

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL



**FRACCIONES DE FIBRA DE CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *Opuntia*
DEL SURESTE DE COAHUILA**

POR

JORGE ORLANDO CRUZ SOLÍS

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

Fracciones de fibra de cuatro especies del género *Opuntia* del sureste de Coahuila

Por:

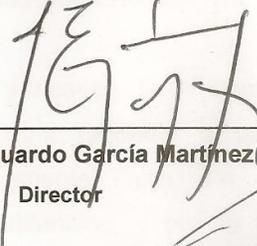
JORGE ORLANDO CRUZ SOLÍS

TESIS

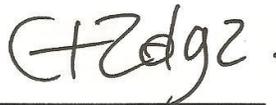
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

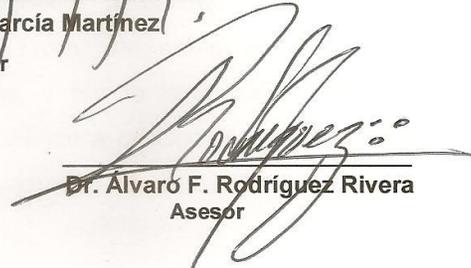
APROBADO POR:



Dr. José Eduardo García Martínez
Director



MC. Camelia Cruz Rodríguez
Asesor



Dr. Alvaro F. Rodríguez Rivera
Asesor

El Coordinador de la División de Ciencia Animal



Dr. Ramiro López Trujillo



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2014

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito, Jorge Orlando Cruz Solís, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 303347 y autor de la presente Tesis, manifiesto que:

1.- Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.

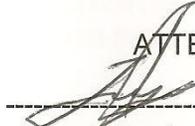
2.- Las ideas, opiniones datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente Tesis, han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.

3.- Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactado según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.

4.- Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifesté no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.

5.- Entendiendo que la función y alcance de mi Comité de Asesoría, está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada por la siguiente Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi Comité de Asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

ATTE



Jorge Orlando Cruz Solís
Tesis de Licenciatura/UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por permitirme tener esta vida, guiando siempre mis pasos por el sendero de la sabiduría, llenándome de aliento en los momentos cruciales y sobre todo por darme la familia que ahora tengo.

A mis padres

Silvia Solís y Raúl Cruz por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por llevarme de la mano sobre el camino de la educación, el trabajo y dedición. Por levantarme en mis tropiezos, aplaudir mis logros y nunca dejarme solo, sacrificándose siempre para darme la dicha de tener un mejor futuro.

A mis hermanos, cuñado y sobrina

Daisy Cruz, Marely Cruz, Edgardo Cruz, Daniel Jiménez y Aixa Jiménez por que en todo momento me dieron ánimo y sobre todo mi hermano y cuñado, que como profesionistas me dieron buenos consejos para corregir mis errores.

A mi tutor

El Dr. José Eduardo García Martínez por transmitirme sus conocimientos, corregir mis errores y soportarme durante la elaboración de este proyecto.

A Isamar Solis

Por la gran paciencia, tolerancia, respeto y cariño que me brindo durante mi etapa de estudiante de licenciatura, motivándome para mi superación profesional.

A mis abuelos

Ana Hernández, Alicia Contreras y Fidencio Solís que siempre tienen los buenos deseos para mi superación, y a Agustín Cruz que aunque no esta físicamente conmigo se que ilumina mi camino.

A mis tíos

Mireya Banda y Natalio Contreras quienes con su experiencia me han aconsejado siempre en la vida y me han apoyado en todo momento

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, por que en ellos encontré la fuerza y motivación para mi superación profesional, muy en especial a mis padres, por que sus sacrificios no fueron en vano y se sentirán orgullosos de la meta que alcance.

También a mi “***Alma Terra Mater***”, que se convirtió en mi hogar durante casi 5 años de mi vida, por ser la escultora de mi diseño profesional. Por que me brindo las herramientas para mejorar mis conocimientos y capacidades.

Con un gran cariño y aprecio dedico este logro a mis compañeros y amigos, Sebastián Solís, Gerardo Blanco, Víctor H. Vielma, Cesar García, Emanuel Mellado, Fernando Alcalá, Everardo Solís, Othoniel Torres, Eduardo Fuentes, Ricardo García, José García, Marco Moreno, Ernesto Jiménez, Samuel Jiménez, Oscar Alvarado, Raúl Alvarado, Tonantzin de León, Marisol Torres, Claudia Ramos, Arisbed López, Manuel Valdez, Roberto Méndez, Erick Solís, Francisco Herrera y a todos los que nunca dejaron de creer en mi, que compartieron experiencias, enseñanzas, alegrías de triunfos, tristezas y conocimientos para obtener este logro.

RESÚMEN

En base a la información obtenida sobre la clasificación taxonómica, origen y distribución del nopal, se ha podido realizar este trabajo, además de tomar en cuenta diferentes factores para la comparación sobre la calidad de los forrajes. Los manifiestos en relación a la composición de la pared celular, la determinación de fracciones de fibra y diversas investigaciones que tienen una relación con las fibras del nopal nos ayudaron a evaluar diferentes datos. El objetivo del presente trabajo fue analizar las fracciones de fibra de 4 especies del genero *Opuntia* recolectadas del sureste de Coahuila en los meses de junio y julio.

Se colectó el material en el Ejido “Las Mangas” de Saltillo, Coahuila para su posterior análisis de fracciones de fibra en el laboratorio de Nutrición del Departamento de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que se localiza en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Las especies que se utilizaron fueron seleccionadas basándonos primordialmente en su uso como forraje para ganado y su distribución. Tomando en cuenta estos aspectos se emplearon las especies *Opuntia imbricata* (Haworth), *Opuntia ficus-indica* (Linné), *Opuntia cantabrigensis* (Lynch), *Opuntia lindheimeri* variedad tricolor (Griffiths) y *Opuntia lindheimeri* Engelmann variedad subarmata (Griffiths).

Durante los meses de Junio y Julio, cada dos semanas se escogieron tres plantas de cada especie para dividir los cladodios y ser picados en pequeños trozos para secarse parcialmente a 65 °C en una estufa. Se agruparon las plantas para obtener tres repeticiones de cada especie y se molieron para su posterior análisis en el laboratorio con el método de; Weende (1990) y la técnica de Van Soest (1986) para la determinación de fibra cruda, FDN, FDA, HC, CEL y LIG.

La media general de **fibra cruda** para las especies estudiadas fue de 15.30 %. En cuanto a la **FDN**, el valor de la media general para las especies estudiadas fue de 40.62 %, para la **FDA**, la media general de las especies estudiadas fue de 22.23 %, el valor de la media general de **hemicelulosa** para las especies estudiadas fue de 17.82 %, la **celulosa** presentó una media general de 6.55 % y para el caso de la **lignina** se presentó una media general de 5.21 %.

En base a los resultados obtenidos en el análisis de las diferentes especies estudiadas en el noreste de Saltillo, Coahuila, se determinó que la especie *O. fucus-indica* es la más viable para la utilización por los ganaderos.

Palabras Clave: *Fibra cruda, FDN, FDA, Nopal, forraje, calidad.*

ÍNDICE

Contenido	Página
MANIFIESTO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	xiii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	2
Hipótesis	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Clasificación Taxonómica	3
Familia cactácea	4
Subfamilia <i>Opuntioideae</i>	4
Género <i>Opuntia</i>	5
Subgénero <i>Platyopuntia</i>	6
Origen y Distribución	6
Distribución a nivel mundial	7

Distribución en México	7
Calidad de Los Forrajes	8
Consumo voluntario	9
Composición química	12
Digestibilidad	13
Determinación de Las Fracciones de Fibra	14
Análisis de fibra	15
Determinación de fibra cruda	16
Determinación de fibra detergente neutro	17
Determinación de fibra detergente ácido	17
Lignina detergente ácido	17
Composición de La Pared Celular	18
Carbohidratos	19
Proteínas	19
Investigaciones Relacionadas con Fibra del Nopal	20
MATERIALES Y MÉTODOS	26
Descripción del Área de Estudio	26
Colecta de la Muestra	26
Análisis de las Muestras	29
Procedimiento Experimental	30
Análisis Estadístico	32

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
CONCLUSIONES	36
LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Clasificación Taxonómica	3
4.1	Fracciones de fibra (%) de algunas especies del genero <i>Opuntia</i> cosechadas en el Ejido “Las Mangas”, saltillo, Coahuila.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Composición de los alimentos	13
3.1	<i>Opuntia imbricata</i>	27
3.2	<i>Opuntia ficus indica</i>	27
3.3	<i>Opuntia catabrigiensis</i>	28
3.4	<i>Opuntia lindheimeri</i> var. tricolor	28
3.5	<i>Opuntia lindheimeri</i> var subarmata	29

INTRODUCCIÓN

Opuntia es un género de plantas de la familia de las cactáceas, todas oriundas del Continente Americano, crecen de forma silvestre y habitan desde el continente americano hasta la Patagonia. Son muy adaptables, por eso cuando fueron introducidas a Europa por los conquistadores se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea.

