

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**CALIDAD NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL NOPAL (*Opuntia rastrera*) Y MAGUEY (*Agave salmiana otto*).**

**POR:**

**Giovanni Octavio Aparicio Gómez**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre del 2016.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**CALIDAD NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL NOPAL (*Opuntia rastrera*)  
Y MAGUEY (*Agave salmiana otto*).**

**POR:  
Giovanni Octavio Aparicio Gómez**

**TESIS  
Que se somete a la consideración de H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el  
título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**PRESIDENTE DEL JURADO**



**Ph. D. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez**

**SINODAL**

**Dr. Fernando Ruiz Zárate**

**SINODAL**

**Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA  
ANIMAL**

**Dr. José Dueñez Alanís**



**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Noviembre del 2016.**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir, dándome la fuerza, fortaleza, y Seguridad, manteniendo siempre la fe y el espíritu en cada tropiezo de mi vida. Gracias señor.*

*A la Virgencita de Guadalupe, por darme la vida e iluminar mi camino y por darme tanta fuerza de fe y esperanza para terminar mi carrera.*

*A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista, adquiriendo de ellas grandes conocimientos, que serán la base en mi vida profesional... Gracias "ALMA TERRA MATER".*

*Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez, por su gran desempeño como asesor, su apoyo, conocimientos y tiempo incondicional que me brindo durante la realización de este proyecto. Le doy los más sinceros agradecimientos.*

*Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez, por su apoyo, conocimientos y dedicación incondicional para llevar acabo la elaboración de este proyecto. Le doy los más sinceros agradecimientos.*

*Dr. Fernando Ruiz Zárate, por brindarme su apoyo, tiempo y conocimientos incondicionales para realizar este proyecto. Le doy los más sinceros agradecimientos.*

*A mis maestros, que en forma desinteresada me transmitieron sus conocimientos para mi formación.*

*A la L.C.N. Laura Maricela Lara López, por sus consejos, su paciencia, amistad y apoyo incondicional para realizar este proyecto.*

*Al T.L.Q. Carlos Arévalo Sanmiguel, por su amistad, apoyo y colaboración incondicional para llevar a cabo este proyecto.*

*A mis amigos, Ildéfonso García Aparicio, Rubiel de Jesús Aparicio Ochoa, Isel García Martínez, Alejandro García Martínez, Emilio Irene Martínez Sánchez, Julio Cesar Gómez Gómez, por haberme brindado su amistad incondicional durante la estancia en la universidad, siempre los tendré presente.*

## DEDICATORIAS

*Con todo cariño a mi madre Jorgelina Gómez Ramos, un pequeño tributo dedicado a usted principalmente y a todos sus esfuerzos por haberme dado la oportunidad de formarme como profesionista, sin importar los sacrificios que tuvo que hacer para lograr de mi lo que ahora soy. Depositando toda su confianza en mí, brindarme su apoyo, sus consejos y guiarme por el camino correcto en mi vida... Gracias mamá.*

*A mis abuelos: Amado Muñoa Vásquez y Asunción Ramos Moreno Quien con sus consejos, sabiduría, pero sobre todo su cariño me enseñaron a ser responsable, compartiendo lo poco o mucho que tenían sin esperar nada a cambio... Gracias.*

*A mis hermanos: Carlos Alfonso Gómez Ramos y Jonathan Aparicio Gómez. Por el apoyo incondicional que me brindaron, por sus palabras de aliento que impulsaron para seguir adelante... Gracias.*

*A mi cuñada: Adriana Méndez Flores. Por el apoyo que me brindó y sus palabras de aliento que impulsaron para seguir adelante... Gracias.*

*A mis tíos: Álvaro García Serrano y María Esther Aparicio Ochoa Que con alguna otra manera me enseñaron a tomar decisiones y ser responsable de cada acción o pasó de mi vida... Gracias.*

## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito **Giovanni Octavio Aparicio Gómez** estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 288936 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 la suscrita y redactada 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 manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo 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 para la presente 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.

