata*, *subarmata* y *tricolor*).

Occidente. Es la región considerada la más desértica con una precipitación menor de los 150 mm por año y una altitud que va de los 500 a los 1700 msnm, por la que se distribuye *Opuntia phaeacantha* y sus 5 variedades (*major*, *phaeacantha*, *discata*, *spinosibaca* y *nigricans*).

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

El nopal *Opuntia rastrera* se distribuye en el sureste y suroeste del Estado, en las regiones que tienen una precipitación promedio de 400 mm por año, y entre los 1000 y 1200 msnm. El *Opuntia imbricata* se encuentra distribuido en todo el Estado, siendo una especie indicadora de un mal manejo de los agostaderos, esta especie solo se utiliza como forraje en épocas críticas. Otras especies como el *Opuntia microdasys*, *O. leptocaulis*, *O. violácea*, *O. rufida* entre otras que son utilizadas como forraje en épocas críticas. El *O. microdasys* y *O. rufida* son especies muy apetecidas por los ovinos y caprinos pero presenta un problema debido a la abundancia de espinas pequeñas, que dificultan su manejo y ocasionan daños a los ojos de los animales (Elizondo *et al.*, 1987).

## Descripción Botánica

### Clasificación Taxonómica

Orden: CACTALES Britton et Rose.

Familia: CACTACEAE Lindley.

Subfamilia: OPUNTIOIDEAE Schumann.

Tribu: OPUNTIEAE (Britton et Rose) Backeberg.

Género: *Opuntia* (Tournefort) Miller

Subgénero: CYLINDROPUNTIA Engelmann

Serie: Imbricatae Britton et Rose.

Especie: *Opuntia imbricata* (haworth) De Candolle.

Subgénero: OPUNTIA Engelmann.

Serie: Dillenianae Britton et Rose.

Especie: *Opuntia cantabrigiensis* Lynch.

Especie: *Opuntia lindheimeri* Engelmann.

Variedad: *tricolor* (Griffiths) Benson.

Variedad: *subarmata* (Griffiths).

Serie: Ficus-indicae Britton et Rose.

Especie: *Opuntia ficus-indica* (Linné) Miller.

### **Descripción de las especies**

*Opuntia imbricata* (haworth) De Candolle.

Arbusto hasta 5 m de altura. Tronco corto, leñoso, bien definido, de 10 cm de diámetro, del que parten ramas primarias escasas, muy largas, las que a su vez producen varias series de artículos de 12 a 35 cm de largo y de 2.5 a 3.5 cm de diámetro. Hojas subuladas, de 1 a 2.5 cm de largo, caducas. Aréolas grandes con glóquidas escasas. Espinas numerosas, 10 a 30 por aréola de 1 a 3 cm de largo, rectas de color rojizo moreno hasta rosada. Flores numerosas en la extremidad de las ramas de 5 a 7 cm de diámetro, color púrpura. Fruto tuberculado, amarillo, sin espinas, obovoide de 2.5 a 4.5 cm de largo y de 2 a 3 cm de diámetro, sin espinas. La multiplicación se hace más bien por los artículos de las ramas que se caen. En la época de sequía suelen usarse los frutos como forraje (Bravo, 1978).

*Opuntia lindheimeri* Engelman.

Variedad: *tricolor* (Griffiths) Benson.

Planta arbustiva de 1 a 3 m de altura. Artículos determinados, obovados, de 17.5 a 25 cm de largo, aréolas distantes entre sí de 2.5 a 4 cm. Espinas largas amarillas con base rojiza, aciculares o subuladas, redondeadas o ligeramente aplanadas en la base, presentes de 1 hasta 6 espinas en casi todas las aréolas del artículo de 5 a 7.5 cm de longitud (Bravo, 1978).

Variedad: *subarmata* (Griff.)

Arbustiva hasta de 1.70 m de altura. Espinas frecuentemente ausentes, cuando están presentes solo en el borde del artículo, de 1.5 a 2.5 cm de longitud. Aréolas separadas entre sí de 4 a 5.5 cm. las flores miden de 4 a 10 cm de diámetro. El fruto de forma ovoide de 3 a 4 cm de longitud por 2.5 a 3 cm de diámetro, umbilicado de color purpúreo. Semillas negras con bordes blancos rojizos de 4 mm de longitud (Elizondo y Wehbe, 1987).

*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. Aréolas distantes. Espinas generalmente 3 a 6, aciculares, amarillas con la base rojiza de 1.5 a 5 cm de longitud. Flores de 5 a 6 cm de longitud, amarillentas con centros rojizos. Fruto globuloso, como de 4 cm de diámetro, de color púrpura (Bravo, 1978).

*Opuntia ficus-indica* (Linné) Miller.

Arborescentes de 3 a 5 m de alto. Tronco leñoso de 20 a 30 cm de diámetro artículos oblongos hasta abobados, de 30 a 60 cm de largo y 20 a 40 cm de ancho y 1.9 a 2.8 cm de grueso, color verde opaco. Espinas casi siempre ausentes, cuando existen son escasa y pequeñas. Fruto oval, de 5 a 10 cm de largo y 4 a 8 cm de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo, con abundante pulpa (Bravo, 1978).

## **Importancia del Nopal**

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

Las características de adaptación que tiene el nopal para resistir la sequía es por ser una planta xerófita y algunos caracteres xeromórficos están relacionados en forma directa con la mayor eficiencia de absorción del agua mediante un amplio sistema radicular muy superficial, y de almacenamiento del agua mediante un tejido especializado y con regulación de transpiración mediante una cutícula gruesa, estomas pequeños y protegidos, otra importante característica fisiológica es la rapidez con la cual las espinas reaccionan a las lluvias así como su alto índice de deficiencia de transpiración (Ramírez *et al.*, 2000). Por lo tanto el nopal es usado como fuente de forraje durante la sequía así se aprovecha en sus mejores condiciones, cuando tiene menor porcentaje de agua. También hay variaciones con la edad de la penca (Flores y Aguirre, 1992). Aun cuando la calidad nutritiva de cactus como una fuente de la proteína es baja con respecto a otras plantas, su calidad de agua puede ser importante como un alimento de la emergencia para el ganado (Vega *et al.*, 1997). No obstante, los valores nutritivos del nopal forrajero son muy bajos y generalmente están relacionado con la materia seca, proteína cruda, fibra cruda y el volumen de fósforo (Dossantos *et al.*, 1994), por otro lado, el cultivo de la planta puede usarse como una herramienta eficaz

para mejorar la productividad y calidad de la planta y el rendimiento de la materia seca puede ser del 91.2% hereditable.

Guevara *et al.* (1999a), menciona que la eficacia de producción de cactus con los factores de lluvia usada es de: 15 Kg de MS/ha/año en un rango de 1 a 200 mm de lluvia, 18.8 kg/ha de MS/año de 1 a 300 mm y 225 kg/ha de MS/año con lluvias de 1 a 400 mm; por lo tanto el nopal depende de la frecuencia de lluvia (Dougherty *et al.*, 1996). En un promedio de producción es de 1166 kg/ha como alimento potencial y también aumenta la disponibilidad de especies de forraje deseables (Mueller y Forwood, 1994; y Mueller *et al.*, 1994). La producción en el Estado de Coahuila puede ser de 5 a 15 toneladas de base real al quinto año de establecida la plantación (López, 1998).

El nopal no solamente tiene importancia en los aspectos económicos sino también en la conservación del suelo, pues protege la capa fértil contra la erosión debido al tipo de sistema radicular que posee (Pimienta, 1993 y Mohamed *et al.*, 1996) y puede mejorar las propiedades físicas de la tierra e incluso la filtración del agua (Gardiner *et al.*, 1999). Además, cuando el nopal se encuentra en forma silvestre constituye un nicho ecológico (Mohamed *et al.*, 1996), en el que crecen bastantes gramíneas ya que produce espinas afiladas y largas y la vegetación que lo rodea esta indisponible al ganado cerca del 50% (Mueller *et al.*, 1994). También Godínez *et al.* (1997), menciona otra importancia del nopal donde demuestra que la diversidad en el tipo de rizobacterias no es exclusiva de las raíces de las gramíneas y leguminosas, y que también pueden coexistir en las plantas xerófitas.

