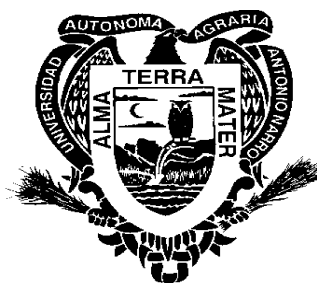


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



**Tasa de Degradación de la Fibra de Algunas  
Especies de Nopal del Género *Opuntia* In Vitro,  
Cortadas en Otoño**

**Por**

**MELESIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

**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 de la Fibra de algunas Especies  
del Genero *Opuntia In Vitro*, Cortadas en Otoño**

**Por**

**MELESIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

**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. Juan José López González

Sinodal

---

Ing. MC. José Eduardo García Martínez

Sinodal

---

Lic. Laura Olivia Fuentes Lara

Coordinador de la División de Ciencia Animal

---

Ing. Rodolfo Peña Oranday

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por cada momento que de existencia, porque esto es una oportunidad constante de ser mejores, y poder brindar y recibir amor.

A mi “Alma Mater” por haberme brindado la oportunidad de realizar un sueño muy anhelado, y por ser bondadosa siempre con miras a formar profesionistas comprometidos.

Muy ampliamente a todo el pueblo mexicano, que con sus contribuciones hacen posible la existencia de las universidades públicas.

A los asesores de éste trabajo de tesis:  
Ing. MC. J. Eduardo García Martínez,  
Ing. MC. Juan José López González y  
Lic. Laura Fuentes Lara.

Por darme la oportunidad de realizar este arduo trabajo, por la paciencia y disponibilidad para el asesoramiento en el desarrollo de este trabajo de tesis.

A el laboratorio de bioquímica, a Carmen, chely, Diana y Chacha por el apoyo brindado, haciendo me sentir mas seguro de culminar satisfactoriamente esta tarea.

A mis tías: Isaias e Isabel por brindarme afecto; de manera muy especial a Manuel de Jesús y Martha, quienes más que a un sobrino, siempre tuvieron para mí el trato como a uno de sus hijos. Gracias a su apoyo me ha sido posible llegar a el lugar en el que ahora me encuentro.

A mis compañeros de lucha por la superación:  
Esteban, Adelfo, Sergio, Jhonisel, de quienes he recibido estimación.

A mis amigos de la universidad, Casto, Juan, Gonzalo, Gildardo, por los momentos buenos y malos compartidos.

A los compañeros, Horacio, Mario, Omar (vaquero), Edgardo, Rafael (chino) y muy particularmente a la abuela Magui; con los que compartí momentos muy satisfactorios, y formamos el club de los Domingos. Los extrañaré.

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES:**

Salmón Sánchez Altunar y Ma. Del Socorro Hernández Pérez:

Como un pequeño tributo tanto amor, por haber asumido la responsabilidad de educar, criar y, ofrendar sus vidas, solo por ver crecer a sus hijo saludables; por permitirme ser la persona que ahora soy.

### **A MIS HERMANOS Y SOBRINOS:**

Rosalino, Ma. Felix, Eduardo, Antonia, Silverio, Roberto, Mario y Alexandro.  
Jesús Alberto, José Angel, Rosalinda, Marisol, Ricardo, Antonio, Carmito y Paulina.

Como una sincera muestra de fraternidad; de quienes añoro la convivencia. Esperando que éste sea un aliciente en cada uno para que sin escatimar el esfuerzo, vean siempre al objetivo.

### **A NOEMÍ:**

Como un reconocimiento a el valor de ser comprensiva, paciente y amorosa conmigo,. Porque mi lucha, siempre cobró fuerzas en tu amor y por llegar a alcanzar ese objetivo que solo conformas tú.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Pagina

ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Zonas nopaleras en México.....	4
Distribución en el estado de Coahuila.....	7
Manejo del nopal y su impacto ecológico.....	8
Consumo por los animales.....	10
Calidad nutritiva del nopal.....	12
Clasificación Taxonomica.....	14
Características Taxonómicas.....	14
Características de las especies tratadas.....	17
<i>Opuntia ficus indica</i> .....	17
<i>Opuntia imbricata</i> .....	18
<i>Opuntia cantabrigiensis</i> .....	18
<i>Opuntia lindheimeri var. tricolor</i> .....	19
<i>Opuntia lindheimeri var subarmata</i> .....	19
Factores que afectan la cinética de la digestión.....	20
Nivel de consumo.....	21
Forma física de la ración.....	23
Tipo de dieta.....	23
Tipo de forraje.....	24
PH ruminal.....	25
Digestibilidad .....	26
Técnica <i>in vitro</i> .....	27
Fracción de la fibra.....	28
Celulosa.....	29
Hemicelulosa.....	30

Lignina .....	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
Descripción del área de estudio.....	33
Preparacion del sustrato .....	34
Procedimiento experimental.....	34
Obtención del líquido ruminal.....	35
Análisis estadístico.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
Análisis bromatológico .....	37
Digestibilidad in vitro de la materia seca y materia orgánica.....	38
Tasa de degradacion de las paredes celulares (FDN).....	40
CONCLUSIÓN.....	49
RESUMEN.....	50
LITERATURA CITADA.....	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
2.1. Dinamica Estacional de las Características de Digestion Ruminal <i>In Vivo</i> de la Materia Seca de <i>Opuntia engelmannii</i> .	13
2.2. Análisis bromatológico de diferentes especies del nopal.....	13
2.3. Diviso de un forraje en fracciones por el sistema de Van Soest.....	29
4.1. Análisis bromatológico de las especies estudiadas.....	38
4.2. Digestibilidad <i>In Vitro</i> de las especies estudiadas.....	39
4.3. Tasa de degradación (kd) de la fibra de las especies tratadas.....	41
4.4. La fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	42
4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) de las Especies a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i>	43
4.6. Digestibilidad de las paredes celulares de las especies estudiados a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
4.1. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia ficus-indica</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .....	44
4.2. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia imbricata</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .....	44
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> .....	45
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> .....	45
4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de <i>Opuntia cantabrigiensis</i> a diferentes tiempos de incubación <i>in vitro</i> .....	46
4.6. Relación entre el contenido de fibra en detergente neutro FDN y su tasa de degradación (kd) entre las especies.	47

## INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas o desiertos en el mundo se distribuyen a lo largo de dos cinturones que pasan sobre el trópico de Cáncer y el de Capricornio; comprenden una superficie de alrededor de 20 millones de km<sup>2</sup>, correspondiendo al 14 % de la superficie total del planeta.

En los desiertos existe una gran cantidad de especies de gramíneas que con un manejo adecuado se pueden incrementar y mejorar. Una de las especies forrajeras que es importante mencionar, son los nopales, que en nuestro país ocupan aproximadamente 2.3 millones de hectáreas; además, existen otras especies nativas de importancia forrajera (Maldonado, 1983).

Vázquez y De la Garza (1999), México ocupa en el mundo el onceavo lugar en extensión y el decimocuarto mas poblado, en el cual la ganadería es una de sus actividades productivas; sin embargo, se tiene un panorama desalentador en cuanto a eficiencia productiva se refiere, esta situación es más prevaleciente en las zonas áridas y semiáridas, las cuales ocupan el 52.2 % del territorio nacional, donde el nopal se encuentra en 324,000 km<sup>2</sup>. En estas zonas, es común observar periodos prolongados de sequía y cambios extremos

de temperatura, lo que hace difícil la producción de cultivos para alimento del ganado; de allí la importancia de realizar investigaciones tendientes a la recuperación, manejo y conservación de los recursos forrajeros propios de la zona. El desierto de Norteamérica, uno de los principales del mundo, se subdivide en los desiertos de la Gran Cuenca, el de Mojave, el Chihuahuense y el Sonorense.

El estado de Coahuila se encuentra inmerso en la región conocida como desierto Chihuahuense; donde existen aproximadamente 37 taxas del género *Opuntia* de las que se utilizan alrededor de 15 especies como forraje para el ganado bovino, caprino y ovino en la producción de carne y pie de cría; así como leche en bovinos y caprinos. Por su abundancia y distribución, reciben mayor importancia en el uso las especies *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *O. lindheimeri* var. *subarmata*, *O. microdasys*, *O. imbricata* y *O. rastrera*; la dieta se completa con otras especies, que abundan en la zona como *son Agave spp*, *Prosopis spp*, *Atriplex spp*, entre otras (López et., al. 1996)

Por otra parte, la digestibilidad de los forrajes y sus principios nutritivos se ven afectados por una gran diversidad de factores, desde los que inciden en la planta, la especie vegetal, el uso y tratamiento, y las características propias del animal que los consume, habiendo una notable diferencia entre rumiantes y no rumiantes (Juscáfresa, 1974). El análisis químico, no es suficiente para medir el valor nutritivo de los forrajes que componen la dieta de los rumiantes, debido a que algunas de sus partes no representan fracciones químicas o

nutritivas, que tienen un comportamiento definitivo en la fisiología digestiva del rumiante. Por ejemplo, la fibra cruda que se encuentra parcialmente incluida en los elementos libres de nitrógeno (principalmente hemicelulosa y algo de celulosa y lignina) y no únicamente carbohidratos disponibles para el animal (Llamas y Tejada,1990).

La Fibra en Detergente Neutro (FDN) da estructura a una planta y está relacionada negativamente con el consumo del alimento por el animal. Esto es debido a que la digestión no reduce sensiblemente el volumen de un forraje, ya que no destruye la estructura o esqueleto de la pared celular.

El conocimiento de las necesidades alimenticias del animal y poder energético de un determinado forraje ha permitido poder establecer la dieta, y si esta es o no suficiente para cubrir las necesidades nutritivas requeridas por su organismo.