Atentamente



**Giovanni Octavio Aparicio Gómez**

Nombre y Firma

Tesista de Licenciatura UAAAN

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>MANIFIESTO DE HONESTIDA CADÉMICA.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE GRAFICAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Antecedentes.....	2
Justificación.....	4
Hipótesis.....	4
Objetivo.....	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
Generalidades de la especie de <i>Opuntia</i> estudiada.....	5
Botánica.....	6
Taxonomía.....	6
Clasificación taxonómica.....	7
Características morfológicas.....	7
Raíz.....	8
Tallo.....	9
Hoja.....	9
Flor.....	9
Fruto.....	10
Generalidades del <i>Agave</i> .....	10
Origen.....	11
Botánica.....	11

Taxonomía .....	11
Clasificación Taxonómica .....	12
Características morfológicas .....	12
Raíz. ....	13
Hojas. ....	14
Espinass. ....	14
Inflorescencia. ....	14
Flores. ....	14
Ovario. ....	14
Tubo. ....	14
Tépalos. ....	14
Anteras. ....	15
Pistilos. ....	15
Fruto. ....	15
Semillas. ....	15
El Nopal y Maguey como forraje .....	15
Valor nutritivo de los forrajes .....	17
Digestibilidad.....	18
Formas de expresar la digestibilidad .....	19
Digestibilidad aparente y real .....	19
Determinación de la digestibilidad.....	20
Métodos para determinar la digestibilidad.....	21
Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	21
Digestibilidad <i>in vivo</i> .....	22
Digestibilidad <i>in situ</i> .....	22
Colección total de heces .....	24
Ventajas y desventajas .....	24
Factores que Determinan Variaciones de la Digestibilidad .....	25
Factores dependientes del animal .....	25
➤ Influencia de la especie.....	25

➤	Influencia del individuo.....	25
➤	Influencia de la edad.....	25
➤	Influencia del trabajo.....	25
	Factores dependientes del alimento .....	25
➤	Influencia en materia celulolítica.....	25
➤	Influencia de la asociación de los alimentos que componen la ración (caso de los rumiantes).....	26
➤	Influencia de la preparación de los alimentos.....	26
➤	Desmenuzamiento. ....	26
➤	Trituración.....	27
➤	Influencia del nivel de ingestión.....	27
	Otros factores.....	27
	Composición química .....	31
	El agua.....	32
	Los carbohidratos.....	33
	Carbohidratos estructurales.....	33
	Fibra cruda .....	34
	Fibra detergente ácido.....	34
	Fibra detergente neutra .....	34
	Carbohidratos no estructurales.....	35
	Carbohidratos solubles.....	36
	Almidón. ....	36
	Componentes nitrogenados.....	37
	Proteína. ....	37
	Nitrógeno no proteico. ....	38
	Lípidos. ....	38
	Triglicéridos.....	38
	Glicolípidos.....	39
	Minerales y vitaminas.....	40
	Alimento.....	41
	Clasificación de alimentos.....	41

Propiedades del alimento que impactan su consumo.....	43
Sapidez.....	43
Forma física de la dieta.....	43
Energía.....	44
Proteína.....	45
Fibra detergente neutra.....	45
Digestibilidad de los forrajes.....	46
Valor nutritivo del Nopal.....	47
Calidad del forraje.....	47
Relación nutricional de la planta con la edad.....	48
Contenido de minerales.....	48
Relación nutricional de la planta con la estacionalidad.....	48
Valor nutritivo del Maguey.....	52
Digestibilidad de la pared celular de los forrajes utilizados en la alimentación de los animales.....	55
Degradación de la pared celular de los forrajes.....	57
Los Microorganismos del rumen y su actividad sobre los Alimentos.....	58
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
Localización del área de estudio.....	60
Localización del área de trabajo.....	60
Material evaluado.....	60
Procedimiento.....	61
Material utilizado.....	62
Reactivos.....	62
Aparatos.....	62
Procedimiento experimental.....	63
Cálculos (Harris, <i>et al.</i> , 1968).....	63
Digestibilidad <i>In-Vitro</i> de la materia seca, % (DIVMS).....	64
Digestibilidad <i>In-Vitro</i> de la materia orgánica, % (DIVMO).....	64
Análisis estadístico.....	64