### **Consumo del nopal**

El consumo del nopal puede ser de diferentes maneras. Las pencas tiernas (cladidos) son consumidas en forma directa por el ganado, y las pencas maduras se aprovechan mediante la aplicación de fuego parcialmente en la penca quemando sus espinas (López y Elizondo, 1988), esto puede ser en el pie de la planta y el ganado y la fauna silvestre puede consumirla en el mismo lugar (Flores y Aranda, 1997); otras veces la cortan y transportan a un lugar donde posteriormente se le aplica fuego y se le ofrece al ganado. Esta última forma de aprovechamiento es la más recomendable, ya que se conserva el germoplasma de la planta (Ramírez *et al.*, 2000). Pero no se puede mantener el ganado solamente de nopales por que los efectos del nopal en el organismo animal, son similares a los de cualquier otro alimento verde y succulento, pero existe información en la literatura de que los frutos de nopal tienen una acción purgante benéfica para remover parásitos gastrointestinales. Sin embargo, también se menciona que la inflamación del tracto gastrointestinal, es ocasionados por las espinas, pero no se descarta que esta inflamación sea debida a cristales de oxalato de calcio, que se encuentran en la pulpa de la tuna (Pimienta, 1993). Pero suministrándolos adecuadamente aumenta la producción de leche y mejora sus productos, también se ha notado que mientras las vacas son alimentadas con forraje seco la mantequilla es incolora, y esta toma un color oro cuando comen pencas de nopales (Flores, 1980).

En Italia se ha encontrado el uso de cladidos de nopal que complementan con otras especies forrajeras, pueden ser una base importante para la alimentación del ganado bovino en regiones áridas especialmente para el ganado criollo (Pimienta, 1993).

Las vacas lecheras pueden llegar a consumir el nopal de 48 a 60 kg/animal/día (López *et al.*, 1996). En un estudio realizado por Granado y Castañeda (1991), encontraron que en dietas donde el nopal participa en un 41.4 % de la materia seca da un mayor aumento de peso por menor costo de producción. Sirohi *et al.* (1997), evaluaron el valor nutritivo de nopal (*Opuntia spp.*) en 18 carneros adultos alimentados con 3 dietas: 1) heno de *Cenchrus ciliaris* y 200 g de concentrado; 2) nopal y *Cenchrus ciliaris* donde consumieron 79 % MS; 3) nopal y sorgo 54% MS. La digestibilidad de materia seca, la materia orgánica, la proteína cruda, y el valor nutritivo eran más altas ( $p < 0.01$ ) en las dietas 1 y 3 que en la 2. También se menciona que hay una disminución en la mortalidad anual en cabras del 10% a 2% y una cantidad anual adicional de cabritos se considera como un beneficio directo derivados de complementar las cabras con el cactus sin espinas en el periodo del otoño-invierno y como consecuencia de esta práctica, un 0.2 cabritos adicionales parecen ser accesibles en las condiciones del campo y un beneficio secundario es la reducción de consumo de agua por las cabras (Guevara *et al.*, 1999b).

Por otro lado Chermiti (1998), considera que los consumos voluntarios por vaquillas y ovejas son idénticos para los bloques alimenticios con melaza o con nopal como aglutinantes donde el consumo es de 0.82 Kg MS/día para las vaquillas y 0.25 Kg MS/día para las ovejas. Los consumos correspondientes de heno eran 7.68 Kg MS/día y 1.02 Kg MS/día para las vaquillas y ovejas, respectivamente. Estos resultados mostraron que los nopales podrían usarse para reemplazar las melazas en los bloques del alimento.

## **Calidad Nutritiva**

Es muy importante conocer la calidad nutritiva de una especie forrajera ya que con esa información podemos emplearla adecuadamente para la alimentación de las diferentes especies animales. Barbagallo y Spagna (1999), hacen mención sobre las concentraciones de aceite de las semillas del nopal *O. ficus-indica* var. Amarillos que contienen baja concentración de ácido linoleico y oleico, mientras presenta una concentración más alta en el linolenico, palmitico y miristico.

Farias *et al.* (2000), menciona que el rendimiento de la materia seca de nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill.) es de: 5.23, 1.65 y 2.07; para el espacio de la planta 2.0 m x 1.0 m; 3.0 m x 1.0 m x 0.50 m y 7.0 m x 1.0 m x 0.50 m, respectivamente donde el rendimiento era diferente entre las frecuencias de cosecha, cuando se conservaron los artículos primarios de la planta: 4.08 ton/ha/año bajo la frecuencia de corte de 4 años y 3.43 ton/ha/año bajo una frecuencia de dos años y el rendimiento aumentó con el periodo de crecimiento de la planta, en ambas intensidades cortantes.

Weber *et al.* (1996), encontraron que el nopal contiene 0.5% a 0.9% de proteína, y su fruta de 0.8% a 3.4% de proteína y Flores y Aguirre (1992), hacen al análisis bromatológico de diferentes especies del nopal (Cuadro 2.1) en los que reporta resultados muy variados según los diferentes géneros (*Opuntia* y *Nopalea*), especies del género *Opuntia*, y variedades dentro de una misma especie *Opuntia ficus-indica*.

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.

La variación de los nutrientes del nopal es en relación con la época del año, y cambian de acuerdo con los factores ambientales a que se exponen (suelo, precipitación, temperatura y duración del día) y son los que determinan la cantidad nutricional de las plantas, lo cual en los resultados de proteína para cada especie es independientemente del lugar estable, humedad disponible antes de cortarse y fecha de colección de las muestras (Carreras *et al.*, 1997), las relaciones mutuas del taxón encontradas por un

multivariante en el análisis numérico están de acuerdo con la evaluación de la taxonómica moderna de la familia. La relación en la estación del año sobre la cantidad de los nutrientes digestibles del nopal es también variable de 0.2 a 0.3%, 0.3 a 0.4% para proteína cruda (PC), de 0.08 a 0.12%, 0.15 a 0.16% para extracto etéreo (EE), de 3 a 5.5%, 6.5 a 11% para fibra cruda (FC) y de 0.4 a 1%, 0.8 a 2% para extracto libre de nitrógeno (ELN) en las estaciones de invierno-primavera y verano-otoño, respectivamente ya que esta relación es indirecta porque los factores ambientales determinan el diferente crecimiento y desarrollo de las plantas (Flores y Aguirre, 1992), también indica la determinación del total de nutrientes digestibles para el nopal *Opuntia ficus-indica* var. F1, 4.82% materia seca (MS), 6.58% materia orgánica, 0.32% PC, 0.14% EE, 5.67% ELN y 7.13% total de nutrientes digestibles. Donde considera que por su energía digestible debe incluirse en el nivel de los forrajes toscos.

Karim *et al.* (1998), señala que la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn y Cu en los cladidos de nopal están correlacionados con el volumen de nutrientes de los cladidos. Ramírez *et al.* (2000), realizó un estudio sobre el nopal (*Opuntia engelmannii*) obteniendo que para las 4 estaciones (Cuadro 2.2) el contenido de cenizas fue similar en las estaciones de otoño y primavera, pero ambas fueron mayores en el verano y el invierno y el contenido de proteína en primavera resultó más bajo, los minerales Ca, Mg, K, Mn, Fe y Zn tuvieron concentraciones en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos del ganado de carne en crecimiento con excepciones del P, Na y Cu.

Cuadro 2.2. Composición química (%) del nopal, durante las 4 estaciones del año.