Este género debe su nombre a un pueblo antiguo de Grecia llamado *Opus u Opuncia*, de la región de Leócrida, Beocia, en donde crecía una planta similar a las cactáceas. Los nopales son el género con mayor distribución de la familia de las cactáceas y fueron nombradas por Linneo en 1753 como *Cactus Opuntia*. Posteriormente otro autor corrigió y llamó este tipo de género *Opuntia ficus-indica*, conocida popularmente como nopal, tuna o chumbera, en México existen diversas especies.

El nopal, una planta propia del paisaje mexicano y gran símbolo de su nacionalidad, ha sido compañero de los pobladores mexicanos a través de la historia, desde antes de la fundación de *Tenochtitlán* (nopal sobre piedra), desde antes de la conquista el nopal ha sido importante en sus vidas.

Existen reportes de que el nopal (*Opuntia spp*), junto con el frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.), maíz (*Zea mays*, L.) y el maguey (*Agave americana*), fue alimento fundamental de grupos chichimecas del centro y el norte del país. También se ha utilizado como medicina, bebida, tintes y otros usos.

El nopal cuenta con enormes ventajas, como lo son la resistencia a zonas áridas, su capacidad de producción de biomasa en condiciones de escasa precipitación, y la constitución de reservas forrajeras para la fauna silvestre y el ganado, hasta en el control de la erosión.

La explotación de esta planta ha ido en incremento a medida que se descubren más bondades, en esta ocasión la dedicación al manejo de este género se enfoca a 4 especies, aprovechando sus aportaciones nutrimentales en la dieta animal.

Por otro lado, la fibra es uno de los nutrientes aportados en mayor cuantía por la *Opuntia*, y es por ello que resulta importante conocer como están distribuidas proporcionalmente sus diferentes fracciones, ya que de ello dependerá en gran medida el consumo de alimento, la composición química y la digestibilidad del mismo.

Objetivo

El objetivo del siguiente trabajo es determinar el contenido de fracciones de fibra de 4 especies del género *Opuntia* cosechadas durante los meses de junio y julio, en el sureste de Coahuila.

Hipótesis

Existen diferencias en cuanto a las fracciones de fibra de las especies del género *Opuntia* del sureste de Coahuila, estudiadas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación Taxonómica

Son una jerarquía de inclusión la estructura de los taxones o grupos en que se clasifican los seres vivos, en la que un grupo abarca a otros menores y está, a su vez, subordinado a uno mayor. A los grupos se les asignan una categoría taxonómica acompañada del nombre propio del grupo. Por ejemplo: genero *Homo*, familia *Canidae* (*canidos*), orden *Primates*, clase *Mammalia* (*mamíferos*), reino *Fungi* (*hongos*). En el cuadro 2.1 se muestra la clasificación taxonómica del nopal.

Cuadro 2.1. Clasificación taxonómica.

REINO	VEGETAL
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Angioserma</i>
Clase	<i>Dicotiledoneae</i>
Subclase	<i>Dialipétalas</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Subfamilia	<i>Opuntioideae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Platyopuntia</i>
Especie	Varios nombres

Familia cactácea

Existe una gran disparidad en cuanto a su clasificación ya que esta familia comprende un gran número de géneros y especies. Bravo (1978) cita algunos autores como: Britton and Rose (1963) que consideran que esta familia se divide en 122 géneros, ordenados en tres tribus: *Pereskieae*, *Opuntiaeeae* y *Cereeae*; Backerber incluye 233 géneros; Hunt (1993) solo considera 37 géneros y Buxbaum, divide a esta familia en tres sub-especies que son: *Perskioideae*, *Opuntioideae* y *Ceroideae* y las divide en ocho tribus y nueve subtribus.

Otros autores mencionan que esta familia comprende de 100 géneros y 1000 especies o más, solo un género, *Rhipsalis* es nativo del antiguo continente, siendo casi exclusivo del Continente Americano, abundante en México y Centro América.

Subfamilia *Opuntioideae*

En México está representado por los géneros *Pereskioopsis*, *Opuntia* y *Nopalea*. Bravo (1978). Las plantas *Opuntioideae* son muy variables en función de las características de los géneros y especies.

Cactáceas arborescentes, arbustivas y hasta rastreras; tallos cilíndricos, claviformes casi globosas o en cladodios, mas o menos ramificados; hojas con limbo pequeño, cilíndrico subulado y caduco, solo en *Pereskioopsis* es laminar aunque carnosos; tubérculos mas o menos prominentes, aréolas circulares hasta elípticas, con fieltro, pelos, gloquidias y espinas; las espinas son largas y delgadas, en ocasiones con vaina papirácea, flores diurnas o vespertinas, sésiles, una en cada aréola, naciendo hacia la extremidad de los tallos; ovarios ínfero, peri carpelo con podarios prominentes, con aréolas que llevan glóquidas y en ocasiones espinas; receptáculo corto; perianto rotáceo, regular; fruto seco

o carnosos, a veces prolíferos, semillas negras o de color de lino, discoides, con arilo muy duro, globosas y pilosas en *Pereskopsis*; de embrión curvo, cotiledones grandes y perisperma bien desarrollado. Borrego y Burgos (1986).

Género *Opuntia*

Dentro de nuestra investigación, se le da más importancia al género *Opuntia*, por el hecho de que las especies de nopal analizadas se encuentran incluidas en este género.

También incluyen especies que están provistas de troncos bien definidos y por lo regular muy ramosas desde la base, estas están postradas o extendidas, generalmente de raíces fibrosas, artículos cilíndricos o discoides, que semejan raquetas, carnosas, leñosas, y con costillas; las aréolas espinosas, glóquidas, pelos, yemas florales y en ocasiones hojas pequeñas, cilíndricas, caducas, las espinas cilíndricas o aplastadas, desnudas o provistas de vainas, cada aréola florífera y por lo general produce una sola flor; con los pétalos extendidos de color amarillo verdoso, rojo o púrpura, aceptando tonalidades a esos colores; los estambres son más cortos que los pétalos; ovario multiovulo y su envoltura esta provista de aréolas con glóquidas; el fruto es una baya carnosa, esférica y ovoide, desnuda o espinosa, y contiene semillas de testa dura de color claro. Borrego y Burgos (1986).

Cylindropuntia (cladodios cilíndricos) y *Platyopuntia* (artículos planos) son sub-géneros en los que se divide el género *Opuntia*. Las especies de ramas delgadas, llamadas tasajo, tasajillo y alfiletillo son las que comprenden el primer sub-género. Con muy escasa importancia económica, pero utilizadas para evitar la erosión del suelo y otras actividades de conservación.

Sub-género *Platyopuntia*

El género *Opuntia* (sub-género *Platyopuntia*) es uno de los más diversos y abundantes en la República Mexicana, se presentan en todos los tipos de vegetación de las zonas áridas, semiáridas y con frecuencia aparecen también en zonas tropicales y templadas. El polimorfismo determinado por la hibridación y la gran diversidad dificulta más el trabajo de clasificar las especies dentro de este sub-género.

La *Platyopuntia* representa los nopales cultivados por excelencia y también incluyen las especies silvestres cuya fruta tiene amplia aceptación entre la población regional y constituye la materia prima para algunas industrias. Asimismo el sub-género, abarca las especies forrajeras de mayor significación, aunque comprende algunas otras que no tienen importancia dentro de estos propósitos. Borrego y Burgos (1986).