Debido a lo anterior, y por razones alimenticias, resulta de suma importancia el estudio de las propiedades de los componentes de los forrajes. Es por eso que nuestro objetivo en este trabajo de investigación, se basó en conocer la calidad nutritiva y, determinar los gradientes de degradación de la fibra de algunas *especies* de nopal del género *Opuntia* que se utilizan como forraje en las zonas semiáridas del noreste de México, y que fueron cosechadas en la época de otoño, para poder determinar la calidad alimenticia en esta estación.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Zonas Nopaleras en México

En México, el nopal (*Opuntia spp.*) se distribuye en casi todo el país; desde el nivel del mar hasta las partes altas de las sierras madre oriental y occidental, como en las altiplanicies del centro y norte donde se encuentran nopaleras importantes por su diversidad, densidad y tamaño (López, 1999), pero solo en los estados del norte cobra importancia pecuaria. Se menciona que para los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas las especies forrajeras más importantes son: *Opuntia cantabrigensis* (cuijo) y *Opuntia lindheimeri* (cacanapo). Para los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, las más importantes son: *Opuntia streptacantha* (cardon) y *Opuntia leucotricha* (duraznillo). las nopaleras de mayor densidad se localizan en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Durango, compuestas por: *Opuntia streptacantha* y *Opuntia leucotricha*, aislada o en conjunto, con densidades de hasta 600 plantas por hectáreas (Flores y Aguirre, 1992).

Marroquín *et al.* (1964), en un estudio dasonómico de las zonas áridas del norte de México, describe en forma convencional tres zonas nopaleras del territorio centro–norte del país, a saber:

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

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

Zona nopalera difusa.- De mayor superficie pero de menor densidad que las anteriores; desde las calizas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua; la vegetación es matorral desértico microfilo y matorral desértico rosetofilo, se encuentran los nopales: *Opuntia cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. Macrocentra* y *O microdasys*.

De acuerdo a su abundancia, fisiología, condiciones climáticas y edáficas donde crecen, López y Elizondo (1990) describen cuatro grandes zonas nopaleras en México.

La zona centro-sur. Comprende los estados de México, Puebla, Querétaro y Oaxaca, que se caracterizan por nopales de porte alto, productoras de verdura, fruta y forraje. Las especies mas explotadas son *Opuntia ficus-indica* (nopal de castilla), *O. megacantha* (nopal de tuna amarilla), *O. amyclaea* (nopal fafajayuca) y sus múltiples variedades, *O. Tomentosa*, además de las copenas desarrolladas por el Dr. Barrientos.

Zona del altiplano. Se localiza en los estados de Zacatecas y S.L.P., y en menor proporción en los estados de Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco. Abundan las plantas de porte arbóreo como la *O. streptacantha* (nopal cardon) *O. Leucotricha* (nopal duraznillo) y sus variedades. Asociadas a estas se encuentran plantas de porte arbustivo como *O. robusta* (nopal tapón), *O. cantabrigiensis* (nopal cuijo); y de porte rastrero, *O. rastrera* (nopal rastrero) y la *O. lindheimeri* (nopal rastrero), *O. leptocaulis* (tasajillo) todas ellas de importancia forrajera.

Zona norte (desierto Chihuahuense). Comprende la región más extensa. Abarca parte de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Coahuila, donde el nopal crece en forma natural y es de porte arbustivo como *O. cantabrigiensis* (nopal cuijo), *O. phaeacanta* (nopal rastrero) y sus variedades, *O. lindheimeri* (cacanapo) y *O. rastrera* (nopal rastrero) entre otras, todos son de uso forrajero.

Zona de la planicie costera del golfo. Comprende el noreste de México, abarca el noreste del estado de Coahuila, norte de Nuevo León y Tamaulipas. Crecen en esta región nopal de porte arbustivo principalmente, como la *O. lindheimeri* y sus variedades. Se encuentran pocas de porte rastrero, como la *O. rastrera* (nopal rastrero), pero todas de importancia forrajera.

## Distribución en el estado de Coahuila

Se reconocen 258 especies del genero opuntia, reportándose para México 104 especies de las que se encuentran en Coahuila 37 taxas, comprendidas por 25 especies y 12 variedades. Se utilizan mas comúnmente como forraje las especies y variedades de *O. lindheimeri* y *O. phaeacantha*, que se encuentran en casi todo el estado (Bravo, 1978; Elizondo *et al.* 1987).

López *et al.* (1996) mencionan que de las reportadas para Coahuila, solo cinco especies y sus variedades son consideradas como forrajeras, siendo las que a continuación se mencionan.

En el oriente del estado: *O. lindheimeri* (nopal cacanapo) esta especie tiene cuatro variedades: *O. lindheimeri* var. *lindheimeri* (nopal cacanapo), *O. lindheimeri* var. *aciculata*, *O. lindheimeri* var. *subarmata* y *O. lindheimeri* var. *tricolor*. una de las regiones más húmedas, con una precipitación mayor de 400 mm por año y una altitud menor de los 1000 metros. Estas cuatro variedades son buenas forrajeras.

En el occidente del estado: *O. phaeacantha* (nopal rastrero) y sus cinco variedades *O. phaeacantha* var *major*, *O. phaeacantha* var *phaecantha* *O. phaeacantha* var *discata*, *O. phaeacantha* var *sinosibaca*, *O. phaeacantha* var *nigricans* , la región mas desértica, con una precipitación menor de los 200 mm por año, y una altitud entre los 500 y 1700 msnm.



Para la región sureste del estado: *O. cantabrigiensis* o nopal cuijo y *O. engelmannii* o nopal rastrero. con precipitación promedio anual entre los 200 y 400 mm., y una altitud entre los 1500 y 2500 m, se distribuye en el sureste y suroeste del estado: La *O. rastrera* o nopal rastrero. en regiones con una precipitación promedio de 400 mm por año, entre los 1000 y 2000 metros.

Distribuida ampliamente en todo el estado: *Opuntia imbricata*, Conocida como coyonoxtle o choya. Es una indicadora de mal manejo de los agostaderos. Utilizado como forraje solo en épocas críticas. Otras especies que se utilizan como forraje en épocas críticas son: *O. microdasis* (nopal cegador), *O. leptocaulis* (tasajillo), *O. violacea* (nopal morado), *O. rufida* (cegador); entre otras.

### **Manejo del nopal y su impacto ecológico**

En las zonas áridas y semiáridas del país, el nopal es un alimento importante para el ganado bovino, caprino, ovino, equino, asnal y fauna silvestre, debido a su alta palatabilidad, y alta digestibilidad; los productores la prefieren como forraje ante otras plantas del desierto, por su manejo accesible en el campo, resistencia al transporte, abundancia, tasa de recuperación a la cosecha y productividad. El nopal posee características que lo hacen una planta importante por su facilidad de establecimiento, se protege con sus espinas, es atractivo para el ganado por estar siempre verde, sirve como forraje y ayuda al

equilibrio ecológico, tiene larga vida, alta producción de biomasa, tolerante al frío y calor, alta adaptabilidad a diversos suelos, resistente a enfermedades, no compite con los pastos por su sistema radical, bajo costo de mantenimiento y alta disponibilidad (Fuentes, 1997). En los estados de Coahuila y Nuevo León, en épocas de estiaje o sequías prolongadas, los ganaderos y estableros, usan diversos métodos de cosechar el nopal. En los ranchos es común la utilización *in situ* por los bovinos, ovinos, caprinos y la fauna silvestre, de esta forma, causan daños llegando a provocar la muerte por inanición; los pastores, suelen despuntar las pencas, de esta forma los animales pueden cosechar con espinas; también, se usa chamuscar directamente a la planta, así los animales la pueden consumir casi completamente, la cual muere fácilmente; al ganado ovino y caprino que son pastoreados consumen gramíneas y arbustos, pero cuando el pastor localiza plantas de nopal las chamusca con chamuscador de gas para quitar las espinas, y ser consumidas por los animales. Otra práctica, es cortar las pencas y chamuscarlas *in situ* con leña para ofrecerse al ganado sin espinas (López et al., 1996).

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

- Amontonar hierba seca debajo de la planta y se le prende fuego. Esto destruye a la planta, dado que lo intenso del fuego lo soporta el tronco.
- Cortar las ramas y chamuscarlas de ambos lados, se pica antes de darlas al ganado.

- Cortando sólo el borde de la penca - donde hay mayor cantidad de espinas- y ofrecerlo al animal.
- Chamuscar en pié o cortados, con chamuscador.
- Usando picadora de nopal.
- Cocción en calderas; ésta es utilizada en los Estados Unidos, en México no se usa dado su alto costo.
- Dejar fermentar el nopal picado, con el objetivo de ablandar las espinas.

Las formas tradicionales que se utilizan para cosechar el forraje en las nopaleras naturales, son destructivo, ya que se destruye la planta al extraer y porque se tiene mayor extracción que recuperación, debido a que se carece de sistemas de manejo ecológico; con tal sobreexplotación (Fuentes y Murillo, 1996), visualizan un futuro con mayor desertificación para estas zonas, y proponen utilizar el nopal para reforestar las zonas desérticas del norte de México, para evitar un posible desastre ecológico

### **Consumo del nopal por los animales**

Es muy importante conocer los niveles de consumo por los animales, ya que la producción de estos, se basa tanto en la calidad como en la cantidad de nutrientes consumidos. Dependiendo de la forma que el nopal se suministre a los animales, va a ser la cantidad de nopal consumida.

Se calcula que un vacuno consume entre 20 y 40 kg. por día. Dependiendo de la época del año (invierno, sequía o lluvias), los ovinos y caprinos en agostadero, consumen entre tres y nueve kg de nopal por día (López, 1999; Flores y Aguirre, 1992).

En los estados de Tamaulipas y Nuevo León es común dar nopal a los ovinos, donde con 7 kg por día mejora la lanolina en la lana. Ovinos adultos pueden llegar a consumir de nueve a diez kg. por día de nopal como única ración, los bueyes de labor consumen de 50 a 90 kg. por día si no disponen de otro alimento. Lozano (1958)

Flores y Aguirre (1992) mencionan que vacas Jersey suplementadas con 1 kg. de harinolina, consumían 50.6 kg. de nopal por vaca por día mientras que las vacas holstein consumían hasta 75.0 kg./día.

En el norte de México en ganados bovinos productores de leche estabulado, el consumo de nopal vario de 15 a 95 kg en verde por día, dependiendo de la ración suministrada. Cuando el nopal sustituye parcialmente a la alfalfa en vacas lecheras holstein se recomienda entre el 20 y 30 % de nopal en la ración (López, 1999).