<b>Concepto<sup>1</sup></b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>	<b>Primavera</b>	<b>Media anual</b>
Materia orgánica	79.1	76.0	80.1	74.9	77.5
Cenizas	20.9	24.0	19.9	25.2	22.5
Proteína cruda	6.6	6.1	6.7	5.1	6.0
Fibra en detergente neutro	37.2	37.0	36.7	36.4	36.8
Fibra en detergente ácido	13.6	13.1	12.9	14.9	13.6
Celulosa	12.8	12.6	12.0	12.7	12.5
Hemicelulosa	24.1	24.0	24.3	21.9	23.6
Lignina	0.8	0.4	0.9	2.2	1.1
Cenizas insolubles	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4

<sup>1</sup> En Base Seca.Fuente (Ramírez *et al.*, 2000)

### **Sistema de Fracción de Fibra**

#### **Fibra en Detergente Neutro (FDN) o Paredes Celulares**

Este procedimiento de fibra detergente neutro es para determinar los componentes de la pared celular que no son solubles como lignina, celulosa y hemicelulosa, es cual es un método rápido para fibra total en alimentos fibrosos vegetales, ya que estos componentes se digieren lentamente y en diferentes porcentajes en el rumen (Ensminger *et al.*, 1990 y Schofield *et al.*, 1994). Aparentemente divide la materia seca al punto de que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación microbológica para tener el aprovechamiento. Este método no puede aplicarse a los alimentos que tienen un alto contenido de proteína y bajo de fibra (Tejada, 1985).

Ramírez *et al.* (2000), menciona que el contenido de fibra en detergente neutro (pared celular) en el nopal fue similar entre estaciones 37.2, 37.0, 36.7 y 36.4% para verano, otoño, invierno y primavera respectivamente, con una media anual de 36.8%.

### **Fibra en Detergente Ácido (FDA)**

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

La fibra detergente ácido es separada en 2 fracciones: 1) ácidos detergentes solubles que son el contenido de hemicelulosa rápidamente digestible y 2) la fibra en detergente ácido, es la porción menos digestible de los alimentos. La FDA es indicador de la digestibilidad del forraje por su alta proporción de lignina que es la parte digestible de la fibra. La FDN siempre tiene un valor más alto de la FDA porque esta no contiene hemicelulosa y a más bajo valor de FDA más alimento puede digerir el animal (Ensminger *et al.*, 1990).

Ramírez *et al.* (2000), también hace mención que el contenido de fibra detergente ácido (lignina + celulosa) en el nopal fue similar entre las 4 estaciones con un 13.6, 13.1,

12.9 y 14.9% en verano, otoño, invierno y primavera, con una media anual de 13.6%. Así Weber *et al.* (1996) encontraron que el nopal contiene un 0.4% a 2.4% de FDA, y su fruta de 3.6% a 10.7% de FDA.

## **Métodos para Medir la Digestibilidad**

### **Digestibilidad *In Vitro***

Este sistema se basa en su primera etapa por una fermentación en un sistema cerrado, en el cual los productos de la fermentación no son removidos. La fermentación es producida por microorganismos añadidos en el líquido ruminal utilizado como inóculo. Sin embargo, en esta fermentación sus condiciones no reflejan 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 de “rumen artificial” para poder describir esta técnica. La segunda etapa se lleva a cabo en una digestión con pepsina ácida, en esta se elimina la proteína microbiana existente dejando únicamente la MS no digerida, esta etapa es comparada con lo que sucede en el abomaso (Llamas y Tejada, 1990).

### **Digestibilidad *In Situ***

En esta técnica se necesitan bolsas de nylon con porosidades similar a las de los tejidos corporales para permitir el paso del líquido ruminal, las bolsas deben tener un tamaño que pueda contener de 2 a 5 g de muestra. La digestión se lleva a cabo en el rumen con la participación de microorganismos ruminales en su propio ecosistema. Las muestras a evaluar se colocan dentro de las bolsas y la desaparición se mide en intervalos periódicos, hasta un tiempo aproximado de 96 horas. Los resultados se ajustan a modelos de degradación ruminal proteica, estos generalmente consideran la presencia de una fracción de proteína soluble (fracción A), una fracción que se degrada con una velocidad (tasa) determinada (fracción B), y una fracción indisponible para el animal (fracción C), en base a los resultados, se puede determinar la degradación ruminal efectiva de una proteína (Llamas y Tejada, 1990).

### **Digestibilidad *In Vivo***

La técnica consiste en alojar a los animales en jaulas metabólicas adaptadas con separadores de heces en bolsas y separadores de orina. Antes de iniciarse la prueba, los animales se deberán desparasitar. El período preexperimental deberá ser entre siete y 12 días, cuyo objetivo es adaptar a los animales al confinamiento, dieta y para poder desalojar los residuos de alimentos ajenos a la dieta a evaluar (Church y Pond, 1998). Los animales deberán pesarse el inicio y al final de la prueba. Durante éste y en la colección, el alimento se suministra en dos raciones (mañana y tarde) y los residuos no

consumidos deben retirarse diariamente, sobre todo bajo condiciones de altas temperaturas. La colección de heces debe empezar dos días después de iniciada la colección de residuos de alimentos y continuarse por dos días más, después de finalizada la colección de los mismos. Los residuos de alimento de cada animal deben pesarse diariamente y en una submuestra determinarse la materia seca, la cual puede utilizarse para posteriores análisis químicos (Rodríguez y Llamas, 1990).

### **Cinética Ruminal**

En la nutrición de rumiantes se mide el volumen de la digesta en el rumen y la tasa de flujo. Esta última determina el tiempo de exposición del alimento a los microorganismos (Castellanos *et al.*, 1990).

El estudio de la cinética *in vivo* es complicado por la variable tasa de paso, tamaño de partícula y la magnitud y la tasa de la reducción del tamaño de partícula. Los modelos de cinética *in vivo* proponen una oportunidad de síntesis de entendimiento del sistema animal. Sin embargo, las interacciones forman mucha interpretación e incorporación de los datos *in vitro* dentro de los modelos *in vivo* de la dificultad de digestión ruminal (Fisher *et al.*, 1989).

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

(c), fueron más bajas durante la primavera que en las otras estaciones (cuadro 2.3). En el tiempo en que tardaron las bacterias del rumen en iniciar la degradación de MS (Lag time) no fue diferente entre estaciones. Y durante el verano el nopal tuvo la más alta degradabilidad efectiva de la MS (DEMS), sin embargo, durante la primavera se observó la más baja.

Cuadro 2.3. Dinámica estacional de las características de digestión ruminal del nopal *Opuntia engelmannii* (Ramírez *et al.*, 2000).

Concepto <sup>1</sup>	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
a, %	43.5	42.5	41.4	40.2
b, %	35.5	35.6	35.6	33.8
a+b, %	78.9	77.3	76.3	73.9
c, %/h	13.6	11.7	11.7	11.4
Lag time, h	3.8	3.5	3.7	3.4
DEMS, 2%/h	71.7	70.4	67.4	67.7

a = fracción de la MS perdida durante el lavado; b = fracción de la MS degradable; a+b = fracción de la MS; c = tasa de degradación de la MS; Lag time = tiempo de retardo en el inicio de la degradación de la MS; DEMS = degradabilidad efectiva de la MS a una tasa de recambio ruminal de 2%/h; <sup>1</sup> Base seca.

### **Comparación de los Métodos**

Es importante hacer una comparación de las técnicas de digestibilidad debido a los problemas que pueden tener cada una de ellas. Así tenemos que varios autores han comparado las diferentes técnicas. Wilman y Adesogan (2000), mencionan que hay pequeñas diferencias entre la bolsa de filtro que con el método de los tubos con las especies *Lolium multiflorum* y *Medicago sativa* (considerando la planta entera, tallo y hoja). Ellos sugieren que con los métodos tradicionales, mientras se usan los tubos, es probable dar los resultados más precisos que usar las bolsas de filtro, aunque a costa de

requerir más trabajo. Valde y Jones (1987), encontraron que había correlación significativa ( $P < 0.01$ ) entre la técnica de 2 estados celulosa-pepsina y el método de digestibilidad in vivo de la MS y entre celulosa-pepsina y el método de 2 estados del rumen inoculo-pepsina en 30 forrajes. Varel y Kreikemeier (1995), compararon los métodos in vitro e in situ para determinar la cinética de la digestión de la FDN con heno de alfalfa y heno bromegrass encontrando resultados de 4 tratamientos donde el promedio del tiempo de retraso era  $3.5 \pm 0.3$  h menor ( $P < 0.01$ ), la tasa era  $0.03 \pm 0.002$ /h más rápido ( $P < 0.01$ ), y la magnitud era  $6.0 \pm 0.5\%$  mayor ( $P < 0.01$ ) para el método in situ que para el método *in vitro*.