Origen y Distribución

Como ya se ha mencionado, las cactáceas son originarias del Continente Americano y se distribuyen latitudinalmente desde Alberta, Canadá hasta la Patagonia, Argentina; y longitudinalmente desde las Islas del Caribe, a las Islas Galápagos (Anderson, 2001, Reyes *et al.*, 2006; Cota, 2008 por Borrego y Burgos 1986). Siendo las diversas áreas de desarrollo las que difieren el origen entre las cactáceas de América del Sur y América del Norte.

En América del Norte existen aproximadamente 92 géneros de cactáceas, de los cuales 61 existen en México y 31 géneros en Estados Unidos, en América del Sur solo se localizan 51 géneros, siendo México el centro de diseminación. (Bravo 1978 por Borrego y Burgos 1986). Existen especies introducidas y naturalizadas en la cuenca del Mediterráneo, África, Asia y Oceanía.

Distribución a nivel mundial

El nopal (*Opuntia*) se encuentra distribuido en casi todo el mundo, exceptuando las regiones cercanas a los polos y algunos desiertos. (Narro 1970 por Borrego y Burgos 1985).

Algunos autores citan que actualmente se hacen estudios muy importantes del nopal como forraje para hacer un mejor aprovechamiento de este recurso en la alimentación del ganado, en los países de África del Sur, Madagascar, África del Norte, Argelia, Túnez, España, Italia, Argentina, Brasil, Guatemala y Estados Unidos. Ramírez reporta este cultivo en Portugal, Grecia y Japón. Encontrando extensa lista de países en donde la *Opuntia* extiende sus fronteras.

Distribución en México

Las zonas nopaleras del centro- Norte de México en tres regiones principales (Marroquín *et al.* 1960 por Borrego y Burgos 1986):

Zona nopalera Potosino Zacatecana, con extensiones que incluyen partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.

Zona nopalera del Noreste de México. Comprende la región norte de la planicie costera nororiental, o sea norte de Tamaulipas y norte y oriente de Nuevo León.

Zona nopalera difusa. Es la región más amplia de las tres, aunque con notoria menor densidad en individuos por hectárea. Se extiende desde las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

Calidad de Los Forrajes

El análisis del contenido de los forrajes como; fibra cruda, fibra neutro detergente, lignina, digestibilidad, nutrientes digestibles totales, la energía que aporte el alimento y la proteína que brindará el mismo, representan un esfuerzo para conocer su valor como forraje.

Las plantas forrajeras son los agentes principales para la utilización de la energía solar, del hidrogeno y el oxigeno del agua, y del anhídrido carbónico del aire, para sintetizar los principios nutritivos que pueden proporcionar energía, poniéndolos a disposición de los animales que consumen la hierba.

En el análisis químico de los forrajes, los hidratos de carbono se dividen en dos clases principales, la celulosa bruta y los extractivos no nitrogenados. De un 85 a un 90 %, aproximadamente, del contenido de nitrógeno celular de las plantas forrajeras, es proteína bruta, sintetizada a partir de los aminoácidos.

El proceso de maduración afecta el valor nutritivo de los forrajes, de un modo más significativo que cualquier otro factor. La hierba aun no madura, en crecimiento activo, tiene un alto valor nutritivo. Durante la maduración se acumulan concentraciones crecientes de fibra lignificada en la armadura estructural de las plantas forrajeras. La maduración final, después del alargamiento del tallo y de la floración, va acompañada de una mayor lignificación de la celulosa, y de menores valores de la proteína y de los hidratos de carbono digestibles. Los forrajes contienen de un 3 a un 20% de lignina, según la fase de maduración en la que se encuentre.

Las plantas forrajeras contienen vitaminas, hormonas y enzimas, que son esenciales tanto para la vida de la planta como para la del animal. De estos factores, los más importantes, desde el punto de vista de la nutrición animal, son las vitaminas, ya que son componentes del sistema enzimático que

catalizan las reacciones metabólicas. Las vitaminas del complejo B, las C, E, K y el caroteno o provitamina A, son rara vez limitantes en las proporciones usadas de los forrajes en las raciones, especialmente en el caso de los pastos. La vitamina D, se encuentra en la hierba sometida a la acción del sol, aunque esta fuente no siempre es de confianza. Las vitaminas que contienen los forrajes se ven afectadas por diversos factores como; especie vegetal, variedad, la fase de maduración y las variaciones en las cantidades o concentraciones de la luz, la temperatura, la humedad del suelo y los macro y micro elementos nutritivos de los tejidos de las plantas.

La fertilidad del suelo afecta al contenido de elementos minerales y al desarrollo de tejidos y, por tanto, al vigor de los animales que consumen los forrajes, un forraje producido en condiciones adecuadas de fertilización del suelo contiene una cantidad suficiente de los elementos principales; fosforo, potasio, calcio y magnesio para satisfacer las necesidades del ganado.

Consumo voluntario

Mejía (2002) señala que existen cuatro aspectos básicos que se han venido señalando en la nutrición animal: los requerimientos del animal, el contenido nutricional de los alimentos, su digestibilidad y la cantidad consumida del animal.

Dependiendo del tipo de condiciones en que se encuentre el animal, se determinara la complejidad de los procesos para determinar estos aspectos.

Factores que podrían no precisar el requerimiento del ganado son la actividad de pastoreo y las condiciones ambientales. Debido a que el animal es muy selectivo en su dieta al combinar especies y partes de plantas, se hace también difícil determinar el valor nutritivo de la hierba y su digestibilidad. Aunque la cantidad consumida voluntariamente es el factor más crítico.

La teoría nos señala que un animal debe de consumir hasta satisfacer sus requerimientos nutricionales, pero el consumo total se puede ver afectado por los siguientes factores;

Factores ligados al animal: fase de lactancia, nivel de producción, peso vivo, edad e individualidad (factor genético).

Factores ligados al alimento: concentración energética de la ración, contenido de la materia seca y proteína, forma física de presentación, digestibilidad y palatabilidad.

Factor clima: temperatura ambiente: Otros factores: disponibilidad de agua, estado sanitario del animal, suplementación, deficiencias nutricionales, inhibición o estímulo social y experiencia de los animales.

La cantidad de materia seca del forraje consumida, es el factor más importante que regula la producción del ganado a partir de forrajes. Así Allison (1985) por Mejía (2002) indica que el valor del forraje en la producción animal depende más de la cantidad que de su composición química.

Se define el consumo voluntario como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando a los animales se les ofrece alimento en exceso (Minson 1990 por Mejía 2002).

El estado nutricional del animal en pastoreo, puede verse mas afectado por la disminución en el consumo, que por el bajo valor nutricional del forraje (Chávez 1995 por Mejía 2002). De tal manera que pudiendo manipular la cantidad consumida por el animal, existen mas posibilidades de mejorar el estado nutricional del ganado, incrementando los índices de productividad.

El consumo de agua esta seriamente relacionado e influye directamente sobre el consumo de materia seca del animal. También es importante la relación entre proteína/caloría, ya que la perdida del apetito esta dada por exceso de aminoácidos.

Normalmente el consumo disminuye a temperaturas ambientales elevadas, llegando a suspenderse en forma total a más de 40 °C. Si la temperatura sube en forma continua, hay una reducción en el consumo y se vuelve imposible mantener un balance positivo de energía. En el caso de los rumiantes el aumento de temperatura ruminal puede disminuir el consumo de los alimentos y la reducción de la temperatura lo aumenta.

El alimento incrementa la temperatura corporal en tres formas; 1) Por acción dinámica específica; 2) Por el incremento de la tasa metabólica como función de la masa muscular y 3) Por el aumento de la tasa metabólica como función del nivel de alimentación.

La gestación y la lactación incrementan el consumo de forma proporcional al crecimiento fetal y a la cantidad de leche producida.

En los mecanismos de control sensorial de los animales hay estímulos gustativos, olfativos y táctiles, pero no visibles. También los sabores tienen un efecto importante (dulce, salado, ácido y amargo).

El aumento de la fracción celulósica declina la ingestión voluntaria del ganado, lo cual sugiere que la relación entre ingesta y digestibilidad depende de la proporción de energía digestible de los constituyentes de la pared celular. Cuando la masa de la fibra en la pared celular es de 50-60% de la materia seca la ingesta se limita.