### Calidad nutritiva del nopal

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

Con tratamientos a la plantación, Murillo *et al.* (1994) encontraron que se tiene mayor producción de biomasa y se mejora la digestibilidad de la proteína *in vitro* del nopal, la cual se incremento de 27.73 % en el tratamiento control a 61.62%, 93.93% y 76.83% al aplicar levadura, levadura+sulfato de amonio y levadura+urea, respectivamente.

Ramírez *et al.* (2000) en un estudio con *O. engelmannii*, obtuvieron resultados de contenidos de pared celular (FDN) similares ( $P>0.05$ ) durante todas las estaciones, con media anual de 36.9 %, de igual forma para la FDA no tuvieron diferencias ( $P>0.05$ ) entre estaciones. Estos resultados dieron niveles bajos de pared celular, comparados con los zacates. Estos mismos autores, realizaron digestibilidad *in situ* para esta misma especie durante las estaciones del año, encontrando resultados que se presentan en el cuadro

Cuadro 2.1 Dinámica estacional de las características de digestión ruminal *in situ* de la materia Seca de *Opuntia engelmannii* (Fuente: Ramírez *et al.*, 2000)

CONCEPTO <sup>1</sup>	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Media anual
MSD %	35.5a	35.6a	35.6a	33.8b	35.4
MSPD %	78.9a	77.3a	76.3a	73.9c	76.3
TDMS	13.6a	11.7ab	11.7ab	11.4b	12.1
Lag Time (hr)	3.8	3.5	3.7	3.4	3.6
DEMS (2 %h)	71.7a	70.4b	67.4b	67.7c	69.8

<sup>1</sup> Base seca. MSD= Fracción de la materia seca degradable. MSPD= Fracción de la materia seca potencialmente degradable. TDMS= Tasa de degradación de la materia seca. Lag Time= Tiempo de retardo en el inicio de la degradación de la materia seca. DEMS= Degradabilidad efectiva de la materia seca a una tasa e recambio ruminal de 2 %h. abc= Medias en las hileras con letras diferentes no son iguales (P< 0.05)

Los resultados del análisis de algunas especies de nopal de se puede apreciar en el cuadro 2.1

Cuadro 2.2 Análisis bromatológico de diferentes especies del Nopal

Genotipo	Materia seca	Materia org.	Prot. cruda	Grasa cruda	Fibra	Ceniza	E.L.N	Autor
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	11.89	68.46	4.79	1.09	3.70	31.54	58.87	Palomo, 1963
<i>O. lindheimeri</i>	11.57	74.50	4.15	1.03	3.02	25.50	66.29	Palomo, 1963
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.5 1	15.75	63.86	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. ficus indica</i>	7.96	80.08	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	Bauer y Flores, 1969
<i>O. lindheimeri</i> <i>var. tricolor</i>	----- -----	----- -	3.03 - 3.04	6.08 - 8.0	10.7 - 11.4	----- ---	-----	Murillo et al., 1994

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

## 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*

                                    SUBGENERO: *Platyopuntia*

  ESPECIE:    *spp.*

## Características taxonómicas

Familia: Cactaceae.

Ésta familia se divide en 122 géneros, en tres tribus: *Pereskieae*, *Opuntieae* y *Cereeae*.

Lozano (1958), dice que esta familia comprende unos 100 géneros y 1000 especies o más, casi todas de América y particularmente abundante en México y Centro América.

Subfamilia: Opuntioideae.

Suculentas con tallos usualmente aplanados y articulados, hojas pequeñas y caducas, areolas gloquídidas y flores rotiformes; los géneros más conocidos son: *Opuntia*, *Pereskiopsis* y *Nopalea*.

Solo *Pereskiopsis* es laminar y carnoso; tubérculos prominentes, areolas circulares hasta elípticas, con fieltros, pelos, glóquidas y espinas; las espinas son mas o menos largas y delgadas, a veces con vaina papirácea. Flores diurnas y vespertinas y césiles una en cada areola.

Bravo (1978) México está representado por los géneros *Pereskiopsis*, *Nopalea* y *Opuntia*

Género: *Opuntia*.

En el género *Opuntia* se encuentran las especies de valor económico. Son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas; tronco bien definido, ramosos desde la base, con ramas erectas, extendidas o postradas; raíces fibrosas por lo general; artículos, cilíndricos o discoides,



carnosos, leñosos y con costillas; areolas con espinas, glóquidas usualmente numerosas y pelos; espinas cilíndricas y aplanadas, desnudas o con vainas.

El género se subdivide en dos subgéneros:

- a) *Cylindropuntia* (cladodios cilíndricos) ramas delgadas, llamadas tasajos, tasajillo y alfilerillo. No tiene importancia económica y se ocupa para setos.
  
- b) *Platyopuntia* (artículos planos). Presenta las condiciones sexuales dioica y hermafrodita. Es muy diversificado en México, está presente en toda vegetación de zonas áridas y semiáridas y con frecuencia en zonas tropicales y templadas.

Bravo (1978), se reconocen aproximadamente unas 60 especies mexicanas de éste género.

Las *Platyopuntia*, representa a los nopales cultivados y también incluye a las especies silvestres con frutos muy bien aceptados por la población regional. Abarca a especies forrajeras de mayor significancia, aunque hay otras de menos importancia para ningún propósito (Bravo, 1978).

## Características de las Especies Tratadas

### *Opuntia ficus indica* (Linne)

Es una planta arborescente de 3 a 5 m o más de altura. Tronco leñoso bien definido de 0.6 a 1.5 m de altura y 20 a 30 cm de diámetro. Artículos oblongos hasta largamente obovados, de 30 a 60 cm de largo y 20 a 40 cm de ancho y 1.9 a 2.8 cm de grueso, de color verde opaco, con ramas que forman una copa. Areolas separadas entre sí como 2 a 5 cm, pequeñas angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm de largo, de 3 mm de ancho. Espinas, cuando existen son escasas y pequeñas; gloquidas mas o menos numerosas, amarillas, caducas. 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 y segmentos interiores del perianto amarillos hasta anaranjados. Fruto oval, de 5 a 10 cm de largo y 4 a 8 cm de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo, con abundante pulpa carnosas, algo umbilicado.

Ampliamente en las poblaciones del altiplano Mexicano, y también en los estados de México, Puebla, Oaxaca y otros. Sus frutos y artículos tiernos son comestibles (Bravo, 1978).

### **Opuntia imbricata (Haworth)**

Plantas arbustivas de hasta 5 metros de altura, con ramas mas o menos abundantes; tronco corto leñoso bien definido, de unos 10 cm de diámetro, con ramas primarias escasas, muy largas casi tan gruesas como el tronco, artículos de 12 a 35 cm de largo; areolas grandes con gloquidas escasas; espinas numerosas, 10 a 20 por areola, extendidas en todas direcciones 1 a 3 cm de largo, de color café rojizo moreno hasta rosado, casi aciculares pero algo aplanadas, fuertemente barbadas, con vainas blanquecinas, papiraceas y persistentes. Se localiza en el matorral desértico microfilo de *Larrea tridentata*, así como en encinar arbustivo, matorral crasicaule de *Opuntia spp.*, *O.streptacantha* y *Myrtillocactus geometrizans*, en áreas de escasa vegetación y laderas rocosas fuertemente erosionadas con pastizal. En altitudes de 1700 a 2280 msnm con pendientes de 1 a 6 %.

Se desarrolla favorablemente en áreas perturbadas y a orillas de camino, por lo que se considera especie indicadora de disturbios. (Hernández, 1985)

### **Opuntia cantabrigiensis (Linch)**

Arbustos redondeados de 1 a 2 metros de altura, artículos orbiculares hasta obovados de 12 a 20 cm de longitud, de color verde azulado a pálido, areolas distantes grandes con fieltro moreno, espinas 3 a 6 o más, algo

extendidas aciculares, amarillas con la base rojiza de 1 a 1.5 cm de longitud, glóquidas numerosas, grandes, amarillentas o amarillo intenso, por lo general no agrupadas en haces. Se localiza en el matorral desértico micrófilo de *Larrea tridentata*, en áreas de escasa vegetación, y se encuentran a orillas del camino. En altitudes de 1800 a 2350 msnm y pendientes de 5 y 6 % (Bravo, 1978)

### ***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 1 a 3 0 hasta 6, presentes en casi todas las areolas, de 5 a 7.5 cm de largo, amarillas con base no rojiza.

Distribución: estado de Texas en los condados de Webb, Zapata, Duval y Cameron, en los llanos cercanos al río Grande; en México, en Coahuila y Tamaulipas (Bravo, 1978).

### ***Opuntia lindheimeri* (Engelmann) var. *subarmata* (Griffiths) Elizondo y Wehbe.**

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 y de 1 a 2 cm de grosor, color verde glauco, los

basales lignificados, de 2.5 a 8 cm de grosor; areolas, en números de 60 a 100 por artículos, de elípticas a ovadas, de 3 a 7 mm de longitud por 3 a 6 mm de diámetro, muy distantes entre sí, de 4 a 5.5 cm, con fieltro blanco amarillento; gloquidas solo en el inferior de las areolas del borde del artículo; espinas, cuando existen, se presentan en la parte superior de las areolas del borde del artículo; flores de 6 a 8 cm de longitud y 4 a 10 cm de diámetro, segmentos amarillos con una línea medio verdosa o verde rojiza, filamentos de 15 mm de longitud, estilo de 1.7 cm de longitud; fruto carnoso, obovado, de 3 a 4 cm de longitud por 2.5 a 3 de diámetro, umbilicado, de color rojo purpúreo, con areolas con fieltro blanco, gloquidas amarillo oro, numerosas, pulpa de color púrpura, paredes de hasta 8 mm de grosor; semillas escasas, dicotiledoneas, de mas o menos 4 mm de diámetro, de color negro con los bordes blancos rojizos.

Distribución: en el río Grande, desde Laredo hasta el río Devil (Elizondo y Wehbe, 1987).