Sin embargo, han surgido otras técnicas para determinar la digestibilidad y las han comparado con las técnicas tradicionales así tenemos que Mabweesh *et al.* (2000), sugieren que el método DAISY, comparado con el método de Tilly y Terry, puede usarse para predecir la digestibilidad in vitro con variación relativamente pequeña. Holden (1999), nos dice que el método DAISY II no afectó significativamente el valor digestibilidad, y no había ninguna fuente significativa por las interacciones del método comparado con un método tradicional.

### **Factores que Afectan la Digestión de la Fibra**

Dentro de la digestión pueden hallarse muchos factores que pueden afectar considerablemente la degradabilidad de los alimentos a analizar. Wilman y Adesogan (2000), mencionan que no hay efecto perceptible en la digestibilidad con el tamaño de la

muestra molida. Sin embargo, Cherney *et al.* (1988), indican que el tamaño de la partícula puede afectar la cinética de la digestión. La cantidad y tamaño de la partícula de forraje en la dieta actúan recíprocamente con la fuente de fibra sustituida para determinar el impacto neto en la tasa de digestión ruminal y pasaje de fibra (Grant, 1997). El almidón es otro factor que influye en el retraso y la tasa de digestión de la fibra (Grant, 1994 y Hoover, 1986).

En el método *in situ*, cuando el nivel de consumo es alto el pH disminuye y la osmolaridad incrementa y no hay una diferencia en la desaparición de la MS (Prigge *et al.*, 1984). El descenso moderado del pH (aproximadamente 6.0) resulta una disminución pequeña en la digestión de la fibra y disminución de los microbios fibrolíticos (Hoover, 1986).

El tipo de vaso de digestión, y el uso de aditivos (microminerales y triptofano) no tienen efecto sobre la cinética de la digestión de FDN (Grant y Mertens, 1992).

Las diferentes especies de animal también tenían sus influencias en la digestibilidad de forraje consumido (Sarwar *et al.*, 1998 y Holden, 1999). Los carneros alimentados con forrajes que contienen muchos tallos tienen más baja digestibilidad de FDN y MO que los alimentados con forrajes con menos tallos, también la proporción de forraje:concentrado de las dietas disminuye la tasa de digestión fraccionaria de los componentes de la pared celulares (Sarwar *et al.*, 1998). La fuente de fibra en la dieta del animal donador y el método de la filtración puede afectar la digestibilidad *in vitro* de la MS (Cherney *et al.*, 1993). También la preñez retrasada con la restricción de alimento,

disminuye la tasa de paso de las partículas sin cambios en la fermentación de la magnitud de la digestión (Hanks *et al.*, 1993).

Las propiedades químicas de fuentes de la proteína están muy relacionadas con la biodegradabilidad que hace pensar en la necesidad por la investigación básica para determinar las propiedades fundamentales de paredes celulares que reprimen la tasa de digestión intrínseca y la degradabilidad potencial (Seyoum *et al.*, 1996).

Moore y Mott (1974), enumera que solamente el 0.002 g de MO residual que paso en la fibra de vidrio (glass wool mats) era retenido por los crisoles (sintered glass crucibles) y los discos (glass fiber discs) retuvieron 0.029 g de MO residual lo cual habría pasado por fibra de vidrio y crisoles. El calculo de la digestión de MO residual no era afectado incluyendo el residuo retenido por la fibra de vidrio. La inclusión del residuo retenido por los discos reduce la digestión en un 1.9 %.

### **Obtención del líquido ruminal**

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

digestibilidad de forraje usando el líquido ruminal de la oveja son muy similares a aquellos al usar el líquido ruminal del ganado vacuno (Wilman y Adesogan, 2000).

Corley *et al.* (1999), diseñaron un dispositivo de filtro cerámico que simplificó la colección de fluido del ruminal, también puede ser útil para investigar factores que afectan la dinámica de fermentación del ruminal y puede ayudar en la identificación de variables asociada con las enfermedades metabólicas.

## **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 extremo con lluvias de verano y precipitación invernal superior de 10% del total anual. Con humedad relativa que alcanza es del 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 sustratos 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 interrumpe 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 ( $k_d$ ).

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

$$\gamma_i = \beta \chi_i + \alpha + \varepsilon_i$$

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

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

Donde:

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

$\chi_i$  =  $i$ -ésimo tiempo (h) de incubación in vitro.

$\beta$  = Coeficiente de regresión. Tasa de degradación ( $k_d$ ) de las paredes celulares (FDN) de las especies.

$\alpha$  = Intercepción al origen.

$\varepsilon_i$  = Variable aleatoria a la cual se asume distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis Bromatológico

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4.1 donde hay diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para los contenidos de materia seca total (MST), cenizas (C), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y materia orgánica (MO) entre las especies cosechadas en primavera. Sin embargo, para la fibra cruda (FC) no existe una diferencia estadística significativa pero se observa que si la hay numéricamente en *O. lindheimeri* entre sus dos variedades (14.28 vs. 18.65%) *subarmata* y *tricolor*, respectivamente, pero tal vez, esto pueda deberse al contenido de MO (68.45 vs. 69.63%, respectivamente). Flores y Aguirre (1992) reportan valores del análisis bromatológico diferentes a los obtenidos en este trabajo en las mismas especies y solo en algunos componentes se tiene una similitud. Tal vez esto se deba a que la cantidad de nutrientes con relación a la época del año es muy variable. En los valores reportados por Ramírez *et al.* (2000) se tiene una similitud en C y PC con relación a este trabajo. Martínez (1994) reporta valores en las especies *Agave atrovirens* y *Agave salmiana* que son muy poco similares con este estudio.

Cuadro 4.1. Análisis bromatológico de las especies utilizadas.

Concepto <sup>1</sup>	<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>	
MST	93.43a	93.49a	92.45b	93.78a	93.89a
Cenizas	31.15a	23.91b	24.0b	24.15b	25.07b
Proteína Cruda	6.89ab	7.21a	4.22c	5.67bc	5.4c
Extracto Etéreo	2.1a	1.82a	1.15b	1.74a	1.86a
Fibra Cruda	17.89	15.48	14.28	18.65	17.3
ELN	41.97c	51.58ab	56.36a	49.79b	50.37b
MO	62.28b	69.59a	68.45a	69.63a	68.79a

MST = materia seca total.

ELN = extracto libre de nitrógeno

MO = materia orgánica

<sup>1</sup> % en Base Seca.

\* Los valores con letras diferentes tienen significancia de (P&lt;0.05)

### Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca y Materia Orgánica

En el cuadro 4.2 observamos el grado de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y el de la materia orgánica (DIVMO) donde no se tuvo una diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre especies. Pero se encontró una diferencia numérica donde se observa la menor digestibilidad para *O. lindheimeri* var. *tricolor* de DIVMS y DIVMO (52.9 y 46.6%, respectivamente), en este caso tal vez se deba la cantidad más alta de FC y MO, respectivo (18.65 y 69.63%) entre las especies; y la mayor digestibilidad se obtuvo en *O. ficus-indica* (58.8 y 63.49%, DIVMS y DIVMO, respectivamente), sin embargo, en esta especie no es la que tiene la más baja cantidad de FC, pero sí los valores más bajos de ELN y MO (41.97 y 62.28%, respectivamente) entre especies. Por lo tanto cualquier especie puede ser utilizada, ya que no presentan una significancia estadística.