Composición química

La materia seca de los alimentos está constituida por una fracción orgánica y otra inorgánica. El componente inorgánico está dado por los minerales que posee el vegetal, principalmente potasio y silicio. Pero también la mayoría de los compuestos orgánicos contienen elementos minerales como componentes estructurales, por ejemplo, las proteínas contienen azufre, muchos lípidos, carbohidratos y fósforo, además contiene lípidos proteicos, ácidos nucleicos, ácidos orgánicos y vitaminas.

Los carbohidratos son los más abundantes en todos los vegetales y en la mayoría de las semillas. Esto es debido a que los carbohidratos, principalmente celulosa y hemicelulosa, son los principales componentes de los vegetales ya que constituyen la mayor fuente de almacenamiento de energía en forma de almidón y fructosanos. Las proteínas son el principal compuesto nitrogenado de las plantas; su contenido es elevado cuando éstas son jóvenes y desciende a medida que la misma madura. Las vitaminas son de gran importancia ya que los vegetales tienen la capacidad de sintetizar todas las vitaminas necesarias para su metabolismo, mientras que los animales no tienen esa capacidad y dependen del aporte exógeno. En la figura 2.1 se muestra la composición de los alimentos.



Figura 2.1. Composición de los alimentos (monografias.com)

Digestibilidad

La digestibilidad de todos los forrajes está dada en función de la composición celular y, más precisamente, de la composición química de cada forraje en estudio. Todas las células vegetales están constituidas por una fracción correspondiente al contenido celular y otra a la pared celular. La digestibilidad casi total la posee el contenido celular, con un promedio del 98%. La pared celular posee una digestibilidad muy variable, está en función de la proporción en que se encuentren sus componentes: hemicelulosa, celulosa y

lignina. Estos tres elementos químicos constituyen en conjunto la fibra vegetal, y es su cantidad como su calidad lo que más afecta la digestibilidad.

Existen diversos métodos para analizar los alimentos, uno de ellos es el de Van Soest (1986), este análisis separan el contenido celular de la pared celular, y se divide en tres fracciones: fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y lignina en detergente ácido.

A mayor cantidad de fibra y menor calidad de la misma, menor será la digestibilidad del forraje, ya que ésta estará dada en función de la cantidad y calidad de la fibra que contiene. Comúnmente si el contenido de FDN (pared celular) de un forraje es mayor la digestibilidad será menor. La digestibilidad de la pared celular depende del grado de lignificación de la misma, es por eso que no siempre es a mayor FDN menor digestibilidad. Por lo que la digestibilidad de un forraje estará determinada por la cantidad de FDA y de LDA que posea. A mayor fibra en detergente ácido y a mayor lignina, menor será la digestibilidad del material.

Una fibra de calidad, con contenido bajo en porcentaje de FDA y LDA será mas aprovechable para el animal y mas beneficioso para la producción.

Determinación de Las Fracciones de Fibra

En los laboratorios de bromatología constantemente se realizan análisis e investigaciones sobre la nutrición y la alimentación animal que nos ayudan a la eficacia del manejo de los forrajes. Los métodos analíticos son muy importantes en investigaciones de nutrición, puesto que constituyen la base para la interpretación de datos, y en consecuencia existen numerosas técnicas para evaluar y determinar componentes de un forraje. La selección de un método dependerá de las necesidades del investigador y del producto analizado

según su composición teórica, ya que esto puede restringir avances científicos si los métodos no son confiables y significativos.

Como se ha venido mencionando sobre la composición de los alimentos, en la alimentación para ganado, fibra se refiere a las paredes celulares de las plantas, y está establecido que la degradación de los forrajes por los animales depende de la conformación de la pared celular de las plantas. La fibra es muy importante ya que representa la porción orgánica de los alimentos vegetales que es más difícil de digerir; las fracciones de alimentos que no son fibra son fáciles y casi completamente digeridas por la mayoría de las especies animales.

Las muestras que se analizan en estos laboratorios se toman simulando al animal cuando recoge la hierba se hace utilizando la mano y jalando hacia arriba arrancando la porción superior del manojito de pasto entre la mano. En caso de forraje picado o de otro tipo de subproducto o vegetación, lo adecuado es sacar una muestra respectiva de lo que los animales van a comer. Debe colocarse en una bolsa plástica, preferentemente como mínimo de 500 gramos del forraje, cerrándose de manera que se evite la contaminación para evitar que afecte la composición química del forraje. Cuando la muestra no se lleva al laboratorio de inmediato, se debe colocar en un refrigerador a 4 grados centígrados, máximo tres días. Es de gran importancia que la muestra lleve la información adecuada para evitar confusión con otras muestras tomadas en ese momento.

Análisis de fibras

Las técnicas analíticas utilizadas para realizar esta valoración son las ideadas, si bien con algunas modificaciones, por Henneberg y Stohmen en la Estación Agronómica de Wendee en el año 1860 basadas en la separación de los constituyentes por sus caracteres de solubilidad o insolubilidad en diversos reactivos obteniendo de esta forma los siguientes principios brutos: proteína

bruta, grasa bruta, fibra bruta, cenizas brutas y extractivos libres de nitrógeno entre ellos, y por ser la mas convencional merece especial atención la determinación de fibra bruta.

En los años 60's el Van Soest desarrollo una metodología de análisis para forrajes que al paso del tiempo demostró ser más precisa en la determinación de fibra cruda que el esquema de Wendee. El objetivo del método de Van Soest es el mejoramiento de alternativas para determinar la fracción de fibra de los forrajes utilizados para la alimentación animal.

Sean realizado distintos análisis comparativos, para determinar las principales diferencias cualitativas y cuantitativas entre la fibra bruta del método de Wendee y la fibra detergente ácido de Van Soest. De donde se deducen las siguientes conclusiones:

- a) Los valores de fibra ácido-detergente fueron siempre más elevados que los correspondientes de la fibra bruta determinada por el método de Wendee.
- b) La retención de la lignina fue casi total en el caso de la fibra ácido-detergente, mientras que en la fibra bruta de Wendee las perdidas fueron superiores al 60%.
- c) Las perdidas de celulosa, en relación al contenido en la materia original, fueron muy similares en las fibras determinadas por ambos métodos.

Determinación de fibra cruda (FC)

Se determina por Método modificado de Wendee la A. O. A. C. (1990), hidrólisis acida con $S_0_4H_2$ al 1,25 por 100 durante 30 minutos en ebullición, seguida de hidrólisis alcalina con NaOH al 1,25 por 100 durante el mismo tiempo. Filtrar, lavar el residuo con agua destilada y después con acetona.

Secar en estufa y pesar. Incinerar y pesar de nuevo para hallar la diferencia entre ambas pesadas.

Determinación de fibra detergente neutro (FDN)

Es la fibra que queda luego de hervir al forraje en una solución de detergente neutro (lauril sulfato de sodio y ácido etilendiamionotetraacético, EDTA). Todo el contenido celular es disuelto y queda lo correspondiente a la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). El contenido de FDN se expresa en el total de la materia seca.

Determinación de fibra detergente ácido (FDA)

Es la fibra que queda luego de someter el forraje a una solución de detergente ácido (ácido sulfúrico y bromuro de cetiltrimetilamonio). En este proceso se extrae la hemicelulosa, de tal forma que la fibra restante estará constituida por celulosa y lignina. Al igual que el FDN, los resultados se expresarán en porcentaje de la materia seca evaluada.

Lignina en detergente ácido (LDA)

La lignina es un polímero sin una estructura definida, que contiene alcoholes, ácidos fenólicos y compuestos no fenólicos. La lignina limita la digestión de la fibra y la proteína, su acción negativa consiste en reducir el acceso en las enzimas hidrolíticas a la fibra digestible y a la proteína ligada a la fibra. El método de estimación de lignina más conocido es el de la digestión de ácido sulfúrico concentrado (72%). Debido a la relación aparente con la digestibilidad o la indigestibilidad de ese alimento se conoce el valor de la concentración de lignina de un alimento.

Composición de La Pared Celular

Las células vegetales tienen una gran característica que es la de tener pared celular. Mantener la forma, actuar como reserva de carbono y proteger de las agresiones externas actuando como filtro, son las funciones que cumple. La velocidad y dirección de crecimiento se determina en base a que la pared celular se extiende en respuesta a un programa genético.

La pared celular vegetal tiene tres partes fundamentales.