### **Factores que afectan la cinética de la digestión**

Los procesos digestivos en el rumiante constituyen un sistema dinámico que involucra la entrada de alimento al rumen y el flujo de soluciones líquidas, bacterias y fracciones sólidas del alimento no digerido a través del orificio reticulo-omasal hacia la parte posterior del tracto digestivo (Van Soest, 1994). Estos procesos aparentemente están influenciados por la tasa de pasaje de los

ingredientes a través del tracto digestivo, el nivel de consumo de materia seca, el tamaño del grano y en el caso de los forrajes, la calidad (Welch, 1982). Así mismo, la tasa de pasaje interactúa con la tasa de digestión y la influencia del consumo diario de materia seca (Fisher et al, 1989).

### **Nivel de consumo**

El nivel de consumo va a depender de la especie animal y del nivel de producción requerido. A mayor voluminosidad, disminuye la ingestión de los nutrientes digestibles, por lo que las ingestas muy voluminosas y de baja digestibilidad deberán ser limitadas, así como las ingestas de poco volumen, para evitar que disminuya el consumo y trastornos digestivos (Maynar, 1983).

Dado y Alen (1995) encontraron que el consumo en vacas que reciben alta fibra en la dieta, puede limitarse por la capacidad del reticulo-rumen. El volumen de contenido ruminal está en función de la tasa de digestión y de pasaje, pues ambas compiten entre sí por la eliminación de la digesta (Mertens, 1977). Estas tasas determinan la cantidad de material potencialmente digestibles que escapan a la digestión. Por lo tanto, el escape del material potencialmente digerible, se ve afectado por el llenado ruminal y la presión que causa sobre el material ya existente en esta parte del tracto digestivo, el cual es consecuencia del nivel de consumo (Van Soest, 1994). El proceso de paso de los alimentos a través del tracto digestivo, puede dividirse en tasa de reducción

del tamaño de la partícula, escape del rumen y paso a través del intestino; aunque se ha observado que el tiempo de retención en el tracto digestivo total esta relacionado a el nivel de consumo, forma física de la dieta y el tiempo de rumiación (Mertens and Ely, 1982). La digestibilidad aparente no se va afectada por un rumen pesado; aunque, si incrementa el tiempo de duración de las contracciones reticular, afectando con esto el grado de pasaje de fluido ruminal y partícula de la materia (Okine et al., 1989).

El paso del material indigestible de el ruminoreticulo hacia el tracto gastrointestinal mas bajo alivia el influjo de distensión o volumen de contenidos en el ruminoreticulo de los animales rumiantes dando baja calidad de los forrajes (Mertens and Ely, 1982; Fisher *et al*, 1989).

En las condiciones normales de alimentación el tiempo de permanencia de un nutrimento en el rumen, afectará su digestión efectiva (Llamas y Tejada, 1990) Cuando se reduce la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento, los animales tienden a ser mas eficientes en la digestión de alimentos y el aprovechamiento de nutrientes. Cuando los rumiantes son alimentados solo a base de forrajes, el nivel de ingesta tiene poca influencia sobre la digestibilidad, pero la influencia se hace mayor conforme se aumenta la proporción de concentrados en la ración total (Maynar, 1983).

## **Forma Física de la Ración**

En los forrajes, a diferencia de algunos granos, los animales dan el masticado suficiente, fraccionando de manera que los jugos digestivos puedan penetrar en él, para tener un nivel de ingesta determinada. El efecto de la molienda sobre la ingesta voluntaria y la digestibilidad, dependerá en el grado de modificación que cause a el tiempo de retención y la tasa de degradación en el tracto digestivo (Maynar, 1983).

La rumiación es muy suprimida en animales que se alimentan con pellets o dietas molidas; la masticación, puede ser la mejor forma de reducción de partículas lignificadas, por otra parte, la digestión microbiana puede contribuir a la disolución de tejidos lignificados ((Van Soest, 1994). El tiempo de retraso es mas afectado por el tamaño de la partícula que es la proporción y magnitud de digestión (Grant and Mertens, 1992).

## **Tipo de dieta**

Los ingredientes que constituyen la ración, se relacionan estrechamente con la actividad con la actividad fermentativa de los microorganismos ruminales. Esta relación depende de la disponibilidad del substrato en el medio, en la cantidad necesaria y el tiempo preciso por lo que es necesario conocer la tasa de fermentación de los ingredientes que componen la dieta.



La relación forraje:concentrado y el procesamiento del forraje, afecta la tasa de digestión de los componentes de la pared, disminuyendo ésta cuando baja la relación y por la forma molida contra larga (Bourquin *et al.*, 1994). Se ha encontrado mayor producción de leche cuando la dieta contiene 27% de fibra en detergente neutro y 18% de fibra en ácido detergente (Woodford *et al.* 1986). En contraste, se ha observado que la adición de almidón en la dieta, afecta la cinética de digestión de la fibra de los forrajes, como lo expresan (Mertens y Lofton, 1980) quienes encontraron, en una prueba in vitro, un incremento lineal en el tiempo de retraso de la digestión de la fibra, la tasa de digestión no fue afectada y la extensión potencial de digestión disminuyó con la adición de almidón en la dieta.

### **Tipo de forraje**

La digestibilidad in vitro de la materia seca de los pastos perennes, decrece en la estación fría con un aumento en la maduración hasta el final de la estación. Cherney *et al.* (1993), observaron que la magnitud y la velocidad de disminución de la calidad con la maduración, es más importante que la diferencia de especies en la determinación de la cinética de la digestión en pastos perennes. Las especies de pastos tropical vs. pastos templados, tienen diferentes grados de digestibilidad de sus componentes químicos de la pared celular; de esta manera la diferencia matriz en la pared celular de los pastos tropicales y templados pueden causar diferencias en la predicción de

digestibilidad de sus componentes químicos. Barton *et al* (1976), encontraron mas digestibilidad *in vitro* de la FDN de los pastos tropicales que de los templados, con una diferencia importante en la cantidad de hemicelulosa mayor en los pastos tropicales; de igual manera, encontraron a la proteína como mejor predictor de la digestibilidad de pastos tropicales ( $r = .90$ ) que para los templados ( $r = .17$ ), 30 – 35% y 22 – 27% respectivamente.

### **pH ruminal**

La toma de alimento puede ser influenciada por factores fisiológicos, en los rumiantes, una depresión en el pH del rumen causa una marcada fermentación rápidamente después de la ingestión de una gran cantidad de alimento; de igual manera sucede a animales cuando se les da concentrado durante pocas horas en el día. El forraje como alimento molido, deprime mas el pH que el no molido. Probablemente el consumo de alimento es deprimido cuando el pH del fluido del rumen cae por debajo de 5.0 a 5.5 (Forbes, 1995). A pH de 6.2 Grand and Mertens (1992), obtuvieron disminución en la en la tasa de digestión de la fibra e incremento del tiempo de retraso en la digestión; así mismo, observaron que el almidón propicia estos efectos en algunos substratos.

## Digestibilidad

La digestibilidad de un alimento es la propiedad que posee de ser utilizado en mayor o menor grado por los organismos. Se puede definir como la porción del alimento que no es excretado en las heces, el cual se supone ha sido absorbido; puede expresarse como coeficiente de digestibilidad de la materia seca, en porcentaje (McDonald, 1975). Las pruebas de digestibilidad además de costosas son muy tardadas, y requieren de grandes cantidades de alimento, debido a esto se han desarrollado métodos que estimen la digestibilidad en forma indirecta o por métodos *in vitro* (De Alba, 1980). Existen los métodos para estimar la digestibilidad de los alimentos para el ganado: en animales de estómago pequeño, se puede dar alimento añadiendo una tintura como marcador, para que salga en las heces y poder definir el momento de inicio y final de recolección de las mismas, y así analizar el alimento problema; en los rumiantes, no es posible esta aplicación porque el alimento se mezcla con otros en el rumen y tiene variación en el tiempo de salida e las heces. Por otro lado, se discute esta aplicación en los rumiantes, por dos grandes razones; una es la energía en gas butano, que no aparece en las heces, pero son eructadas; no todo el contenido en heces, son residuos alimenticios, pueden ser restos celulares que contienen nitrógeno (McDonald, 1975).

### **Técnica *in vitro***

La serie de todos en los procedimientos de la técnica de digestibilidad *in vitro*, es una fermentación anaerobia de un substrato de la muestra, con licor ruminal filtrado y mezclado con una solución amortiguadora que simula la saliva del rumiante. A diferencia del rumen, en los sistemas *in vitro* no hay un suministro continuo de saliva que podría proporcionar el nitrógeno; por eso es importante suministrar todos los nutrientes necesarios, particularmente amoníaco que podría llegar a ser limitando en los forrajes de pobre calidad; hay poca oportunidad para los nutrientes digeribles escapar a la fermentación (Van Soest, 1994).

Fisher *et al* (1989) la extensión de Digestibilidad *In Vitro* de la Materia seca a las 48h generalmente se correlaciona bien con los coeficientes de digestión *in vivo*. Sin embargo, no todos los forrajes tienen su máxima extensión de desaparición a las 48 hrs. Por lo tanto, al utilizarla se debe tener mas cuidado, en interacciones que ocurren entre proporción de paso, tamaño de la partícula, masticación y digestibilidad en los sistemas *in vivo*. Varel and Kreikemeier (1995), obtuvieron de la comparación de los métodos *in vitro* vs *in situ*, diferencias ( $p < .01$ ) en el tiempo de retraso, tasa y extensión de la digestión. Donde el método *in situ* constantemente proporciono más corto tiempo de retraso (3.5 h menos), rápida tasa (.03/h) y gran extensión de la digestibilidad (6%) que el método *in vitro*. La precisión de el método *in vitro* esta asociada con la magnitud de la variabilidad dentro y entre tratamientos. La

fuente y actividad de el inoculo, son influidos por los animales donadores y las dietas que reciben. Nelson *et al.* (1972), encontraron diferencias ( $P<.01$ ) altamente significativas en la DIVMS al incubar con inoculo de diferentes dietas y animales donadores.

### **Fracción de la Fibra**

La fibra verdadera esta asociada con la parte estructural de la planta, y consiste de hemicelulosa, celulosa y lignina, los cuales son constituyentes de la Fibra Detergente Neutro (FDN), los niveles de FDN deben estar controlados, para no limitar el consumo. La otra fracción de la es la Fibra en Detergente Ácido (FDA), que consta de celulosa y lignina.