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	58.8	55.44	53.02	46.6	53.45
DIVMS	63.49	60.83	56.99	52.9	54.74

DIVMO = digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Encontramos algunas variantes con estos resultados con los valores reportados con otros autores. Cherney *et al.* (1993), reporta valores de DIVMS más altos para alfalfa (75.1%), ensilado de maíz (73.2%) y avena (83.7%). Los resultados que tienen una semejanza con este estudio son los obtenidos por Valdes y Jones (1987), en 30 zacates (65.3% en promedio) y 25 leguminosas (58.5% en promedio); y Martínez (1994), reportando valores de DIVMS y DIVMO en *Agave atrovirens* (64.52 y 57.52%, respectivamente) y *Agave salmiana* (62.4 y 54.35%, respectivamente), también son semejantes a los de Cruz (1999), en el ensilado de maíz (46.24%) y en los reportados por Parada (1997), rye grass (62.78%), heno de alfalfa (60.65%) y heno de avena (59.79%)

Cruz (1999), obtiene valores en la degradación *in vitro* a 96 h para heno de alfalfa (14.27%), y paja de sorgo (34.31%) los cuales son más bajos que en este trabajo, al igual los mencionados por Parada (1997), realiza la digestibilidad *in situ* de la MS a 96 h obteniendo en rastrojo de maíz (37.49%) y paja de sorgo (37.45%).

### Tasa de Degradación de las Paredes Celulares (FDN)

Los resultados obtenidos en la tasa de degradación (kd) se muestran en el cuadro 4.3 donde se observa que la *O. ficus-indica* tiene la menor degradación aún cuando su contenido de fibra en detergente neutro (FDN) es menor, pero tal vez se deba a que el valor de la fibra potencialmente digestible (FPD) es la más baja entre las especies. También podemos observar que hay una diferencia muy marcada en las dos variedades de *O. lindheimeri* teniendo que la variedad *subarmata* contiene el valor más alto de kd (0.74%/h) con respecto a las demás especies, y la variedad *tricolor* con 0.36%/h, a pesar de que sus valores de FDN son muy similares entre las dos, sin embargo, difieren en la cantidad de la FPD y fibra potencialmente indigestible (FPI). Ramírez *et al.* (2000), encontraron valores en cuanto a la tasa de degradación muy altas (13.6, 11.7, 11.7 y 11.4%/h) para las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente; sin embargo, estos valores tal vez se deban a que ellos utilizaron los cladiodos muy tiernos de la especie *O. engelmannii* y la técnica de digestibilidad *in situ*; también estos autores obtienen valor de degradabilidad efectiva de la materia seca (69.3% media anual) más altos, y FDN (36.8% media anual) más bajos que los resultados obtenidos en este trabajo.

Por otro lado, comparando con otros tipos de forraje que son muy utilizados para la alimentación del ganado como por ejemplo los reportados por Cruz (1999) con heno de alfalfa (0.18%/h), ensilado de maíz (0.61%/h) y paja de sorgo (0.38%/h); Fisher *et al.* (1989) obtiene una kd para heno de alfalfa (0.19%/h), avena (0.13%/h), rye gras (0.16%/h) y sorgo (0.08%/h); Grant y Mertens (1992) tienen resultados más bajos para

heno de alfalfa (0.07%/h) y heno de bromegrass (0.05%/h); y Varel y Kreikemeier (1995) reportan en alfalfa rangos de 0.04 a 0.1%/h de FDN, se observa que en los cuatro casos se tienen una kd más baja que las especies en este trabajo; También Andrighetto *et al.* (1993) señalan que la degradación de FDN de heno de alfalfa es más alta que la del rye grass italiano (4.64 vs. 2.91%/h, respectivamente), y que el heno de alfalfa y el rye grass italiano contienen 41.1 y 59.8% de FDN, respectivamente; Cruz (1999) obtuvo resultados de FDN para heno de alfalfa (36.63%), ensilado de maíz (64.78%) y paja de sorgo (72.14%) comparándolos con este estudio son muy similares.

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 (%)	38.44	72.5	62.67	64.36	47.84
FPI (%)	10.7	15.1	11.16	21.6	15.81
FPD (%)	27.74	57.4	51.52	42.76	32.02
Kd (%/h)	0.28	0.65	0.74	0.36	0.30

FDN = fibra detergente neutro

FPI = fibra potencialmente indigestible

FPD = fibra potencialmente digestible

En el cuadro 4.4 podemos apreciar que en las especies existe una degradación significativa a las primeras cuatro horas comparado con su FDN original contra su FPI respectivo. Observamos que la especie *O. imbricata* tiene la más alta degradabilidad con respecto a su FDN (44.76% FPI vs. 72.5% FDN), pero a las 96 h obtenemos que *O. lindheimeri var. subarmata* tiene la más alta degradabilidad con respecto a su FDN (11.16% FPI vs. 62.67% FDN), quizás esta degradación se deba a que su kd es más

rápida que las otras especies. Estas dos especies son las que ofrecen las mejores características, ya que al presentar una mejor digestibilidad y no alterarían mucho el consumo por mostrar un menor tiempo de la degradación de fibra. Comparando estos valores con los reportados por Cruz (1999) que obtiene la FPI de heno de alfalfa (22.36%), ensilado de maíz (18.49) y paja de sorgo (37.83%); y Fisher *et al.*, (1989) que reporta la FDN indigestible para alfalfa (15.3%), avena (26%), rye grass (34%) y sorgo (18.9%), observamos que tienen una degradación más lenta que las especies estudiadas en este trabajo.

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	24.71	44.76	56.3	43.97	39.33
8	27.44	49.49	54.63	37.95	33.54
12	28.45	47.63	52.84	38.29	29.11
24	21.63	34.99	43.27	33.52	28.13
36	18.11	29.31	34.31	27.14	25.64
48	15.48	31.87	25.99	24.51	20.25
60	11.9	19.97	23.21	24.39	17.48
72	8.1	19.87	19.17	23.3	15.16
84	9.27	21.18	15.09	19.47	18.8
96	10.7	15.1	11.16	21.6	15.81

El porcentaje de la FPD (cuadro 4.5), se corrobora que la especie *O. imbricata* tiene la degradación más alta a las cuatro y 96 h, también se observa que *O. lindheimeri* var. *subarmata* en las primeras cuatro horas tiene la más baja degradabilidad pero a las

96 h su degradabilidad se coloca después de *O. imbricata*. Ramírez *et al.* (2000) obtiene resultados de la fracción de la MS potencialmente degradable en *O. engelmannii* en las 4 estaciones del año (76.3% media anual) resultados muy altos ya que utilizo las pencas del nopal muy tiernas.

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	13.73	27.74	6.37	20.39	8.51
8	10.99	23.01	8.04	26.41	14.3
12	9.99	24.87	9.83	26.08	18.73
24	16.81	37.51	19.4	30.84	19.7
36	20.33	43.19	28.36	37.22	22.19
48	22.96	40.63	36.68	39.85	27.59
60	26.54	52.53	39.46	39.97	30.35
72	30.33	52.63	43.51	41.06	32.68
84	29.17	51.32	47.58	44.89	29.04
96	27.74	57.4	51.52	42.76	32.02

Con la utilización de una regresión lineal de los logaritmos naturales en la fibra potencialmente digestible (FPD) residual a diferentes tiempos de incubación *in vitro* se obtuvieron las graficas de las especies de nopal utilizadas, donde nos ayuda a representar la tasa de degradación de la fibra (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5), observándose que hay una apropiado coeficiente de determinación ( $R^2$ ) dado que son muy altas en todas las especies, considerando que la *O. imbricata* tiene la mejor tendencia.