Pared celular primaria: durante el crecimiento de la célula es la que se va depositando, proporcionando estabilidad y además es extensible para permitir la expansión de la célula sin que se rompa la turgencia. Está constituido por polisacáridos (celulosa, hemicelulosas y pectinas) y por glicoproteínas estructurales.

Pared celular secundaria: esta es depositada una vez finalizado el crecimiento y dota de más estabilidad. Se caracteriza por la presencia de lignina y suberina. Está solo en algunos tipos celulares.

Laminilla media: es el lugar que une las paredes primarias de dos células contiguas; es de naturaleza péptica, pero constantemente, en células viejas se lignifica.

La composición de la pared celular vegetal varía en los diferentes tipos celulares y en los distintos grupos taxonómicos. En términos generales la pared celular está compuesta por una red de carbohidratos, fosfolípidos y proteínas estructurales embebidos en una matriz gelatinosa compuesta por otros carbohidratos y proteínas.

Carbohidratos

Celulosa: principal componente de la pared celular vegetal. Es un polisacárido fibrilar que se organiza en micro fibrillas, formado por cadenas de β -1, 4-glucosa y representa el 70% del peso seco de la pared.

Hemicelulosa: micro fibrillas de celulosa se encuentran atadas por carbohidratos no fibrilares. Los componentes mayores de la hemicelulosas son xiloglicanos glucuronarabinosilanos.

Proteínas

Proteínas estructurales: también componen la pared celular. Proteínas ricas en uno o dos aminoácidos, tienen dominios con secuencias repetidas y están glicosiladas en mayor o menor grado. Se sabe que estas proteínas se acumulan en la pared en diferentes etapas del desarrollo y en respuesta a diferentes condiciones de estrés.

Se consideran estructurales de la pared celular vegetal: extensinas o proteínas ricas en hidroxiprolina (HRGPs), proteínas ricas en prolina (PRPs), proteínas ricas en glicina (GRPs) y arabinogalactanas (AGPs).

En la pared celular se incluyen a la red de los polisacáridos y proteínas, enzimas relacionadas con la producción de nutrientes, el metabolismo, la defensa de la pared y transporte.

Investigaciones Relacionadas con La Fibra del Nopal.

Existen diversas investigaciones sobre el nopal, donde el análisis bromatológico es fundamental para la comparación y valoración de diversas especies de *Opuntia* para el consumo humano tanto para sus usos como forraje para el ganado, en seguida se mencionan algunas:

Vázquez *et al.* 2010, evaluaron la productividad y la calidad forrajera bajo las mismas condiciones de manejo de tres variedades de nopal mejorado (COPENA F1, COPENA CE2, Forrajero Liso) y de tres criollos (Forrajero Mina, Criollo Vallecillo y Nopal Tapón). Las variables estudiadas fueron: Materia seca (MS), Cenizas (C), Proteína cruda (PC), Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), distintos minerales y otros factores como número de brotes. Obteniendo como resultados en FDN y FDA valores con muy poca variabilidad entre las seis especies. Los cladodios de Forrajero Liso, COPENA F1, COPENA CE2, Forrajero Mina y Nopal Tapón se obtuvieron del Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomía de la UANL.

Cardeiro y Gonzaga, (2003), analizaron la *Opuntia* como forraje en el Noreste semiárido de Brasil, tomando en cuenta que este vegetal es cultivado por esta región, desglosan los factores más importantes para fundamentar su trabajo, estos factores son; los sistemas de producción ganadera, densidad de plantación, manejo del cultivo, preparación del suelo, altura de corte, limitantes ambientales, plagas y enfermedades, control de maleza, evaluación económica y el estudio del valor nutritivo de la *Opuntia* para hacer la comparación entre las tres especies más cultivadas en el Noreste semiárido de Brasil que son el Nopal Gigante, Nopal Redonda y Nopal Miúda. Además compararon estas especies de *Opuntia* con el sorgo y un concentrado.

Nefzaoqui y Ben, (2003), mencionan en su trabajo la búsqueda de nuevas herramientas y alternativas de parte de la mayoría de las poblaciones de WANA para aumentar su productividad en el ganado. Lo que lleva a estudiar especies vegetales apropiadas para cultivarse en zonas áridas, dentro de estos cultivos entra el nopal, ya que cumple con muchos de los requerimientos para ser cultivado en estas zonas. Analizando su composición química determinaron que por el contenido de nutrientes de *Opuntia* se puede usar en la alimentación animal.

Ramírez *et al.* 2007, tiene como objetivo en la presente investigación evaluar las especies de nopal (*Nopalea cochenillifera*, *O. robusta* spp. *larreyi*, *O. undulata* x *O. tomentosa* y *O. ficus-indica*) y del estado de crecimiento en cuatro etapas (nopal tierno –EC1- a cladodio ya desarrollado –EC4-) sobre los valores en porcentajes de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA) y cenizas. Utilizando un arreglo factorial de 4x4 con cuatro repeticiones de un diseño de bloques al azar. El experimento fue instalado en un invernadero, y los cladodios del nopal se plantaron en un sistema de hidropónico de cultivo en grava. El invernadero se localiza en la Comunidad San José de la Peña, Municipio de Villa de Guadalupe, S. L. P. México.

Vázquez *et al.* 2007, analiza el ecosistema y clima de la región del estado de Nuevo León, toma en cuenta las demandas de los forrajes en temporada de sequia para promover el uso como alimento para ganado las especies de *Opuntia* mas abundantes en la región Noreste de México, compara las especies silvestres con especies forrajeras mejoradas de nopal cultivadas en distintos municipios del mismo estado. Basado en los análisis bromatológicos de las especies; *O. rastrera*, *O. cantabrigensis*, *O. lindheimeri*, *O. robusta* y *O. ficus-indica* var. amarillo oro, indica que las diferencias entre estos análisis se asocian a la variación entre especies como: factores fisiológicos, factores endógenos y ambientales.

Guerrero *et al.* 2010, determinan la composición química, tasa y digestibilidad de proteína cruda (PC), energía metabolizable (EM), proteína metabolizable (PM), de 2 arbóreas, 11 arbustivas, 4 herbáceas, 3 cactáceas, 8 flores, frutos y vainas, que consumen las cabras, ovejas y venado cola blanca en agostadero. Las especies fueron tomadas de los municipios del estado de Durango, México: Durango, Guadalupe Victoria, Peñón Blanco y Cuencamé, se recolectaron follajes de las diferentes especies y cladodios inmaduros de: *O. imbricata*, *O. leptocaulis* y *O. leucotricha*, las cuales son de importancia mencionar para nuestro trabajo ya que se determino mediante el análisis bromatológico: FDN, lignina, hemicelulosa y celulosa de las cactáceas.

Rosaldo, (1986), en su investigación hace el análisis bromatológico del nopal (*Opuntia* spp.) var. espinoso y var. sin espinas (inermes), este trabajo se realizó en el Municipio de Adalberto Tejeda, Veracruz. Se recolectaron 4 cladodios de cada variedad y se tomaron 50 muestras, 25 para la variedad espinosa y 25 para inermes, el método utilizado fue mediante el análisis proximal, con la finalidad de conocer el valor nutricional del nopal y hacer dietas balanceadas incluyendo el nopal como ingrediente, ya que es muy utilizado por los ganaderos de estas regiones.

Flores *et al.* 2006, en este trabajo se presentan los antecedentes de uso del nopal en el mundo y se muestran los resultados de la evaluación de genotipos de nopal (*Opuntia* spp) Laguna-Chihuahua en México destacando el genotipo VEZA 11 Y VEZA 1 en ambos sitios.

Gutiérrez, (2012). El objetivo del presente trabajo fue la identificación y caracterización de los compuestos de calcio presentes en las diferentes fracciones de nopal, fracciones insolubles y fracciones solubles de la variedad *Opuntia ficus-indica* de 100 días de maduración y de peso aproximado de 400g. Se deshidrataron pequeños trozos de nopal a 70 °C. Se molieron y se realizó el

análisis químico proximal con la metodología de la A.O.A.C. (1990) Estas investigaciones se realizaron en diversos laboratorios con equipos necesarios para el desarrollo experimental: Facultad de Ciencias Naturales (UAQ) Querétaro, Qro., Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (UNNAM), Campus Juriquilla, Querétaro, Qro. y la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán (UNAM), Edo. de México.