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
Caracterización bromatológica del Nopal.....	66
Evaluación nutricional de la variedad de <i>Opuntia</i> utilizada .....	66
Evaluación nutricional de la variedad de <i>Agave</i> utilizada .....	67
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica del Nopal .....	7
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación Taxonómica del Maguey.....	12
<b>Cuadro 3.</b> Composición general de los alimentos utilizados en la nutrición de rumiantes. ....	32
<b>Cuadro 4.</b> Biodisponibilidad de los componentes celulares.....	35
<b>Cuadro 5.</b> Estructura básica de los triglicéridos.....	39
<b>Cuadro 6.</b> Ácidos grasos comunes encontrados en el rumen. ....	40
<b>Cuadro 7.</b> Clasificación básica de los alimentos.....	42
<b>Cuadro 8.</b> Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de Nopal (por ciento en base a materia seca). ....	49
<b>Cuadro 9.</b> Análisis bromatológico de diferentes especies de Nopal porcentajes con base en materia seca. ....	50
<b>Cuadro 10.</b> Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de Nopal (materia seca, %). ....	52
<b>Cuadro 11.</b> Análisis bromatológico del Maguey ( <i>Agave asperima jacobi</i> ) base húmeda. ....	55
<b>Cuadro 12.</b> Análisis bromatológico del Maguey, por ciento de digestibilidad y total de nutrientes digestibles obtenidos. ....	55
<b>Cuadro 13.</b> Parámetros climáticos promedio de Arteaga.....	61
<b>Cuadro 14.</b> Contenido Nutricional de <i>Opuntia rastrera</i> .....	66
<b>Cuadro 15.</b> Contenido Nutricional de <i>Agave salmiana otto</i> .....	68
<b>Cuadro 16.</b> Relación tiempo y digestibilidad de <i>Opuntia rastrera</i> para cada localidad .....	69
<b>Cuadro 17.</b> Relación tiempo y digestibilidad de <i>Agave salmiana otto</i> para cada localidad.....	71
<b>Cuadro 18.</b> Cálculos de las fracciones de degradación <i>in vitro</i> para <i>Opuntia rastrera</i> (Arteaga) .....	75
<b>Cuadro 19.</b> Cálculos de las fracciones de degradación <i>in vitro</i> para <i>Opuntia rastrera</i> (Bella Unión).....	75
<b>Cuadro 20.</b> Cálculos de las fracciones de degradación <i>in vitro</i> para <i>Agave salmiana otto</i> (Arteaga).....	76
<b>Cuadro 21.</b> Cálculos de las fracciones de degradación <i>in vitro</i> para <i>Agave salmiana otto</i> (Bella unión).....	76

## ÍNDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 1.</b> Comparación de la composición química de <i>Opuntia rastrera</i> entre localidades .....	67
<b>Grafica 2.</b> Comparación de la composición química de <i>Agave salmiana</i> entre localidades.....	68
<b>Grafica 3.</b> Comparación de la composición química entre especies y localidades. ....	69
<b>Grafica 4.</b> Comparación de la digestibilidad de <i>Opuntia rastrera</i> entre localidades .....	71
<b>Grafica 5.</b> Comparación de la digestibilidad de <i>Agave salmiana otto</i> entre localidades.....	73
<b>Grafica 6.</b> Comparación de la digestibilidad entre <i>Opuntia rastrera</i> y <i>Agave salmiana</i> entre localidades.....	74
<b>Grafica 7.</b> Comparación de las fracciones de degradación para <i>Opuntia rastrera</i> entre localidades. ....	76
<b>Grafica 8.</b> Comparación de las fracciones de degradación para <i>Agave salmiana otto</i> entre localidades. ....	77

## RESUMEN

Debido a las características de la diversidad de climas en el país, se tiene gran parte de zonas áridas y semiáridas, marcándose en el norte de país, debido a esto, se complica la producción de forrajes para la actividad ganadera. El nopal y el maguey se han usado por mucho tiempo como forraje de emergencia en las épocas de sequías e invierno en las cuales la producción de forrajes y granos es muy escasa. Estudios sobre el análisis bromatológico de las variedades *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* muestran que tienen gran cantidad de agua aunque aportan una cantidad limitada de proteína, por lo que es necesario la adición de ingredientes proteicos y energéticos para mejorar la calidad nutricional.

Por lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el contenido nutricional y la digestibilidad *in vitro* del nopal y maguey a diferentes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 hrs.), para determinar el valor nutricional de las variedades de Nopal y Maguey, entendiéndose este como el potencial nutritivo o la cantidad de nutrientes que el alimento puede aportar al animal. El análisis bromatológico se realizó de acuerdo a los procedimientos de la AOAC. Las fracciones de fibra (FC, FDA y FDN) celulosa y lignina, de acuerdo al procedimiento descrito por (Mendoza, 1987).