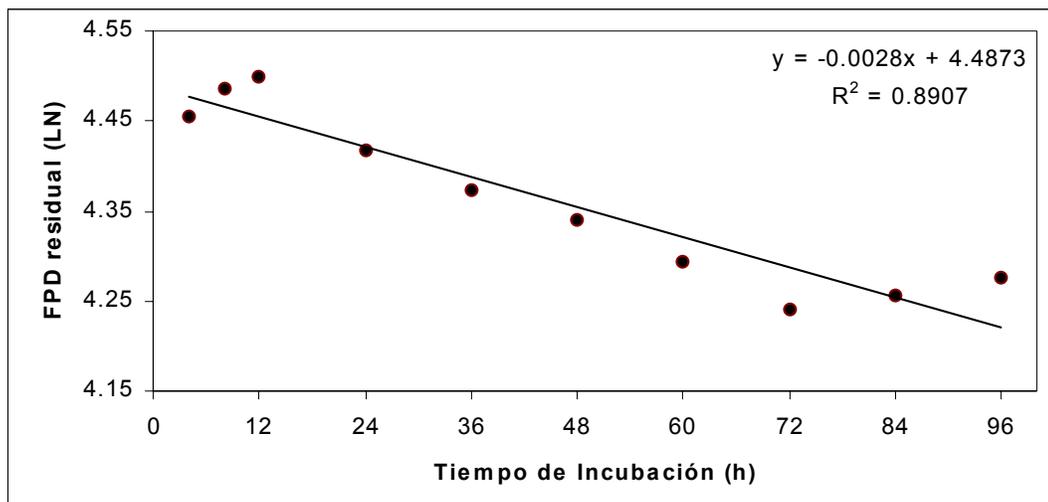


Figura 4.1. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia ficus-indica* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

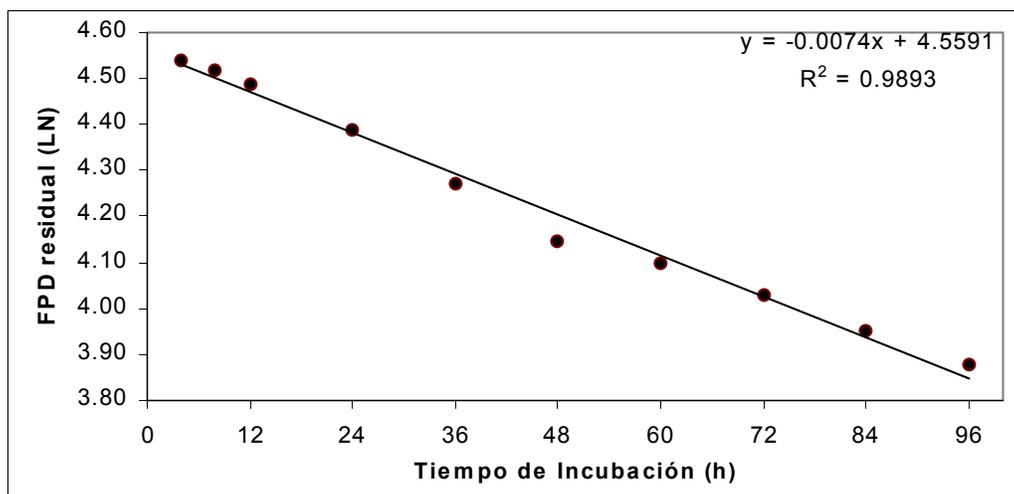


Figura 4.2. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia imbricata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

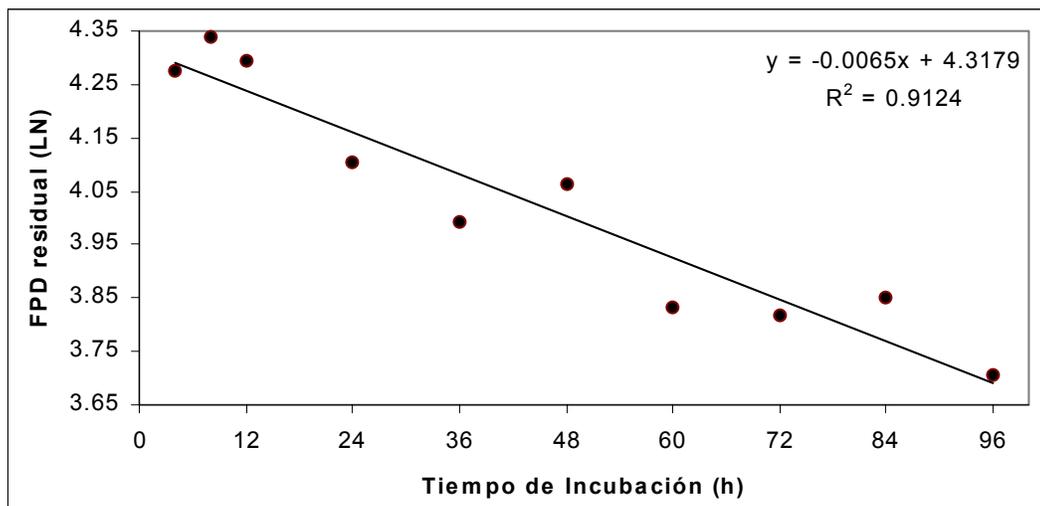


Figura 4.3. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

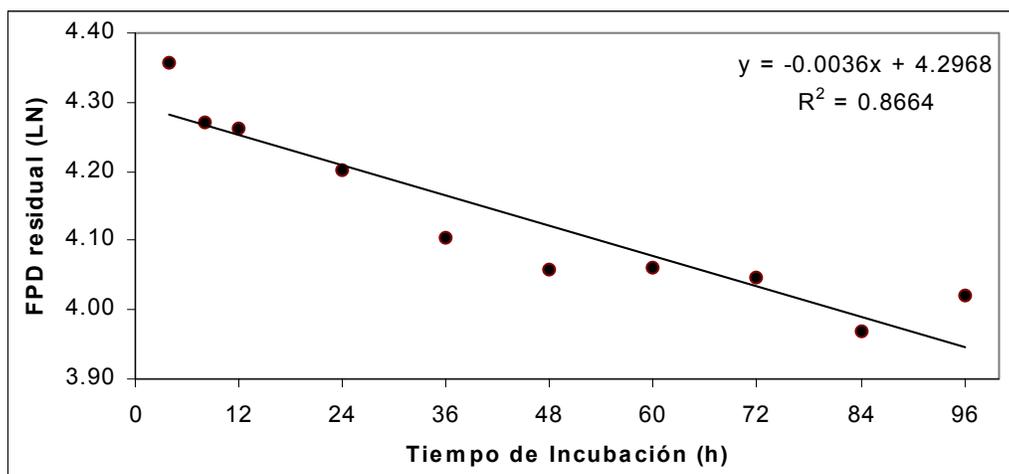


Figura 4.4. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

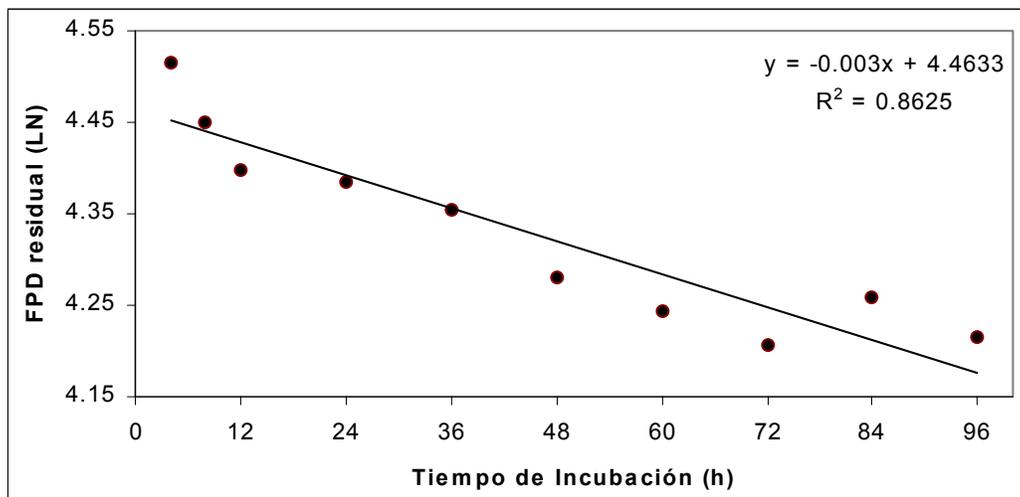


Figura 4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia cantabrigiensis* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*.