Fuentes *et al.* 2003, tienen como objetivo en su investigación obtener el valor nutritivo de cuatro especies de nopal (*O. lindheimeri*, *O. rastrera*, *O. megacantha* y *O. lindheimeri* var, *subarmatha*), mediante la determinación de la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) y el análisis químico. El análisis proximal y la bolsa de nylon fueron el método utilizados en este trabajo. Se realizó un análisis de varianza de arreglo factorial. En los resultados de DISMS se mostraron rangos, encontrándose como media la especie *O. lindheimeri* seguida por *O. rastrera*, *O. lindheimeri* var *subarmatha* y *O. megacantha*. En cuanto a los resultados de análisis proximal de este trabajo, se encontraron valores de proteína entre 5-14%, extracto etéreo, entre 1.62-2.09% y fibra cruda entre 10.7-14.0%. Este trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N.) situada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, a 8 km de dicha ciudad. Las especies evaluadas se encuentran en el campo experimental del Bajío en la UAAAN, y fueron identificadas por el departamento de Botánica de dicha institución. Para proceder con la evaluación, el nopal fue clasificado por especies, siendo considerada ésta como un tratamiento, el material se seco a 60 °C por 48 hrs, se molieron las muestras en un molino con criba y se destinaron muestras para su debida evaluación.

Reveles y Flores (2010), mencionan en su trabajo que el nopal se ha usado con éxito en la producción de carne en ganado para disminuir los costos en un 48 a 65% cuando se incluye en las dietas. Señala que el contenido de nutrientes que aporta el nopal al ganado depende de la especie, la variedad, así como el manejo que se da a la planta en condiciones cultivadas. Basándose a

los análisis bromatológicos de géneros, especies y variedades de nopal de otros autores como: Palomo 1963, Bauer y Flores, 1969, Griffiths y Hare, 1906, compara el análisis proximal y nutrimental que realizó en pencas deshidratadas de nopal (*Opuntia ficus indica* var. COPENA F1) en plantas cultivadas con densidad de población de 40,000 plantas por hectárea en una huerta de cinco años de edad en la región de Las Auras de Calera, Zacatecas, manejada en condiciones de temporal los últimos tres años, además encontraron que pencas de 8 a 10 meses de edad dieron un rendimiento de harina de nopal de 0.09 a 0.12 por unidades de peso.

Relevés y Flores, (2010), presentan otro trabajo en donde señalan las ventajas que tiene el nopal como forraje, mencionando su gran diversidad genética su adaptación a condiciones de clima y suelo muy variables. Muestran los datos de cantidad de materia seca producidas en las plantaciones de nopal, además de comparar los diferentes valores nutrimentales de diferentes especies de *O. ficus indica* producidas en Calera, Zacatecas.

Insuasty *et al.*, 2013, en su trabajo recolectaron información básica y se evidenciaron especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero para el diseño y la implementación de sistemas silvopastoriles. Se caracterizaron los aspectos nutricionales y fenológicos a las especies arbóreas y arbustivas. La metodología se basó en la consulta bibliográfica de las especies estudiadas, la identificación y clasificación en campo, mediante claves y los herbarios PSO de la Universidad de Nariño y la Universidad de Cauca, Colombia, así mismos se realizaron análisis bromatológicos y de sustancias nutricionales en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Nariño. La investigación se realizó en las fincas Gloria Inés (180 ha), ubicada en el corregimiento de El Remolino, Municipio de Mercaderes, Departamento del Cauca, y la Hacienda Versailles, Municipio de Patía (100 ha), esta región tiene un clima seco tropical con temperaturas de entre 27 °C y 35 °C y precipitaciones entre 600 y 1250 mm/año.

Martínez, (2009), cuantifica la colonización micorrizica comercial y nativa en maguey y nopal, teniendo como objetivos observar los posibles cambios en el contenido de la materia orgánica y fracciones húmicas del suelo del volumen radical, además de evaluar la calidad forrajera del maguey y el nopal. Para la cuantificación micorrízica se uso la metodología descrita por Giovannetti y Mosse, (1980). El contenido de materia orgánica fue estimada por la metodología de Walkley y Black (1934) y las fracciones de sustancia húmicas por una modificación de la técnica desarrollada por López (2002). Finalmente, la producción y calidad forrajera se evaluó mediante la cuantificación del incremento de peso seco y el contenido de nitrógeno (A.O.A.C., 1990), fibra detergente neutra (Van Soest *et al.*, 1991), calcio y fósforo (Fick *et al.*, 1976). La colonización micorrízica fue analizada estadísticamente como un diseño completamente al azar bajo un arreglo factorial, mientras que la producción y calidad forrajera se analizó mediante un diseño de bloques al azar bajo arreglo factorial y el comportamiento de la materia orgánica y sus fracciones húmicas bajo un diseño completamente al azar en localidades. Este trabajo se realizo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Marín N.L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El material utilizado para este trabajo fue colectado en el Ejido “Las Mangas” localizado al sur de Saltillo, Coahuila. Su clima predominante es seco semicálido, con una temperatura media anual de 14°C a 18°C. A una altitud media de 1,933 m.s.n.m. (INEGI, 2010).

Colecta de las Muestras

El material biológico fue seleccionado sobre la base de las variedades del género *Opuntia* mayormente distribuidas y más utilizadas como forraje por los ganaderos del Municipio de Saltillo. Las especies que fueron utilizadas (Figuras 3.1 a 3.5) 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 de cada especie a las cuales se les cortaron pencas (cladodios) cada dos semanas durante los meses de Junio y Julio. Se picaron en trozos para secarse parcialmente en estufa a 65 ° C. Las muestras de cada planta se agruparon, de manera que se tuvieron tres repeticiones de cada especie. Fueron molidas para posteriormente ser analizadas en el laboratorio.



Figura 3.1. *Opuntia imbricata*.



Figura 3.2. *Opuntia ficus-indica*.



Figura 3.3. *Opuntia cantabrigensis*.

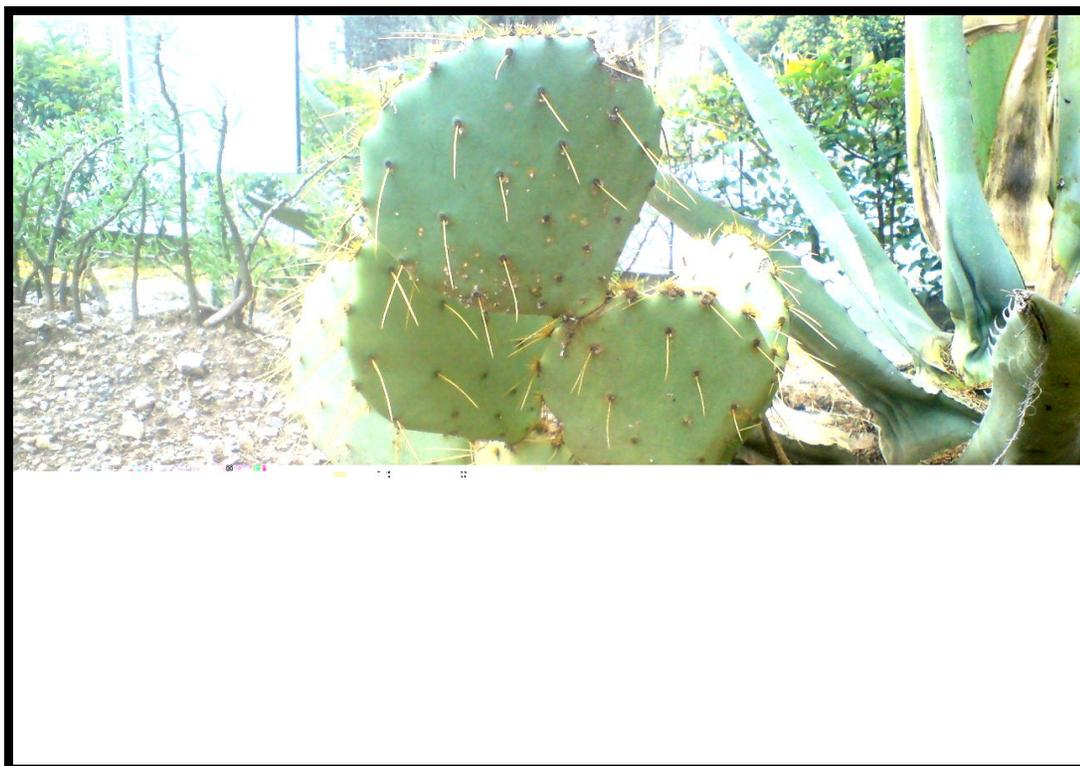


Figura 3.4. *Opuntia lindheimeri* var. *tricolor*



Figura 3.5. *Opuntia lindheimeri* var. *subarmata*.