El material utilizado fue recolectado en los terrenos de los ejidos Bella Unión y Arteaga municipio de Arteaga, Coahuila, se realizaron análisis bromatológicos y análisis de la tasa de degradación *in vitro* de estos materiales, a diferentes tiempos de incubación 0, 3, 6, 12, 24, 48, y 72 horas.

Para el estudio del contenido nutricional, se utilizó un análisis de varianza para la evaluación de los datos de los 4 tratamientos y 3 repeticiones de maguey y nopal, bajo un diseño de bloques completamente al azar (Olivares, 1993) utilizando el paquete SAS (versión 9.0).

La determinación de la digestibilidad *in-vitro* de la materia seca se hizo, de acuerdo al procedimiento de Tilley y Terry, (1962), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) la cual se interrumpió en los siguientes tiempos de incubación 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 hrs. con los ajustes de (Ankom Daisy 1998).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca, se analizó con un modelo estadístico completamente al azar con arreglo factorial 4X7, teniendo cuatro tratamientos a diferentes tiempos de incubación 0, 3, 6, 12, 48, 24 y 72 horas con tres repeticiones cada uno, donde los tratamientos consistieron en muestras de nopal y maguey.

Para la determinación de la correlación que pudiera existir entre el tiempo y la digestibilidad, se realizó el análisis respectivo para encontrar una respuesta entre el tiempo y la cantidad de materia degradada, en cada tiempo de incubación, (McDonald, 1981), utilizando el paquete (NEWWAVE Rowett Research Institute, 1992).

En el análisis proximal para la variedad *rastrera* Arteaga se determinaron los siguientes contenidos: Materia Seca 10.17%, Proteína Cruda 9.14% Extracto Libre de Nitrógeno 35.96%, Extracto Etéreo 1.73%, Fibra Cruda 31.15%, FDA 33.99%, FDN 56.61%, y Cenizas 25.14% y para Bella Unión: Materia Seca 10.40%, Proteína Cruda 9.59% Extracto Libre de Nitrógeno 53.48%, Extracto Etéreo 1.59%, Fibra Cruda 24.59%, FDA 33.75%, FDN 54.26%, y Cenizas 13.17%, mientras que para el *Agave* de la variedad *salmiana* Arteaga se obtuvieron los siguientes valores: Materia Seca 15.50%, Proteína Cruda 5.35% Extracto Libre de Nitrógeno 35.96%, Extracto Etéreo 1.05%, Fibra Cruda 41.13%, FDA 42.93%, FDN 82.78%, y Cenizas 41.51% y para Bella Unión los siguientes: Materia Seca 15.20%, Proteína Cruda 8.25% Extracto Libre de Nitrógeno 32.44%, Extracto Etéreo 1.68%, Fibra Cruda 46.37%, FDA 46.51%, FDN 87.52%, y Cenizas 11.24%.

Los valores de la digestibilidad de MS de la variedad *rastrera* para Arteaga a diferentes tiempos (0, 3, 6, 12, 24, 48, y 72 hrs.) fueron los siguientes: 44.72, 48.24, 65.22, 74.44, 77.36, 84.13, 76.28 % y para Bella Unión los siguientes: 33.38, 42.77, 47.41, 52.56, 58.58, 66.65, 58.52 % respectivamente, en tanto que para el *Agave* de la variedad *salmiana* Arteaga, en los siete tiempos (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 hrs.) se obtuvieron los siguientes: 53.41, 58.31, 65.58, 74.44, 83.86, 91.54, 83.76 % y para Bella Unión los siguientes: 59.71, 68.43, 75.18, 78.22, 83.51, 92.54, 86.49 % respectivamente.

Haciendo referencia a lo anterior es ampliamente recomendable la utilización de las dos especies para la alimentación de animales, ya que ambas tienen una composición nutricional muy similar, así como un alto valor en cuanto a su digestibilidad los cuales son muy aceptables, además de que aportan importantes cantidades de agua y fibra, aunque por si solos no cubren los

requerimientos nutritivos para los animales por lo que podría implementarse su utilización con diferentes dietas adicionándoles suplementos o algún otro componente, especialmente proteico, el cual se adapte a cada productor económicamente así como la disponibilidad del componente que se desee utilizar y de esta manera poder obtener mejores resultados en cuanto a producción.