Cuadro 2.3 Diviso de un forraje en fracciones por el sistema de Van Soest (1967).

FRACCION	DETERMINACION	COMPOSICION QUIMICA	SIGNIFICADO BIOLÓGICO Y NUTRITIVO
Contenido celular	Material soluble en detergente neutro	Lípidos, azúcares, ácidos orgánicos, almidón, nitrógeno no proteico, proteína soluble, pectinas.	Material no lignificado muy disponible para el animal.
Paredes celulares	Fibra en detergente neutro, FDN.	Hemicelulosa más compuestos presentes en FDA.	Da rigidez y estructuras a los forrajes. Fracción lignificada de disponibilidad variable. Relacionada negativamente con el consumo voluntario.
Hemicelulosa	FDN - FDA	Hemicelulosa: polímero de pentosas con enlaces $\beta^b$	Forma enlaces esterés con la lignina. Disponibilidad variable. (Ver FDA).
Lignocelulosa	fibra en detergente ácido, FDA.	Celulosa, lignina, compuestos nitrogenados de las reacciones de Maillard <sup>c</sup> .	Disponibilidad variable de acuerdo a: lignificación, cristalización de la celulosa, contenido de sílica y cutina.
Lignina.	Dos alternativas: -Lignina en permanganato. -lignina en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 72 %.	Compuestos complejos derivados del Fenilpropano	Completamente indigestible, impide la digestión de gran parte de la pared celular.
celulosa	Dos alternativas: -Solubilización con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 72 %. -Por diferencia después de determinar lignina.	Celulosa: polímero de glucosa con enlaces $\beta$	Disponibilidad variable (ver FDA)
Sílica.	Tratamiento de cenizas insolubles en ácido con HBr.	Sílica.	Reduce la digestibilidad de la fibra, especialmente en gramíneas.

FUENTE: Tejada (1985)

## Celulosa

Es el carbohidrato más abundante, de 20-40% de la materia seca de las plantas superiores. La celulosa aislada de los forrajes, usualmente contiene enlaces  $\beta$  1-4 glucosídicos, alrededor de 15% de pentosanas (xilosa y arabinosa) y además de cutina y sílica que están presentes en todos los tejidos de la planta. Toda la estructura de la celulosa esta combinada a algún grado de lignina, hemicelulosa, cutina y minerales en la estructura de la pared celular de

la planta. La obtención del total de la glucosa de la pared celular, por medio de hidrólisis de la pared celular y cromatografía se ha recomendado como método para determinar la celulosa. El valor nutritivo de la celulosa va desde indigestibilidad total hasta digestibilidad completa, dependiendo de la lignificación, y de inhibidores y factores limitantes como la silicificación, cutinización y otras propiedades de la misma celulosa (Van Soest, 1994).

Hay dos puntos de vistas alternativas para interpretar el carácter nutritivo inconstante de la celulosa: El valor nutritivo de la celulosa es relacionado a la proporción de lignina; con esto se entiende que la tasa y extensión de la digestión están relacionados al contenido de lignina. Existen dos formas de la celulosa; una que es lignificada y protegida, la otra es inalterada por la lignina; esto refuerza la no uniformidad vista en la digestibilidad de la celulosa. Hay mucha variabilidad nutritiva de la celulosa que son independientes de la lignificación, las que se deben atribuir a propiedades intrínsecas (Van Soest, 1994).

### **Hemicelulosa**

Su común característica es que son polisacáridos con enlaces  $\beta$  1-4, nativos insolubles que son solubles en ácidos o álcali y están asociados con la lignina. La digestibilidad de la hemicelulosa esta directamente relacionada a la

celulosa e inversamente relacionada a la lignificación, y esta mas estrechamente relacionada a la lignina que a cualquier otro polisacárido. Se encuentra en las paredes lignificadas de los forrajes y generalmente es insoluble, pero puede ser soluble si es delignificado. La separación se logra por la destrucción de la lignina con álcali o agentes oxidantes, pero estos tratamientos pueden alterar la estructura molecular original de la hemicelulosa (Van Soest, 1994).

La digestión de los no rumiantes es relativamente mas hemicelulosa que celulosa, y son mejores que los rumiantes en la utilización de hemicelulosa de leguminosas comparado con pastos (Van Soest, 1994).

Los rumiantes digieren casi igual cantidad de celulosa y hemicelulosa. Se digiere mas celulosa en el rumen, pero escapa una considerable cantidad de hemicelulosa que es digerido en el tracto posterior (Van Soest, 1994).

## **Lignina**

La lignina de las paredes celulares de los forrajes, se asocia negativamente con la digestión de la fibra por los rumiantes. La lignina puede dividirse en ligninas esenciales, y ligninas no esenciales. Las ligninas esenciales están unidas covalentemente a la hemicelulosa en las paredes celulares de los forrajes. Entre las ligninas no esenciales se asocia



principalmente al p-ácido coumarico con la fracción de lignina esencial de la pared celular, considerando que el ácido ferulico es generalmente unido a la fracción de hemicelulosa. La mayoría de las ligninas no esenciales se esterifican con otros componentes de la pared celular, pero las uniones de éter también parecen existir. Los pastos y las leguminosas difieren en concentración y composición de lignina. En los pastos se ve mayor depresión de la fermentación de la pared celular que en las leguminosas. Se ha observado que la maduración fisiológica, altera el contenido de lignina; como la genética y el medio ambiente alteran la concentración de lignina en los forrajes (Jung, 1989).

## **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 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* Engelman variedad *subarmata* (Griffiths).

Se seleccionaron tres plantas de cada especie a las cuales se les cortaron pencas (cladiodos) cada mes durante la estación de otoño. 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 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 obtiene transformando los datos obtenidos de la FPD residual en logaritmos naturales (LN) en cada tiempo de incubación. La pendiente obtenida corresponde a la kd.

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

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

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

$$\varepsilon_i = NI(0, \sigma^2).$$

Donde:

$y_i$  = logaritmo natural de los residuos (%) de FPD del  $i$ ésimo tiempo de incubación *in vitro*.

$x_i$  =  $i$ ésimo tiempo (h) de incubación *in vitro*

$\beta$  = coeficiente de regresión. Tasas de degradación (kd) de las paredes celulares (FND) de los forrajes.

$\alpha$  = 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

En el cuadro 4.1 se muestran los resultados de el análisis bromatológico de las especies estudiadas, indicando que no hay diferencia ( $p>0.05$ ) materia seca total (MST), materia orgánica (MO), cenizas (C), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y extracto libre de nitrógeno (ELN), entre las especies cosechadas en otoño. En todos los componentes de análisis bromatológico, se encontraron altos porcentajes con respecto a los mencionados por (Flores y Aguirre, 1992 y Murillo *et al.*, 1994), para estas especies y variedades (cuadro 2.1) aunque no se reportan las condiciones del material que fue estudiado, estas variaciones pueden deberse a factores como la edad de la penca, tipo de suelo donde se desarrolla la planta o la época de corte. De igual manera, Ramírez *et al.* (2000), encontraron niveles de proteína cruda de 6.1%, en *Opuntia engelmannii* para la estación de otoño, aunque la mas baja se obtuvo durante la primavera (5.1%).

Haciendo comparaciones con los valores obtenidos por Martínez (1994) en especies de maguey forrajero *Agave atrovirens* (Karw) y *Agave salmiana* los cuales tuvieron porcentajes para proteína cruda de 4.96 y 5.43, extracto etéreo

1.64 y 1.58, fibra cruda 18.46 y 16.39, cenizas 16.89 y 18.83, extracto libre de nitrógeno 58.05 respectivamente, se puede apreciar ventaja por parte de las *Opuntias* estudiadas. Esto es de algún modo bueno, ya que el nopal por su mayor disponibilidad y abundancia es más usado como forraje por los ganaderos de la región. Con tales resultados, se puede pensar que las especies estudiadas en el presente trabajo, tienen buen nivel nutrimental para la estación de otoño.

Cuadro 4.1. Análisis bromatológico de las especies estudiadas.

CONCEPTO <sup>1</sup> (%)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricada</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i> var <i>subarmata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i> var <i>tricolor</i>	<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
MST	90.94	91.94	92.00	93.35	93.01
MO	69.90	66.34	70.07	66.17	69.80
C	21.04	25.60	21.93	27.19	23.21
PC	9.14	10.07	6.67	8.10	6.79
EE	1.48	1.70	1.55	1.38	1.23
FC	14.47	15.78	19.26	17.76	17.90
ELN	54.69	47.67	51.11	46.12	51.35

<sup>1</sup>Base seca. MST= Materia Seca Total. MO= Materia Orgánica. PC= Proteína Cruda. C= Cenizas. EE= Extracto Etéreo. FC= Fibra Cruda. ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

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

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca mostrada en el cuadro 4.2 no tuvo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, pero podemos

apreciar que fue la *Opuntia ficus indica* la que tuvo el mayor coeficiente de digestibilidad (63.99%) y la *Opuntia lindheimeri var. tricolor* con 55.32% con el menor coeficiente. La digestibilidad de la materia orgánica tuvo diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. La comparación de medias indica que la *Opuntia ficus indica* (65.96%) es totalmente diferente de la *O. lindheimeri var. tricolor* (51.74%); y las similitud entre las especies *O. ficus indica*, *O. imbricada*, *O. lindheimeri var. subarmata* no son para *O. lindheimeri var. tricolor* y *O. cantabrigiensis*.

#### 4.2. Digestibilidad *In Vitro* de las especies estudiadas

CONCEPTO (%)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricada</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
			<i>var subarmata</i>	<i>var tricolor</i>	
DIVMS	63.99	60.86	59.20	55.32	57.51
DIVMO	65.96a*	63.34ab	63.83ab	51.74c	55.26bc

DIVMS= Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca

DIVMO= Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Orgánica

\* Medias en las hileras con letras diferentes no son iguales ( $P < 0.05$ )

Estos resultados de digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la materia orgánica son ligeramente menores, comparados con los que para las especies de maguey forrajero (*Agave atrovirens* (Karw) y *Agave salmiana*) reporta Martínez (1994); solo la *Opuntia ficus indica* muestra mayor digestibilidad ante estos forrajes. Los valores obtenidos mediante DIVMS por Cherney *et al.* (1995), en alfalfa (75.1%), silo de maíz (73.2%) y avena (83.7%) son superiores a los que se encontraron en el presente trabajo. Sin embargo, al comparar los



valores reportados por Valdes 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* estudiadas son ligeramente menos digestibles que los zacates y mas digestibles que las leguminosas (83.7%).