Análisis de las Muestras

El análisis de las fracciones de fibra se realizó en el laboratorio de Nutrición, del Departamento de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Municipio de Saltillo, Coahuila. Los cuales se encuentran 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 con un tipo de clima designado BWhw (x') (e); clima muy seco, semicálido, con invierno fresco y extremoso con lluvias de verano y precipitación invernal superior de 10% del total anual. Con humedad relativa que alcanza el 80% en los meses lluviosos y el 30% en los periodos seco, como promedio (Mendoza, 1983).

Procedimiento Experimental

Para la extracción de FC se utilizó la técnica de Weende (1990), donde se determina el residuo que persiste después de dos hidrólisis sucesivas, una ácida y otra alcalina. Simulando el ataque gástrico e intestinal que se produce *in vivo* en el animal. En esta técnica se utiliza digestor de laboratorio, vasos berzelius de 600 ml., ácido sulfúrico 0.255 N., Hidróxido de sodio 0.313 N., agua destilada y embudos de vidrio. El porcentaje de FC se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%FC = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{Muestra seca} - \text{Peso de crisol} + \text{Cenizas})}{\text{gramos de muestra desengrasada}} \times 100.$$

La extracción de FDN se realizó con la técnica de Van Soest (1986) este método consiste en hervir a reflujo con una solución neutra una muestra de alimento, secado a una temperatura inferior a los 55 °C. Al residuo obtenido se le llama pared celular, si proviene de un material vegetal y si es de un material no vegetal se le denomina fibra detergente neutro. El detergente debe de ser neutro para evitar que algunos compuestos que pertenecen a la fibra sean disueltos, como sucede con la hemicelulosa, la cual se disuelve a un pH ácido y la lignina se disuelve a pH alcalino. Con este método se obtiene una fracción soluble, la cual es casi completamente digestible para los animales. Lo cual es muy importante por que las características de solubilidad en el detergente neutro coincide con la alta disponibilidad nutritiva.

En este método se utiliza vaso de berzelius de 600 ml., crisol de vidrio con filtro poroso filtración rápida, equipo para filtrar con vacío (matraz kitazato, embudo de porcelana, bomba de vacío), balanza analítica, aparato de reflujo, solución detergente neutro (lauril sulfato de sodio y ácido etilendiamionotetraacético, EDTA), acetona y solución de yodo. La FDN se calcula:

F.D.N.= (peso de crisol mas fibra – peso de crisol solo/ grs. de muestra)x 100.

Al igual que la FDN la determinación de FDA se realizó mediante la técnica de Van Soest, este procedimiento permite una rápida determinación de la lignocelulosa en los alimentos. Sin embargo, en esta fracción aparece el Sílice. La diferencia entre el valor de la pared celular y la fibra de ácido detergente da una estimación del valor de la hemicelulosa ya que en esta diferencia se incluye una fracción de proteína adherida a las paredes celulares. Este método también se emplea como paso preliminar de la determinación de lignina. El material utilizado en este método es: aparato de reflujo, vaso de berzelius de 600 ml., crisol de vidrio capa porosa, balanza analítica, equipo para filtrar al vacío (matraz kitazato, embudo de porcelana, bomba de vacío), solución ácido detergente (ácido sulfúrico 1N estandarizado, agregué 20 g de trimetil cetil bromuro de amonio por litro de solución), decahidronaftaleno, acetona grado reactivo y hexano grado reactivo. La FDA se calcula:

%FDA= (peso de crisol con fibra – peso de crisol solo/ grs. Muestra) x 100.

La determinación de Lignina y Celulosa se llevo a cabo por la técnica con la cual se determina FDA ya que esta compuesta principalmente por lignina, celulosa y minerales insolubles. La lignina se oxida con una solución de ácido acético amortiguada con permanganato de potasio conteniendo hierro trivalente y plata monovalente como catalíticos. Los óxidos de manganeso y hierro que se depositan, se disuelven con una solución alcohólica de ácido oxálico y HC1, permaneciendo la celulosa y minerales insolubles, el contenido de lignina se determina en base a la pérdida de peso de la muestra, ocasionado por los tratamientos a la que se somete, mientras que la celulosa se determina en base a la pérdida de peso de la muestra al ser incinerada. El residuo de cenizas consiste principalmente de sílice y gran parte del material no sílicado residual, puede eliminarse por medio del lavado con HBr concentrado. El equipo utilizado es igual al que se usa en la determinación de FDA solo que los

reactivos son KMnO₄ saturado, solución buffer de lignina, solución KMnO₄ combinada, solución desmineralizadora, alcohol etílico al 80%, agua destilada y HBr grado reactivo. Los cálculos son:

% de Lignina= (peso de la FDA – peso de la fibra x KMnO₄/ peso original de la muestra) x 100.

% Celulosa= (crisol+ residuo de fibra KMnO₄ – crisol+ cenizas (muflas)/peso de la muestra original) x 100.

Le Hemicelulosa se determinó mediante la diferencia entre el % de FDN y FDA. El cálculo es:

$$\% \text{ HC} = \% \text{ FDN} - \% \text{ FDA}$$

Análisis Estadístico

Los resultados de las diferentes fracciones de fibra estudiados, fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (especie del genero *Opuntia*) y tres repeticiones (plantas). Se utilizó para ello el programa estadístico de la UANL. Se realizaron pruebas de Tukey para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para fibra cruda (FC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HC), celulosa (CEL) y lignina (LIG), se presentan en el cuadro 4.1. observándose diferencias estadísticamente diferentes para todas las variables estudiadas ($P < 0.05$).

Cuadro 4.1. Fracciones de fibra (%) de algunas especies del género *Opuntia* Cosechadas en el Ejido “Las Mangas”, Saltillo, Coahuila.

Fracción	<i>O. ficus indica</i>	<i>O. imbricata</i>	<i>O. cantabrigensis</i>	<i>O. lindheimeri</i>		\bar{X}
				Subarmata	Tricolor	
FC	10.43 c	15.39 b	17.99 a	15.43 b	17.26 a	15.30
FDN	32.64 b	57.98 a	26.06 c	59.82 a	26.60 c	40.62
FDA	23.25 b	27.32 a	15.71 c	29.91 a	14.97 c	22.23
HC	17.98 b	19.87 a	16.85 b	21.20 a	13.21 c	17.82
CEL	4.21 c	7.91 a	6.09 b	8.75 a	5.79 b	6.55
LIG	2.71 c	6.73 a	5.01 b	7.09 a	4.52 b	5.21

*Medias con diferente literal en la misma hilera difieren significativamente ($P < 0.05$). FC=fibra cruda, FDN= fibra en detergente neutro, FDA = fibra en detergente ácido, HC = hemicelulosa, CEL = celulosa, LIG = lignina.

La media general de **FC** para las especies estudiadas fue de 15.30 %. Las especies con mayor contenido son *O. cantabrigensis* y *O. lindheimeri* var. tricolor (\bar{x} =17.63 %), seguidas de *O. imbricata*, y *O. lindheimeri* var. subarmata (\bar{x} =15.41 %), mientras que la especie con menor contenido fue *O. ficus indica* (10.43 %). Valores muy semejantes a éstos (9.53 %), fueron obtenidos para *O. ficus indica*, por Cordeiro y Gonzaga (2003) y por Releves y Flores (2010) con valores desde 9.57 hasta 11.54 %. Sin embargo, también se han reportado valores superiores a los observados en el presente estudio con porcentajes de 18.00 (Gutiérrez, 2012) y de 19.80 (Insuasty *et al.*, 2013). Así mismo, valores

inferiores a los nuestros fueron observados por Vázquez *et al.* (2007) y Cordeiro y Gonzaga (2003), con medias de 7.69 y 5.14 %, respectivamente. Para el caso de *O. cantabrigensis*, Vazquez *et al.* (2007), valores de 3.71 % mismos que están muy por debajo de los observados en el presente trabajo. Estos mismos autores reportaron un 3.02 % para *O. lindheimeri*, también bastante bajo en relación a nuestro resultado, sin embargo, Fuentes *et al.* (2003) observaron un valor de 14.07 % para *O. lindheimeri* var. *subarmata*, muy semejante al nuestro.