**Palabras clave:** Análisis bromatológico, Digestibilidad *in vitro*, *Opuntia rastrera*, *Agave salmiana*.

## INTRODUCCIÓN

Nuestro país, al igual que muchos más en todo el mundo presenta una notable demanda en cuanto a la producción de alimentos como carne, leche, etc. los cuales deben de ser mejores en calidad pero al menor costo posible, todo esto es debido al gran crecimiento y expansión de la tasa demográfica. Para esto se necesitan cubrir muchos factores los cuales intervienen en la producción, como lo es el de origen nutricional ya que de esta depende la sanidad, reproducción, crecimiento, etc. Para lograrlo se necesitan cubrir los costos de operación para la alimentación y producción de animales, ya que en los últimos años se han incrementado drásticamente y constantemente, estos costos representan hasta un 80% en las explotaciones intensivas.

Para todo productor y toda explotación agropecuaria el propósito prioritario es tener la mayor producción y de mejor calidad pero claro al menor costo posible. Por lo que es importante ampliar los conocimientos en cuanto a otras especies forrajeras que aún no han sido utilizadas o poco empleadas en la alimentación de los animales, las cuales puedan tener y proporcionar igual o mejor calidad forrajera que las que actualmente se usan pero a un menor costo ya que es el principal problema en cualquier sistema de producción.

Por lo anterior, se busca como alternativa utilizar especies como *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana otto* Ex Salm-Dick en la alimentación de los animales ya que en nuestro país estas especies no tienen una amplia explotación comercial, pero en las regiones ganaderas con zonas áridas y semiáridas las cuales tienen pocas precipitaciones, ocasiona tener poca producción de forraje verde y en casos extremos esta es nula, estas especies podrían ser la clave fundamental para una mejor producción en el país ya que generan gran cantidad de materia verde.

## **Antecedentes**

El uso de *Opuntia* se inició en México desde épocas prehispánicas, donde jugaron un importante papel en la economía agrícola del imperio Azteca. El maíz (*Zea mays*), el agave (*Agave spp.*) y el nopal (*Opuntia spp.*), son las plantas cultivadas más antiguas de México.

*Opuntia* es ahora parte del paisaje natural y de los sistemas agrícolas de muchas regiones del mundo. Típicamente, existen tres sistemas principales de producción: comunidades de cactus silvestre, huertas familiares, y plantaciones comerciales intensivas.

Las *Opuntias* se han adaptado perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión. Funcionando como cosechas vitales en casos de sequía extremas para humanos y animales. Algunas especies son inclusive consideradas como plantas naturalizadas en países como Sudáfrica, Marruecos, Túnez, etc., donde las condiciones ambientales son particularmente favorables.

En años recientes, se han intensificado las plantaciones para fruta o producción de forraje, así como para vegetales o nopalitos y cochinilla. En muchos países de África, América, Asia y Europa, hay un creciente interés por *Opuntia*, con énfasis en *O. ficus-indica*, y en el importante papel que desempeñan y seguramente seguirán proponiendo para el éxito de sistemas agrícolas sustentables en zonas áridas y semiáridas, donde agricultores y ganaderos deben concentrarse en aquellas especies que pueden no solo sobrevivir sino producir económicamente. Así, *Opuntia*, se ha convertido en un recurso inagotable de productos y usos, inicialmente como planta silvestre, y después, como cultivo de subsistencia y comercial, contribuyendo a la seguridad alimenticia de poblaciones en áreas agrícolas marginadas.

Entre las plantas más conspicuas del paisaje mexicano, en especial de las zonas áridas y semiáridas de México, están los agaves o magueyes, considerados especies clave en estas regiones, tanto por su abundancia como por la cantidad de recursos que proporcionan a otros organismos. En México, los agaves han tenido y tienen una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado durante siglos como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos.