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

En el Cuadro 4.3, se observa que la tasa de degradación (kd) en *Opuntia ficus indica* (0.61 %/h) fue mayor, siguiendo el orden descendente, *Opuntia cantabrigiensis* (0.43 %/h), *Opuntia imbricada* (0.34 %/h), *Opuntia lindheimeri var. tricolor* (0.31 %/h), *Opuntia lindheimeri var. subarmata*, (0.31 %/h). Ramírez (2000) obtuvo en *Opuntia engelmannii* para la estación de Otoño tasa de degradación *in situ* de la materia seca de 11.7% y una media anual de 12.1%, datos que dan lugar a duda por ser exageradamente alto, aunque en el método *in vitro* da tasa mas lenta de digestión, largo del tiempo de retraso (lag) y baja extensión de digestión Varel and Kreikemeier (1995). Nuestros resultados al compararse con los obtenidos por Cruz (1999) en heno de alfalfa, ensilado de maíz y paja de sorgo con tasas de 0.18, 0.61 y 0.38 %/h respectivamente; se puede advertir que todas especies analizadas en el presente trabajo superan la tasa de degradación de la alfalfa; la *Opuntia ficus indica* tuvo tasa similar a el ensilado de maíz, cabe aclarar que la cinética de digestión de esta *Opuntia* se comportó de manera muy irregular. Fisher et al (1989) presenta las kd de la FDN *in vitro* de rye grass (*Secale cereale* L) de 0.16%/h en estado vegetativo y

0.04%/h maduro; avena (*Avena sativa* L) 0.13%/h forma vegetativa y 0.04%/h maduro; alfalfa (*Medicago sativa* L) 0.19%/h, en prefloración. Al comparar los resultados de estos autores tenemos que las especies de nuestro estudio tienen mayor calidad de fibra. Sin embargo, Parada (1997) obtuvo kd de la FDN por el sistema *in situ*, para heno de alfalfa 0.54%/h, rye grass 0.57%/h, heno de avena 0.62%/h, rastrojo de maíz 0.27%/h y paja de sorgo 0.20%/h; de esto se puede pensar la influencia de la calidad del forraje y de las diferencias en los métodos utilizados.. Puede pensarse que la variación en las kd de los forrajes estudiados resulta de factores que afectan la calidad de la fibra de los forrajes como lo es la lignificación, porque aunque la FDN de algunas especies se mostró en bajos porcentajes su kd fue alta y viceversa. La lignina de las paredes celulares se asocia negativamente con la digestión de la fibra por los rumiantes (Jung, 1989).

Cuadro 4.3. Tasa de degradación (kd) de la fibra de las especies tratadas.

CONCEPTO	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i> var. <i>subarmata</i> var. <i>tricolor</i>		<i>Opuntia cantabrigiensis</i>
FDN (%)	53.79	55.73	53.44	50.71	62.06
FPI (%)	7.93	18.42	21.39	10.46	11.31
FPD (%)	45.86	37.31	32.05	40.26	50.75
Kd (%/h)	0.44	0.31	0.20	0.24	0.39

FDN= Fibra en Detergente Neutro.  
FPD= fibra potencialmente digestible.

FPI= Fibra Potencialmente Indigestible.

En el cuadro 4.4. se aprecian los resultados de la digestión a las primeras cuatro horas de incubación, y tomando en cuenta la FDN original mostradas en el cuadro 4.3. para cada muestra correspondiente la *Opuntia cantabrigiensis* da la mayor degradación de la fibra, y en orden descendente *Opuntia ficus indica* *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* *Opuntia imbricata* *Opuntia Lindheimeri* var. *subarmata*. Los datos en el cuadro 4.5. corroboran lo anterior en los porcentajes de Fibra Potencialmente Digestible (FPD); así también, los porcentajes a las 96 horas de incubación, en el orden descendente la mayor fue para *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia ficus indica*, *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia Lindheimeri* var. *subarmata* las cuales dieron datos de 50.75, 45.86, 40.26, 37.31 y 32.05 % respectivamente. Se considera a 96 horas el tiempo máximo de la extensión en la digestión, para los forrajes (Llamas y Tejada, 1990).

Cuadro 4.4. Fibra potencialmente indigestible (FPI) de las especies a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigien sis</i>
			var. <i>subarmata</i>	Var. <i>tricolor</i>	
4	28.07	38.23	40.23	26.93	29.41
8	38.21	37.84	35.59	23.50	30.24
12	30.29	36.99	35.40	23.68	33.06
24	40.35	26.15	26.32	19.12	30.51
36	24.52	31.26	26.85	14.57	25.57
48	39.67	23.43	22.04	19.03	17.11
60	22.38	22.19	27.19	11.67	19.14
72	11.93	21.15	30.74	11.74	14.75
84	7.24	18.52	27.31	10.19	14.33
96	7.93	18.42	21.39	10.46	11.31

Cuadro 4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) de las Especies a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>		<i>Opuntia cantabrigien sis</i>
			var <i>subarmata</i>	var <i>tricolor</i>	
4	28.85	17.50	13.20	23.78	32.49
8	18.71	23.97	17.84	27.21	31.82
12	20.80	18.74	14.39	35.31	29.00
24	16.57	29.58	23.47	31.59	31.55
36	32.40	24.46	26.58	36.14	36.49
48	17.26	32.30	33.59	31.68	44.79
60	31.41	33.53	26.25	39.04	42.93
72	41.86	34.58	22.70	38.97	47.32
84	46.55	37.20	26.13	40.52	47.73
96	45.86	37.31	32.05	40.26	50.75

Se transformaron logaritmicamente los datos de fibra potencialmente digestible (FPD) obtenidos de los diferentes tiempos de incubación *in vitro*, y mediante regresión lineal se obtuvo un modelo, en el cual  $\beta$  representa la tasa de degradación de la fibra para cada especie de nopal estudiados (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5)

En estas mismas figuras se observa la evolución de la digestión en los tiempos de incubación. Para las especies *Opuntia ficus indica*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri. var tricolor* la gráfica deja ver que al tiempo de 84 horas, la Fibra Potencialmente Digestible deja de ser relativamente digestible; no siendo así para la *Opuntia cantabrigiensis* y *O. lindheimeri. var. subarmata* las cuales a el tiempo máximo de digestión mostraron disminución.

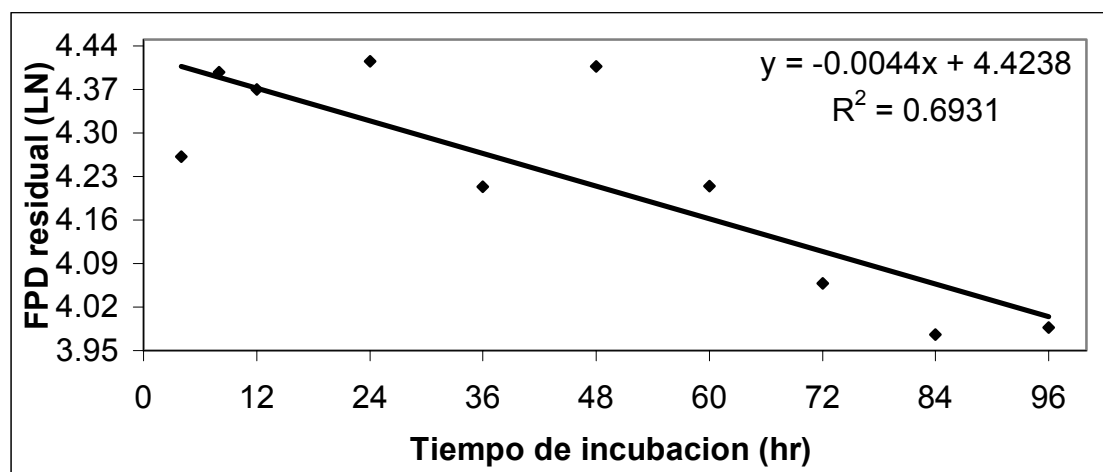


Figura 4.1. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia ficus indica* a los diferentes tiempos de incubación *in vitro*

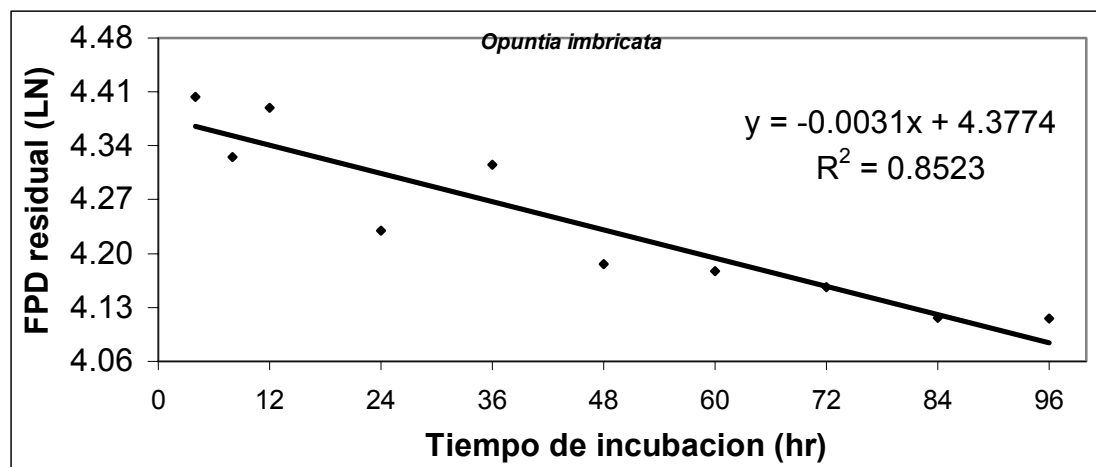


Figura 4.2. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia imbricata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