En cuanto a la **FDN**, la media general para las especies estudiadas fue de 40.62 %, muy semejante a la media (42.67 %) obtenida por Guerrero *et al.* (2010) y ligeramente superior a los valores de 36.80 y 34.14 % reportados (respectivamente) por Flores *et al.* (2006) y Nefzaoqui y Ben (2003). Las especies con mayor contenido son *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* ($\bar{x}=58.90$ %), seguidas de *O. ficus indica* (32.64 %), mientras que las especies con menor contenido son *O. cantabrigensis* y *O. lindheimeri* var. *tricolor* ($\bar{x}=26.33$ %). Vázquez *et al.* (2010) trabajando con distintas variedades de *O. ficus indica*, obtuvieron una media de 28.36 %, valor muy cercano al obtenido en el presente estudio. Así mismo Ramírez *et al.* (2007) reportaron un 34.4 % para la misma especie, mientras que Martínez (2009) reportó un valor superior al nuestro para la mencionada especie (42.12 %). En relación al valor observado en el presente trabajo para la especie *O. imbricata* (57.98 %), Guerrero *et al.* (2010) reportaron una media de 49.00%.

Para la **FDA**, la media general de las especies estudiadas fue de 22.23 %. Valores más bajos en relación a éste fueron observados por Vázquez *et al.* (2010), Nefzaoqui y Ben (2003) y Ramírez *et al.* (2007), con medias de 14.77, 15.89 y 13.60 %; respectivamente. Las especies con mayor contenido son *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* y ($\bar{x}=28.62$ %), seguidas de *O. ficus indica* (23.25 %), mientras que las especies con menor contenido son *O. cantabrigensis* y *O. lindheimeri* var. *tricolor* ($\bar{x}=15.34$ %).

Por otro lado, la media general de **HC** para las especies estudiadas fue de 17.82 %, valor inferior al reportado por Guerrero *et al.* (2010) como promedio de varias especies del género *Opuntia* (30.00 %). Las especies con mayor contenido son *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* ($\bar{x}=20.54$ %), seguidas de *O. ficus indica* y *O. cantabrigensis* ($\bar{x}=17.42$ %), mientras que la especie con menor contenido fue *O. lindheimeri* var. *tricolor* ($\bar{x}=13.21$ %). Cabe señalar que la especie que mayor valor de **HC** obtuvo en el presente estudio (*O. imbricata*) resulta muy inferior al valor de 38.00 %, reportado por Guerrero *et al.* (2010).

La **CEL** presentó una media general de 6.55 % para las especies estudiadas, valor ligeramente bajo en comparación con la media de 10.67 % obtenida por Guerrero *et al.* (2010). Las especies con mayor contenido fueron *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* ($\bar{x}=8.33$ %), seguidas de *O. cantabrigensis* y *O. lindheimeri* var. *tricolor* ($\bar{x}=5.94$ %), mientras que la especie con menor contenido fue *O. ficus indica* ($\bar{x}=4.21$ %).

Finalmente, para el caso de la **LIG** se presentó una media general de 5.21 %, valor superior a los reportados por Nefzaoui y Ben (2003) y Guerrero *et al.* (2010) con medias de 3.88 y 1.67 % (respectivamente). Las especies con mayor contenido fueron *O. imbricata* y *O. lindheimeri* var. *subarmata* ($\bar{x}=6.91$ %), seguidas de *O. cantabrigensis* y *O. lindheimeri* var. *tricolor* ($\bar{x}=4.77$ %), mientras que la especie con menor contenido fue *O. ficus indica* ($\bar{x}=2.71$ %).

CONCLUSIONES

En el estudio realizado para determinar las fracciones de fibra de las 4 especies analizadas encontramos que la *O. ficus indica* es la especie con mejor perfil en el noreste del estado de Coahuila por lo que se recomienda a los ganaderos el uso de esta especie. No descartando el uso de las especies restantes ya que en épocas de invierno o de sequias estas cubren los requerimientos de mantenimiento de algunos rumiantes.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1990, Official Methods of Analysis, 15 th. Edition. U.S.A.
- Bassi T., 2004, Conceptos Básicos sobre la Calidad de los Forrajes, Laboratorio NIRS, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Beale I., 2013, Penca Forrajera o Tunal Forrajero: (*Opuntia ficus indica*), Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias-UNCa, revista N° 38, ISSN: 1852- 7086.
- Blanco G., 1958, El Nopal como Forraje para el Ganado en Zonas Áridas, Comercio Exterior, pp. 268-271.
- Borrego F. y Burgos N., 1986, El Nopal, UAAAN, agosto, pag. 3-22.
- Bravo H. 1978, Las Cactáceas de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 1.
- Cordeiro D y Gonzaga S., 2003, *Opuntia* como forraje en el noreste semiárido del Brasil, Deposito de Documentos de la FAO, Departamento de Agricultura.
- Flores A., Acosta G. F., Murillo B., Trejo R. y Arreola J. G., 2006, Evaluación Preliminar De La Reserva De Nopal (*Opuntia* Spp) En La Región Laguna-Chihuahua, Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 5:191-196.
- Fuentes J., Jiménez L., Suarez L., Torres M., Murillo Ma., López J. y Ortiz B., 2003, Evaluación Nutricional de Cuatro Especies de Nopal (*Opuntia* spp) Forrajero, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. CP 25080. SEP: ITA N° 2. Condal, Yucatán, México.
- Guerrero M., Juárez A., Ramírez R., Montoya R., Murillo M., La O O. y Cerillo M., 2010, Composición Química y Degradabilidad de la Proteína de Forrajes Nativos de la Región Semiárida del Norte de México, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 44, núm. 2, pp. 147-154, Instituto de Ciencia Animal Cuba.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Censo de Población y Vivienda. Principales resultados por localidad (ITER).

- Insuasty E., Apráez E. y Gálvez A, 2013, Caracterización Botánica, Nutricional y Fenológica de especies Arbóreas y arbustivas de Bosque muy Seco Tropical, Revista Ciencia Animal, Bogotá, Colombia, N° 6, pp. 109-124.
- Linnaeus C., 1753, *Species Platarum*, Missouri Botanical Garden, Tomus 1.
- Mejía J., 2002, Consumo Voluntario de Forraje por Rumiantes en Pastoreo, Acta Universitaria, vol. 2, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 56-63, Universidad de Guanajuato México.
- Ramírez T., 2007, Efecto de la Especie y la Madurez Sobre el Contenido de Nutrientes de Cladodios de Nopal, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Agriciencia 41: 619-626.
- Reveles M. y Flores M., 2010, El manejo del Nopal Forrajero en la Producción de Ganado, Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, RESPYN Revista Salud Publica y Nutrición, Edición Especial, N° 5.
- Rosaldo P., 1986, Análisis Bromatológico del Nopal (*Opuntia* spp.) Recolectado en el Municipio de Adalberto Tejada, Veracruz, Tesis.
- Segura F., Echeverri R., Patiño A. y Mejía A., 2007, Descripción y Discusión Acerca de los Métodos de Análisis de Fibra y del Valor Nutricional de Forrajes y Alimentos para Animales, VITAE, Revista de la Facultad de química Farmacéutica, ISSN 0121-4004, vol. 4, núm. 1. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, págs. 72-81.
- Treviño J. y Arosemena G., 1971, Determinación de la fracción de fibra de los forrajes, Instituto de Alimentación y Productividad Animal del C. S. I. C.
- Van Soest P, Robertson J and Lewis B. 1991 Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597.
- Van Soest, P. J., Wine, R. H., 1986, "Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate". J Assoc Off Anal Chem, 51:780-785.
- Vázquez R., Gutiérrez E. y Morales H., 2010, Evaluación de La Productividad y Caracterización de Tres Variedades de Nopal Mejorado y Tres Criollos, RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial N° 5.

Vázquez R., Valdez R., Gutiérrez E. y Blanco F., 2007, Caracterización e Identificación de Nopal Forrajero en el Noreste de México, Memorias del VI Simposium Taller de Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México, 7 y 8 de diciembre, Marín, N. L. México.