La interacción hombre-maguey tiene miles de años, su domesticación parece haberse iniciado hace más de 3 500 años, cultivado por las culturas de Tula, Tulancingo y Teotihuacán, en donde se han encontrado raspadores de piedra cuyo propósito era la obtención de aguamiel. Los grupos nómadas al irse convirtiendo en sedentarios, probablemente fueron descubriendo cada vez más propiedades de estas plantas, seleccionando y cultivando aquellas especies y variedades que más satisfacían sus necesidades. Los usos de *A. salmiana* son muy variados, su aprovechamiento es tal que no queda una sola de sus partes y productos que no tengan uno o varios fines específicos, el principal productos del cual derivan su nombre genérico a nivel popular “maguey pulquero” es el pulque, el cual es un fermento de la savia de sus hojas o aguamiel

Los magueyes fueron una de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica para alimentarse, de lo cual se hallan restos en cuevas en el Valle de Oaxaca, el de Tehuacán y en Coahuila, en este último sitio, además de restos de fibras mascadas, se recuperaron cordeles de ixtle y sandalias elaboradas con fibras de maguey.

Los grupos humanos que se establecieron en estas regiones desarrollaron uno de los principales centros agrícolas de América, al aprovechar los magueyes, estos pueblos hicieron de México su centro de domesticación y diversificación mediante la selección humana, pues los escogían por sus fibras, el aguamiel o las altas cantidades de azúcares que les proporcionaba lo que posteriormente se denominaría en náhuatl como mexcalli, es decir el tallo y bases de las hojas (cabezas) cocidos. Es por esto que los agaves no sólo tienen su máxima expresión de diversidad morfológica, filogenética y evolutiva en México, sino también cultural, ya que los seres humanos que lo han poblado han sabido aprovechar al máximo los beneficios que producen.

## **Justificación**

La población del Norte de México utiliza el nopal y el maguey desde hace muchas décadas, hoy en día gran parte de la industria pecuaria de las zonas áridas del norte y del centro del país tiene en el nopal y el maguey un recurso forrajero.

Contar con la disponibilidad de un forraje verde en las zonas ganaderas áridas y semiáridas en épocas en las cuales la producción de materia verde es poca o nula. Además solucionar cubriendo las necesidades nutricionales del ganado en épocas críticas de escases del alimento.

## **Hipótesis**

- Existen diferencias en la composición química y digestibilidad *in vitro* entre Nopal y Maguey.

## **Objetivo**

- Determinar el contenido nutricional y la digestibilidad *in vitro* del Nopal y Maguey a diferentes tiempos de incubación

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades de la especie de *Opuntia* estudiada.

La evolución de los miembros de los subgéneros de *Opuntia* en ambientes áridos y semiáridos ha conducido al desarrollo de diversas características de adaptación anatómica, morfológica y fisiológica; y estructuras particulares de plantas, como fueron descritas por (Sudzuki Hills, 1995).

Las especies del subgénero *Opuntia* spp., han desarrollado adaptaciones estructurales, fenológicas y fisiológicas favorables para su desarrollo en ambientes áridos, donde el agua es la principal limitante en la mayoría de los vegetales. Su adaptación más notable es su reproducción asincrónica, y su Metabolismo del Ácido Crasuláceo (MAC), el cual, combinado con adaptaciones estructurales, tales como la succulencia, le permiten sobrevivir largos períodos de sequía, y alcanzar niveles de producción aceptables inclusive en años de sequías realmente severas (Sudzuki Hills, 1995).

*Opuntia rastrera* es un arbusto de hábito rastrero, menor a 1 m de altura, Los cladodios son óvalados y forman cadenas largas de hasta 20 centímetros de diámetro. Las aréolas son blanquecinas con varias alturas, más oscuras en la base con espinas que de hasta 4 centímetros de largo. Los gloquidios son de color amarillo. Las flores son de color amarillo y el fruto obovado y morado ampliamente usado como forraje para vacas lecheras en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Aguascalientes. Crece bien en un amplio rango de tipos de suelo, desde delgados hasta profundos, rocosos y calcáreos. Algunas veces es encontrado formando densas comunidades (Sudzuki Hills, 1995).

**Opuntia:** nombre genérico que proviene del griego usado por Plinio para una planta que creció alrededor de la ciudad de Opus en Grecia.

**Nombre común:** cuijo.

### Origen.

*Opuntia rastrera* F.A.C.Weber es una especie fanerógama perteneciente a la familia Cactaceae, nativa de Norteamérica. La *Opuntia rastrera* fue descrita por Frédéric Albert Constantin Weber y publicado en Dictionnaire d'Horticulture en la página 896, en 1898.