Corroborando lo anterior, en el cuadro 4.6 tenemos la degradabilidad a que se sometió la FDN a diferentes tiempos de incubación encontrando que efectivamente la especie *O. imbricata* tiene en sus primeras cuatro horas la degradación de su FDN más alta y la *O. lindheimeri* var. *subarmata* la menor degradabilidad, sin embargo, dado que esta última especie tiene la kd más alta, en las 96 h su FDN se degrada en mayor porcentaje. Fisher *et al.* (1989) obtienen valores para FDN digestible en alfalfa (18.7%), avena (30.4%), rye gras (30.6%) y sorgo (42.1%); Cruz (1999) menciona los valores de la degradación de la FDN en heno de alfalfa (38.96%), ensilado de maíz (71.44%) y paja de sorgo (47.56%); y Parada (1997) reporta los resultados de digestibilidad *in situ* de la FDN para rastrojo de maíz (41.55%), paja de sorgo (41.96%), rye grass (57.38%), heno de alfalfa (39.21%) y heno de avena (55.36%); comparando los resultados de estos tres autores tienen una degradación muy baja con respecto a los obtenidos en 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	35.72	38.26	10.16	31.68	17.78
8	28.60	31.74	12.83	41.04	29.89
12	25.99	34.31	15.68	40.51	39.15
24	43.73	51.74	30.96	47.91	41.19
36	52.88	59.58	45.25	57.83	46.39
48	59.73	56.04	58.53	61.92	57.67
60	69.05	72.46	62.97	62.11	63.46
72	78.92	72.60	69.42	63.79	68.32
84	75.88	70.78	75.92	69.74	60.71
96	72.17	79.18	82.20	66.43	66.94

Por ultimo, la relación que existe entre el contenido de FDN y la tasa de degradación (kd) de las especies utilizadas (figura 4.6) se observa claramente que no hay una relación estrecha entre especies, aún siendo del mismo género, lo cual indica que la FDN con la kd entre especies no se asemejan entre sí.

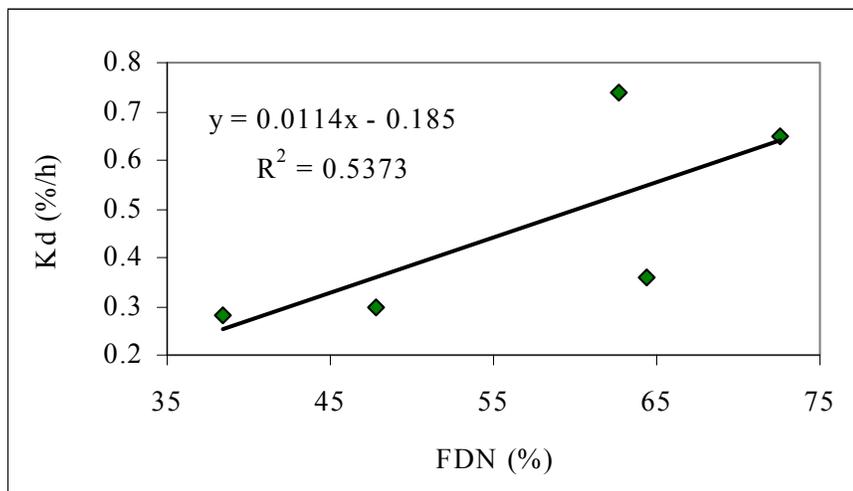


Figura 4.6. Relación entre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y su tasa de degradación (kd) entre las especies.

## CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Las especies *Opuntia imbricata* y *Opuntia ficus-indica*, por su mayor contenido de nutrientes son las más apropiadas en la alimentación animal.

Las especies *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* presentan una mejor digestibilidad de la materia seca y materia orgánica, al igual que la tasa de degradación de la fibra.

Sé considerar un alimento complementario por ser una alternativa importante para el mantenimiento de los animales en pastoreo y fauna silvestre, sobre todo en épocas críticas.

## RESUMEN

El nopal (*Opuntia spp.*) ha retomado importancia en la alimentación animal, por esto se ha hecho un estudio para conocer el análisis bromatológico, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO), y determinar la tasa de degradación (kd) de la fibra a diferentes tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h); utilizando las especies *O. ficus-indica*, *O. imbricata*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* var. *subarmata* y *O. lindheimeri* var. *tricolor* cosechadas en la estación de primavera en terrenos de Buenavista, Saltillo Coah. 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). 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 que hay diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para los contenidos de materia seca total (MST), cenizas (C), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y materia orgánica (MO) entre las especies. Sin embargo, para la fibra cruda (FC), la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) no hubo una diferencia estadística significativa ( $P > 0.05$ ) entre especies. Los resultados obtenidos en la tasa de degradación (kd) muestran que la *O. ficus-indica* tiene la menor degradación aún cuando su contenido de fibra en detergente neutro (FDN) es menor. También se encontró que

hay una diferencia muy marcada en las dos variedades de *O. lindheimeri* teniendo que la variedad *subarmata* contiene el valor más alto de kd (0.74%/h) con respecto a la variedad *tricolor* con 0.36%/h, a pesar de que sus valores de FDN son muy similares, sin embargo, difieren en la cantidad de la FPD y fibra potencialmente indigestible (FPI). En el porcentaje de la FPD se corrobora que la especie *O. imbricata* tiene la degradación más alta a las cuatro y 96 h, también se observa que *O. lindheimeri* var. *subarmata* en las primeras cuatro horas tiene la más baja degradabilidad pero a las 96 h su degradabilidad se coloca después de *O. imbricata*. Por último con la utilización de una regresión lineal de los logaritmos naturales en la FPD se observa que hay un apropiado coeficiente de determinación ( $R^2$ ) dado que son muy altas en todas las especies, considerando que la *O. imbricata* tiene la mejor tendencia.

Se concluye que las especies *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* de ofrecen las mejores características, como un alimento complementario alternativo para el mantenimiento de los animales en pastoreo y fauna silvestre, sobre todo en épocas de sequía.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13th Edn. Association of Agricultural Chemists, Washington, DC.
- Andrighetto I., L. Bailoni, G. Cozzi, H.F. Tolosa, B. Hartman and S.O. Hinds. 1993. Observation on *in situ* degradation of forage cell components in alfalfa and Italian rye grass. Journal Dairy Science. Vol. 76: 2624-2631.
- Barbagallo R.N. and G. Spagna. 1999 Fatty acids determination from oil seeds of *Opuntia ficus-indica* L. (Miller). Industrie Alimentari. Vol. 38: 815-817.
- Bravo H.H. 1978. Las Cactáceas de México. Instituto de biología de la UNAM. México.
- Cantú B.J.E. 1984. Manejo de Pastizales, Depto. de Producción Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, 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.
- Castellanos R.A., G.L. Llamas, A.S. Shimada. 1990. Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistemas de educación continua en producción animal. A.C. México.
- Chermiti A. 1998. Use of prickly pears to replace molasses in nutritional blocks. Effects on the voluntary intake. Annales de Zootechnie. Vol. 47: 179-184.