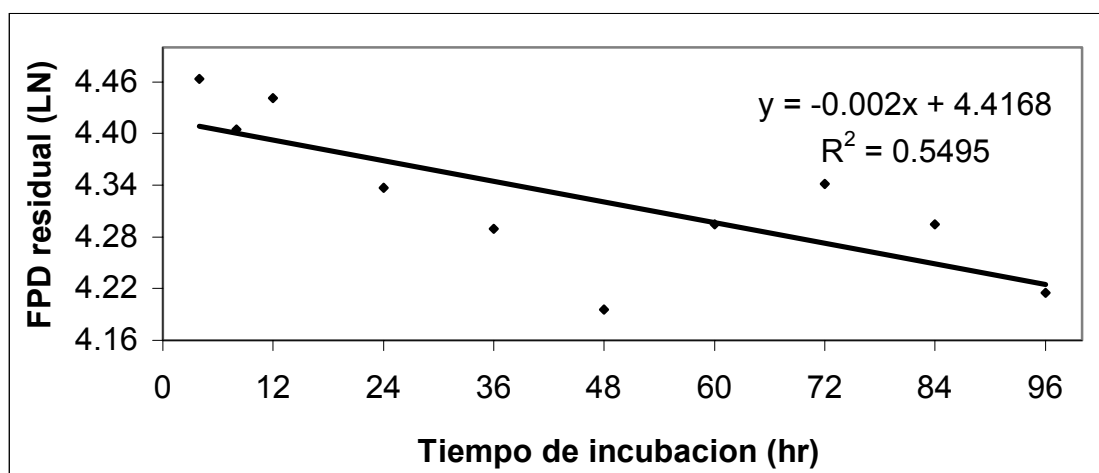


Figura 4.3. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri*. var. *subarmata* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

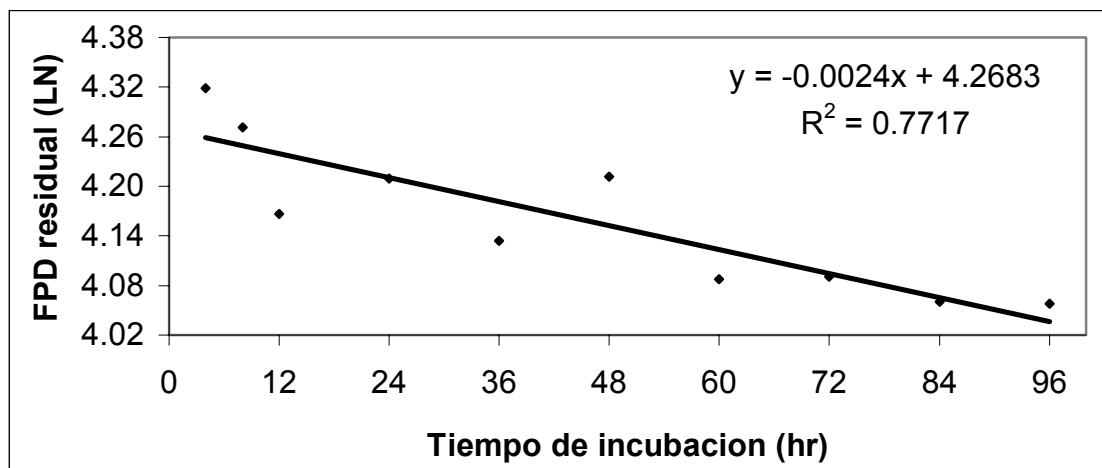


Figura 4.4. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia lindheimeri. var tricolor* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

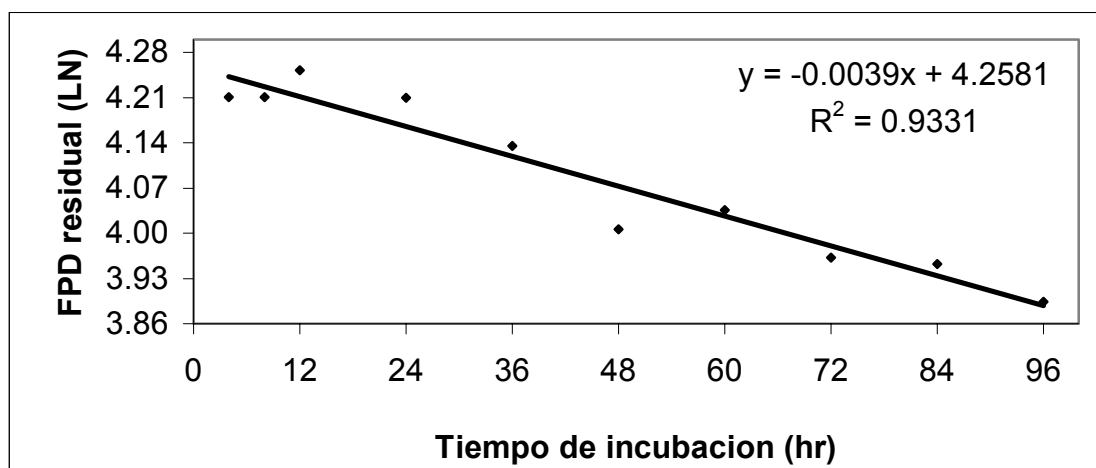


Figura 4.5. Fibra potencialmente digestible (FPD) residual de *Opuntia cantabrigiensis* a diferentes tiempos de incubación *in vitro*

En la figura 4.6 se puede apreciar que no hay relación entre el contenido de FDN de los forrajes con la kd de los mismos, dejando ver que la FDN no puede ser tomada como indicador de kd en los forrajes. Lo mismo indican

resultados obtenidos por Cruz (1999) mediante digestibilidad *in vitro* de heno de alfalfa, ensilado de maíz y paja de sorgo

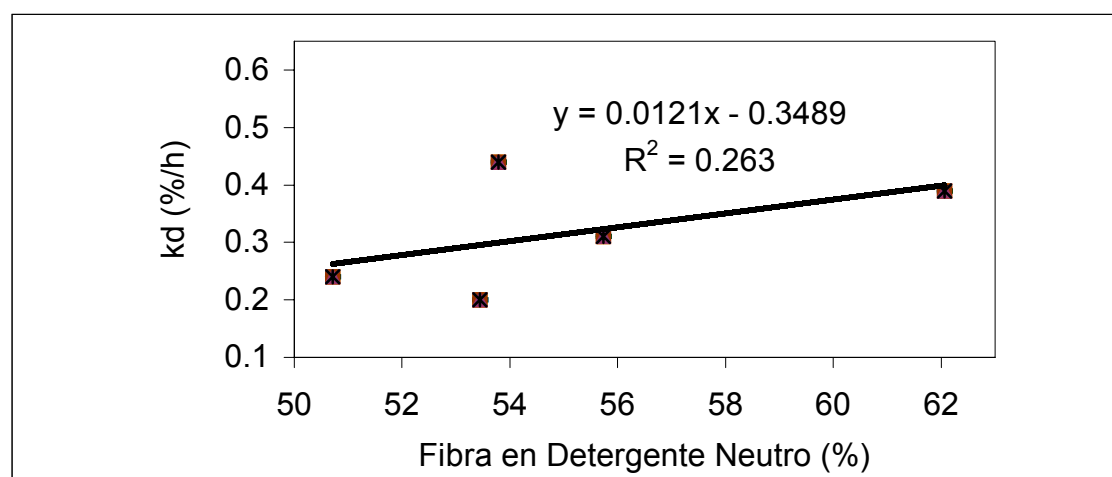


Figura 4.6. Relación entre el contenido de fibra en detergente neutro FDN y su tasa de degradación (kd) entre las especies.

La degradación de la Fibra en Detergente Neutro (FDN) se encuentran coeficientes altos en todas las especies para el tiempo de 4 horas como se ve en el cuadro 4.6. donde la *Opuntia cantabrigiensis* se muestra con mayor rango y los siguen descendientemente *O. ficus indica*, *O. lindheimeri var tricolor*, *O. imbricata* y *O. lindheimeri var subarmata*. En el tiempo de máxima extensión de la digestión a las 96 horas se observa casi la misma jerarquía anterior de las especies en la digestión, a excepción de la *O. ficus indica* que resulta con la más alta para este tiempo. la digestión de la FDN, no son equitativos dentro de las especies ni entre especies; ente esto se puede pensar nuevamente en la lignificación de la fibra la cual puede ser el factor que más afecta la tasa de degradación de la fibra (Juscafresa, 1974).



Cuadro 4.6. Digestibilidad de las paredes celulares de las especies estudiados a diferentes tiempos de incubación in vitro.

TIEMPO (hr)	<i>Opuntia ficus indica</i>	<i>Opuntia imbricata</i>	<i>Opuntia lindheimeri var subarmata</i>	<i>Opuntia lindheimeri var tricolor</i>	<i>Opuntia cantabrigien sis</i>
4	50.41	28.87	24.76	42.65	52.24
8	32.90	37.91	34.79	49.58	51.04
12	40.19	31.69	28.59	59.68	46.63
24	29.96	50.14	47.09	59.25	50.70
36	56.90	43.15	48.81	68.08	58.73
48	31.15	55.13	60.61	61.87	72.14
60	56.97	58.68	49.13	74.43	69.07
72	77.44	60.37	43.94	74.62	76.29
84	86.50	65.73	48.83	77.25	76.89
96	85.09	66.02	59.74	75.65	81.71

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo, llevan a concluir lo siguiente:

Por sus contenidos nutrimentales, todas estas especies aquí estudiadas pueden ser utilizadas en las dietas de mantenimiento, para cubrir parcialmente los requerimientos de los rumiantes, principalmente en épocas críticas.

Las *Opuntia ficus indica*, *Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata* tienen mejor digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica.

Por lo anterior y porque tienen mayor tasa de degradación la *Opuntia ficus indica* y *Opuntia imbricata*, son más adecuadas, para incluirlas en la dieta de los rumiantes.