## **Botánica.**

*Opuntia* es un género de plantas de la familia de las cactáceas que consta de más de 300 especies, todas oriundas del continente americano, y que habitan desde el norte de Estados Unidos hasta la Patagonia, donde crecen de forma silvestre. Fueron introducidas en Europa por los conquistadores y se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea. La especie tipo es *Opuntia ficus-indica*, conocida popularmente como nopal, tuna o chumbera; sus frutos comestibles, las tunas o higos chumbos, son muy populares en México, Chile, Noroeste de Argentina, Perú, las Islas Canarias, Andalucía, Marruecos y el Levante español, de los que incluso se fabrica helado (Granados, 1996).

## **Taxonomía.**

Son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con o sin tronco bien definido, artículos aplanados (cladodios), de forma lanceolada, elípticos o suborbiculares; las espinas no llevan vainas, las flores son grandes, con los segmentos del perianto (corola) frecuentemente amarillos, aunque a veces son de color rosa, anaranjado o rojizo. El estigma es multilobulado, en número de cinco a diez lóbulos. El fruto es globoso, ovoide hasta turbinado; pericarpelo con areolas que llevan glóquidas y espinas setosas, pulpa jugosa. Semillas lenticulares, con testa clara y arillo ancho; embrión con hipocotíleo y cotiledones grandes; perisperma bien desarrollado. Estas plantas se encuentran distribuidas en toda América, desde el nivel del mar hasta las planicies del centro y norte del país, aunque en toda la república están representadas. Los artículos jóvenes y los frutos de algunas especies son comestibles (Granados, 1996).

## Clasificación taxonómica.

F.A.C.WEBER (1898) realizó la clasificación del nopal que se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Clasificación taxonómica del nopal.**

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Caryophyllidae
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Subfamilia</b>	Opuntioideae
<b>Tribu</b>	Opuntieae
<b>Género</b>	Opuntia
<b>Especie</b>	O. rastrera
<b>Nombre binomial</b>	Opuntia rastrera F. A. C. Weber

**Fuente: (Weber, 1898).**

## Características morfológicas.

Todas las especies de Nopal (*Opuntia* spp.) han desarrollado a través de la evolución, características morfológicas adaptadas a la escasa disponibilidad de agua, a las variaciones extremas de temperatura y, en general, a las diversas condiciones de las zonas áridas y semiáridas del país, a pesar de que algunas de estas especies han colonizado ambientes con mayor provisión de agua (Gutiérrez *et al.*, S/F).

Algunos de estos caracteres " Xeromórficos" se relacionan directamente con la máxima eficiencia en la absorción y almacenamiento de agua, y otros parecen tener importancia indirecta al evitar el excesivo calentamiento del sol o defender las partes blandas de predadores.

La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas. Esta puede considerarse como el sello distintivo de su parte aérea (tallos, flores y frutos) y resulta de la proliferación celular masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociada a un aumento en el tamaño de las vacuolas y a una disminución de los espacios intercelulares (Gutiérrez *et al.*, S/F).

Este fenómeno permite a los órganos de estas plantas acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves períodos de humedad y, por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración.

A continuación se presentan en forma breve las características morfológicas de cada uno de los órganos del género *Opuntia* (Gutiérrez *et al.*, S/F).

### **Raíz.**

No obstante que son semejantes a las de otras dicotiledóneas, las raíces de los nopales tienen ciertas peculiaridades entre las cuales cabe mencionar.

Por su origen, derivan de la radícula, aunque en ocasiones puede estimularse el desarrollo de raíz a partir de tallo.

Por su forma, son raíces típicas o pivotantes con ejes primarios que sirven para fijar a la planta.

Generalmente son gruesas pero no suculentas; de tamaño y ancho variables; en general, su tamaño es proporcional al tamaño del tallo o de la parte aérea.

Por su duración, el sistema radicular de los nopales es perenne o permanente.

Otras características de la raíz es la ausencia de pelos absorbentes mientras el medio edáfico (suelo) se encuentre con escasa humedad. En cambio, cuando existe agua disponible en el suelo, se estimula el desarrollo de estos pelos y la velocidad de absorción de agua y nutrientes se torna sorprendentemente alta (Gutiérrez *et al.*, S/F).