- 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 Animal Science*. Vol. 71: 1335-1338.
- Cherney J.H., D.J.R. Cherney and D.R. Mertens. 1988. Fiber Composition and digestion kinetics in grass stem internodes as influenced by particle size. *Journal Dairy Science*. Vol. 71: 2112-2122.
- Church D.C. y W.G. Pond. 1998. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. Editorial LIMUSA.
- Corley III R.N., M.R. Murphy, J. Lucena and S.V. Panno. 1999. Technical note: A device for obtaining time-integrated samples of ruminal fluid. *Journal Animal Science*. Vol. 77: 2540-2544.
- 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.
- Dossantos D.C., I. Farias, M.M.A. Donascimento, M.D. Lira and J.N. Tabosa. 1994. Genetic parameter estimates on forage cactus clones *Opuntia ficus-indica* Mill. and *Nopalea cochenillifera* Salm-Dick. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. Vol. 29: 1947-1957.
- Dougherty, R.L.; W.K. Lauenroth and J.S. Singh. 1996. Response of a grassland cactus to frequency and size of rainfall events in a North American shortgrass steppe. *Journal Ecology*. Vol. 84: 177-183.
- 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.

- Ensminger M.E., J.E. Oldfield and W.W. Heineman. 1990. Feeds and Nutrition 2<sup>a</sup> Ed. Editorial The Ensminger Publishing Company.
- Farias I., M.D. Lira, D.C. Dossantos, J.J. Tavares, M.V.F. Dossantos, A.D.M. Fernandes and V.F. Dossantos. 2000. Harvest managing and plant spacing of spinelles fodder cactus, under grain sorghum intercropping at the semi-arid region of Pernambuco State, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. Vol. 35: 341-347.
- 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 M.J.A. 1980. *Bromatología Animal*, 2<sup>a</sup> Edición. Editorial Limusa. México.
- 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. 2<sup>a</sup>. Reimpresión.
- Gardiner, D.; P. Felker and T. Carr. 1999. Cactus extract increases water infiltration rates in two soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 30: 1707-1712.
- Godínez P.R., J.M. Sánchez Y. y J.M. Fuentes R. 1997. Análisis de las rizobacterias asociadas a las raíces de nopal forrajero *Opuntia spp.* VII Reunión Nacional y V Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. pp. 286-288.
- Goering H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses. USDA. Hanb. No. 379. U.S. Government Printing Office. Washinton, D.C.
- Granado S.D. y A.D. Castañeda P. 1991. El Nopal (historia, fisiología, genética e importancia frutícola). 1<sup>a</sup> edición. Ed. Trillas. 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.
- Grant R.J. 1994. Influence of corn and sorghum starch on the *in vitro* kinetics of forage fiber digestion. *Journal Dairy Science*. Vol. 77: 1563-1569.
- Grant, R.J. 1997. Interactions among forages and nonforage fiber sources. *Journal Dairy Science*. Vol. 80: 1438-1446.
- Guevara J.C., O.R. Estevez and C.R. Stasi. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. *Small Ruminant Research*. Vol. 34: 41-48.
- Guevara J.C., O.R. Estevez and C.R. Stasi. 1999. Economic feasibility of cactus plantations for forage and fodder production in the Mendoza plains (Argentina). *Journal Arid Environments*. Vol. 43: 241-249.
- Hanks D.R., M.B. Judkins, B.A. McCracken, D.W. Holcombe, L.J. Krysl and K.K. Park. 1993. Effects of pregnancy on digesta kinetics and ruminal fermentation in beef cows. *Journal Dairy Science*. Vol. 71: 2809-2814.
- Holden L.A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *Journal Dairy Science*. Vol. 82: 1791-1794.
- Hoover W.H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *Journal Dairy Science*. Vol. 69: 2755-2766.
- Karim M.R., P. Felker and R.L. Bingham. 1998. Correlations between cactus pear (*Opuntia spp.*) cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality. *Annals of Arid Zone*. Vol. 37: 159-171.
- López G.J.J. y J.L. Elizondo E. 1988. El conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. El Nopal, su conocimiento y aprovechamiento. 3ª Reunión Nacional y 1ª Internacional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 1-3.

- López G.J.J. 1998. Importancia del nopal forrajero en el Norte de México: Su distribución y manejo en el Estado de Coahuila. VI Seminario de Actualización en Nutrición Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 1-20.
- López G.J.J. 1999. Uso del nopal forrajero (*Opuntia spp.*) en el Norte de México. En: curso-taller sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Guadalupe, Nuevo León, México.
- Llamas L.G y 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.
- Mabjeesh S.J., M. Cohen and A. Arieli. 2000. *In vitro* methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: comparison of methods and inoculum source. Journal Dairy Science. Vol. 83: 2289-2294.
- Martínez C.J.L. 1994. Valor nutritivo de dos especies de maguey (*Agave atrovirens* Karw y *Agave salmiana*) en el sur de Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Mendoza H.J.M. 1983. Diagnostico Climatológico para la Zona de Influencia Inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Mohamed, Y.Y.; S.A. Barringer and W.E. Splittstoesser. 1996. A note on the uses of *Opuntia spp* in Central/North America. Journal Arid Environments. Vol. 32: 347-353.
- Moore J.E. and G.O. Mott. 1974. Recovery of residual organic matter from *in vitro* digestion of forages. Journal Dairy Science. Vol. 57: 1258-1259.
- Mueller, D.M., M.C. Shoop and W.A. Laycock. 1994. Mechanical harvesting of plains prickly pear for control and feeding. Journal Range Management. Vol. 47: 251-254.

- Mueller, D.M. and J.R. Forwood. 1994. Mechanical despinning of plains prickly pear. *Journal Range Management*. Vol. 47: 410-412.
- 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. Saltillo, Coahuila, México
- Pimienta E. 1993. El Nopal (*Opuntia spp.*) una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. *Ciencia*. Vol. 44: 339-350.
- Prigge E.C., M.J. Baker and G.A. Varga. 1984. Comparative digestion, rumen fermentation and kinetics of forage diets by steers and wethers. *Journal Animal Science*. Vol. 59: 237-245.
- 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.A., J.J. López G., J. Valdez R. 1992. Sistemática de complejo *Opuntia lindheimeri* Engelmann, en el Estado de Coahuila, México. Resúmenes de 22 ÍOS congress. Desert Botanical Garden. Phoenix, Arizona, U.S.A. p. 45.
- Sarwar, M., Mahr-un-Nisa, and M.A. Sial. 1998. Factors affecting digestion kinetics of forages in ruminants: A review. *Pakistan Veterinary Journal*. Vol. 18: 58-63.
- Seyoum Bediye, V.I. Ummuna, Zinash Sileshi and Alemu Yami. 1996. Interrelationships of chemical properties, *in vitro* digestibility and ruminal degradability characteristics of protein sources. Ethiopian Society of Animal Production, Addis Abeba (Ethiopia). Proceedings of the 4th National Conference of Ethiopian Society of Animal Production. Addis Abeba (Ethiopia). ESAP. pp. 129-138.
- Sirohi S.K., S.A. Karim and A.K. Misra. 1997. Nutrient intake and utilization in sheep fed with prickly pear cactus. *Journal Arid Environments*. Vol. 36: 161-166.
- Tejada H.I. 1985. manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. SEP 1ª edición. México.

- Theuninck D.H., R.D. Goodrich and J.C. Meiske. 1981. Influence of captan on *in vitro* and *in vivo* digestibility of forage. *Journal Animal Science*. Vol. 52: 377-381.
- 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.
- 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.
- Van Soest P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2<sup>a</sup> Edición. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Vega V.F., C.I. Chiapa C., S. Rocha, H.L. Romero S. and H. Nolasco. 1997. Nutritional quality and ecological impact of the use of *Ferocactus peninsulae*, *Opuntia cholla* and other desert plants as cattle forage in the Baja California peninsula. *Journal. Arid Environments*. Vol. 35: 499-509.
- Weber C.W., R.B. Ariffin, G.P. Nabhan, A. Idouraine and E.A. Kohlhepp. 1996. Composition of Sonoran desert foods used by Tohono O'Odham and Pima Indians. *Ecology of Food and Nutrition*. Vol. 35: 95-104.
- Wilman D. and A. Adesogan. 2000. A comparison of filter bag methods with conventional tube methods of determining the *in vitro* digestibility of forages. *Animal Feed Science Technology*. Vol. 84: 33-47.