## RESUMEN

En las zonas áridas y semiáridas del norte de México, se utiliza el nopal en la alimentación del ganado; debido a que se necesita conocer más acerca de las propiedades nutritivas de éste recurso forrajero, y por la importancia que toma éste en épocas críticas, se condujo este estudio en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Se colectaron en el otoño, muestras de material biológico, en las áreas aledañas a esta entidad, correspondientes a cactáceas del género *Opuntia* (*Opuntia ficus indica*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor* y *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*.), a las cuales se les hizo análisis proximal (Sistema AOAC), digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) (técnicas de Tilley y Terry, 1963), fibra en detergente neutro (FDN) y, estudio de la tasa de degradación de la fibra *in vitro* (técnicas de Tilley y Terry, 1963 con las modificaciones de Goering y Van Soest. 1970).

Para la obtención del inóculo, se utilizó un novillo criollo, . alimentado a base de heno de avena de mediana calidad, canulado ruminalmente.

Los resultados del análisis proximal, se analizaron estadísticamente en un diseño completamente al azar, con igual número de repeticiones en cada

tratamiento, obteniéndose no diferencias ( $p>0.05$ ) entre especies. Para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la materia orgánica, también se analizaron completamente al azar, con igual número de repeticiones en cada tratamiento, dando que la materia seca se digiere igual ( $p>0.05$ ) en todas las especies; pero, la materia orgánica tuvo mayor digestibilidad para la *Opuntia ficus indica* con 65.96% y menos en *O. lindheimeri var. tricolor* con 51.74%.

La tasa de digestión de la fibra (kd) para cada especie, se obtuvo por la incubación de las muestras con líquido ruminal e interrumpidas a tiempos de 4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas. A la fibra potencialmente digestible (FPD) se transformó logarítmicamente y mediante regresión lineal se graficó dando una pendiente, que corresponde a la kd/h. En los resultados se observa que la tasa de degradación en *Opuntia ficus indica* (0.44 %/h) fue mayor, siguiendo el orden descendente, *Opuntia cantabrigiensis* (0.39 %/h), *Opuntia imbricata* (0.31 %/h), *Opuntia lindheimeri var. tricolor* (0.24 %/h), *Opuntia lindheimeri var. subarmata*, (0.20 %/h).

Con estos resultados, se tiene que la *Opuntia ficus indica* y *Opuntia imbricata* son las especies que superan a las otras especies estudiadas en cuanto a DIVMS y DIVMO, así como en la tasa de degradación de la fibra.

La fibra en detergente neutro de las especies estudiadas, no se relaciona estrechamente con tasa de digestión.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Washington, D. C. USA.
- Barton, F. E.; H. E. Amos; D. Burdick and R. L. Wilson. 1976. Relationship of Chemical Analysis to In Vitro Digestibility for Selected Tropical and Temperate Grasses. *J. Anim. Sci.* 43: 504-511.
- Bourquin D.L.; E.C. Titgemeyer; J.V. Milgen and G.C. Fagey ,Jr. 1994. Forage Level and Particle Size Effects on Orchardgrass Digestion by Steers: II Ruminant Digestion Kinetics of Cell Wall Components. *J. Animal Sci.* 72: 759-767.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Instituto de biología de la UNAM. México.
- Cherney, D.J.R.; J.H. Cherney and R.F. Lucey. 1993. In Vitro Digestion Kinetics and Quality of Perennial Grasses as Influenced by Forage Maturity. *J. Dairy Sci.* 76: 790-797
- Fisher, D. S.; J. C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of In Vitro Cell Wall Disappearance and In Vivo Digestion. Published. in *Agron. J.* 81: 25-33.
- Flores, V. C. A. y J. R. Aguirre, R. 1992. El Nopal Como Forraje. Primera Edición. Imprenta Universitaria. UACH. Texcoco, México.

- Dado, R. G. and M. S. Allen. 1995. Intake Limitations, Feeding Behavior, and Rumen Function of Cows Challenged With Rumen Fill from Dietary Fiber or Inert Bulk. . J. dairy Sci. 78: 118-133.
- De Alba, J. 1980. Alimentación del ganado en América Latina. 2° edición. Cuarta reimpresión. Ed. La Prensa Mexicana. México.
- Elizondo E., J. L.; J. J. López G.; J. Dueñez A. 1987. El Género *Opuntia* (TOURNEFORT) Miller y su distribución en el estado de Coahuila. 2ª reunión nacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. Jardín botánico del instituto de biología. U.N.A.M. México. D. F.
- Elizondo, J. L. y Wehbe, J. A. 1987. Una nueva variedad de *Opuntia lindheimeri* Engelm. En: Cact. Suc. Mex. 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. Agron. J. 81: 25.
- Flores V., C. A.; y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Segunda edición. Dirección del patronato universitario, dirección de difusión cultural. UACH. Chapingo, Texcoco, México.
- Forbes, J. M. 1995. Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. ED. Cab International. USA.
- Fuentes, R. J. M. y M. Murillo, Soto 1996. Prickly Cactus 2010: A Prospective View. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 1:10-14.
- Fuentes, R. J. M. 1997. El nopal una alternativa forrajera en las zonas áridas del norte de México. Congreso sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. (Eds): Vázquez Alvarado Rigoberto, Gallegos Vázquez Clemente; Treviño Hernández Nancy E. y Díaz Torres Yolanda. FAUANL. Monterrey, Nuevo León, México.
- Fisher, D.S.; J.C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of In Vitro Cell-Wall Disappearance and In Vivo Digestion. Published in Agron. J. 81: 25-33.

- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. USDA. Handbook. N°. 379. U. S. government Printing Office. Washington, DC.
- Grandt R. J., and D. R. Mertens. 1992. Influence of buffer, pH and raw starch addition on in vitro fiber digestion kinetics. J. dairy Sci. 75: 2762.
- Hernandez V. R. E. M. 1985. Cactaceas de San Luis Potosí, México. departamento de Botánica de la universidad autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Investigaciones de San Luis Potosí.
- Jung, H.G. 1989. Forage Lignins and Their Effects on Fiber Digestibility. Published in Agron. J. 81: 33-38.
- Juscafresa, B. 1974. FORRAJES fertilizantes y valor nutritivo. Editorial AEDOS. Primera edición. Barcelona España.
- Llamas, L. G, y I. Tejada, H. 1990. Técnicas de laboratorio para el análisis de forrajes en rumiantes. En: Castellanos, R. A.; G Llamas, L. , y A. S. Shimada,, (Eds). Manual de técnicas de investigación en rumiología. Primera edición. Sistemas de educación continua en producción animal. A. C. México.
- López G. J.J. y J.L. Elizondo E. 1990. Conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. En: tercera reunión nacional y primera internacional. EL NOPAL, su conocimiento y aprovechamiento. Eds. Juan José López González y Myrna Julieta Ayala Ortega. Universidad autónoma agraria Antonio narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- López, G. J.J.; Rodríguez G. A.; L. Pérez R. y J. M. Fuentes, R. 1996. Usos del nopal forrajero en el norte de México. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 1:10-14.
- 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, Coah. 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*. Karw y *A. salmiana*) en el Sur de Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Maynard, L. A.; J. K. Loosli; Hintz, H. F. y Warner, R. G. 1983. 7° Edición; 4° en Español. ED. McGraw-Hill. México, D. F.
- Maldonado, J. L. 1983. Caracterización y uso de los recursos naturales de las zonas áridas. En: simposio; Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. editor: José de Molina Galán. Ed. Del Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- McDonald, P.; R. A. Edwards y J. F. D. Greenhalgh. 1975. Nutrición Animal. ED: Acriba. 2° edición. España.
- Mendoza, H. J. M. 1983. Boletín meteorológico para la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN Buenavista, Saltillo, México.
- Mertens, D. R. 1977. Dietary Fiber Components: Relationship to the Rate and Extent of Ruminant Digestion. *Federation Proc.* 36: 187-192.
- Mertens, D. R. and J. R. Lofton. 1980. The Effect of Starch on Forage Fiber Digestion Kinetic In Vitro. *J. Dairy Sci.* 63: 1437-1446.
- Mertens D. R. and L. O. Ely. 1982. Relationship of Rate and Extent of Digestion to Forage Utilization – A Dynamic Model Evaluation. *J. Anim. Sci.* 54: 895-903.



- Murillo, S. M.; J. M. Fuentes, R.; M. Torres, H.; F. Borrego, E. y R. Gutiérrez, A. 1994. *in vitro* PROTEIN DIGESTIBILITY OF TWO *Opuntia* GENOTYPES AFTER THE ADDITION OF YEAST, AMMONIA AND UREA. 5th annual Texas Prickly Pear Council convention. Kingsville, Texas.
- Nelson, B. D.; H. D. Ellzey; C. Montgomery and E. B. Morgan. 1972. Factors Affecting the Variability of An *In Vitro* Rumen Fermentation Technique for Estimating Forage Quality. *J. dairy Sci.* 55: 358-366.
- Okine, E. K.; G. W. Mathison and R. T. Hardin. 1989. Effects of Chages In Frequency of Reticular Contractions on Fluid and Particulate Passage Rates In Cattle. . *J. Anim. Sci.* 67: 3388-3396.
- Parada, H. M. R. 1997. Tasa de Degradación *In Situ* de la Fibra de Algunos Forrajes de Uso Común. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Ramirez L. R, G.; G, F. Alanis F. y M<sup>a</sup>, A. Nuñez G. 2000. Dinamica estacional de la digestibilidad ruminal de la materia seca del nopal. *Revista: CIENCIA UANL.* Vol III, N° 3: 267-273.
- Tejada, H. I. 1985. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. SEP. 1<sup>a</sup> edición. México.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A Two-stage Technique for the *In Vitro* Digestion of Forage Crops. *J. British. Grassland. Soc.* 18.104.
- Vázquez, A. R. E. y De la Garza, V. R. J. 1999. Caracterización de cinco cultivares de nopal forrajero. En: memorias VIII congreso nacional y VI internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant* 2<sup>nd</sup> ed. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, N. Y.
- Varel H. V. and K. K. Kreikemeier. 1995. Technical Note: Comparison of *In Vitro* and *In Situ* Digestibility Methods. *J. Anim. Sci.* 73: 578-582.

Welch, J.G. 1982. Animal factors affectin feed intake. En: Animal Nutrition. Ed. J. B. Hoker.

Woodford, J.A.; N.A. Jorgensen and G.P. Barrington. 1986. Impact of Dietary Fiber and Physical Form on Performance of Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 69: 1035-1047.