**Tallo.**

El tallo es craso, erecto (en algunas especies rastrero), ramificado y multiarticulado. Se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoideas (cladodios o pencas), posee cutícula gruesa y está adaptado para almacenar agua en sus tejidos. Cada uno de sus artículos recibe el nombre particular de penca; su aspecto es comprimido, tiene forma de raqueta y botánicamente reciben el nombre de cladodios, son de color verde y tienen función fotosintética, ya que presentan abundante parénquima clorofílico. Los efectos de las intensas y prolongadas sequías, así como las abrasadoras ondas cálidas a que están expuestas las plantas, afectan el tamaño y forma de sus tallos (Gutiérrez *et al.*, S/F).

**Hoja.**

En el nopal solamente existe en los renuevos de pencas (cladodios) cuando están tiernas. Son hojitas cilíndricas, y caducas, en forma de cuernitos; herbáceas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas. Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, o sea en unos cuantos días, en cuyo lugar quedan las espinas (Gutiérrez *et al.*, S/F).

**Flor.**

La flor de la planta se produce en las areolas (homólogas de las yemas en otras dicotiledóneas), localizadas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, y a que algunas pueden brotar al primer año y en otras al segundo o al tercero. Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, etc., según la especie de nopal. Por lo general, las flores son grandes; el ovario es inferior, unilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (cinco a diez); el androceo posee gran cantidad de estambres. (Gutiérrez *et al.*, S/F).

Son hermafroditas anatómicas; algunas, sin embargo, son unisexuales por atrofia del androceo o del gineceo respectivamente (*Opuntia robusta*). La floración tiene lugar en primavera, durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque hay entidades e las que se realiza en otras épocas del año. Una vez efectuada la fecundación, el perianto se marchita y cae, pero a veces permanece adherido al fruto por algún tiempo (Gutiérrez *et al.*, S/F).

## **Fruto.**

El fruto del nopal (tuna) es una baya unilocular polisperma, carnosa, de forma ovoide a esféricas; sus dimensiones y coloraciones pueden variar según la especie, encontrándose frutos de cuatro a doce cm o más de longitud, de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso, etc. Encontrándose frutos de 4 a 12 cm. Semillas lenticulares, con testa clara y arillo ancho, embrión curvo, cotiledones grandes y perisperma bien desarrollado (Gutiérrez *et al.*, S/F).

## **Generalidades del Agave.**

El maguey es un nombre que data de tiempos prehispánicos y se aplica a todas las especies del género *Agave* en México. Su uso se remonta a la época precolombina, cuando los pueblos indígenas lo utilizaron como fuente abastecedora de materia prima para elaborar cientos de productos; a partir de entonces ha tenido suma importancia para nuestro país desde el punto de vista económico, ecológico y social (Gentry, 1982).

El cultivo del agave en la República Mexicana tiene su origen en los núcleos de población de Mesoamérica, donde *Agave salmiana* otto ex Salm. - Dyck. Fue la especie más empleada con ese fin; al respecto, Gentry, (1982) la considera como el progenitor de los actuales cultivos. En Coahuila y Durango esta actividad se inició cuando los españoles colonizaron dicha región, debido a que fue introducida por los indígenas tlaxcaltecas que los acompañaban.

Además el agave es un recurso muy útil por su capacidad para la retención y conservación del suelo, problema muy particular en los estados del norte del país; requiere bajos niveles de humedad y se adapta fácilmente a condiciones de extrema sequía, a suelos pobres y terrenos cerriles. Como también tolera bajas temperaturas Ruvalcaba, (1983); Arias *et al.*, (1991); Ramírez, (1996); INIFAP, (1997); Century Plant, Maguey, (2005) y Floridata, (2005), se le incorpora en programas de plantaciones en las zonas áridas y semiáridas, implementados por diferentes instituciones de gobierno.

## **Origen.**

México es el centro de origen de la familia Agavaceae, que se distribuye en el continente americano desde Dakota del Norte, Los estados más ricos en número de especies son Oaxaca, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Jalisco (Gentry, 1982).

## **Botánica.**

En el mundo existen 330 especies de agaves conocidas y México cuenta con 220 exclusivas de las cuales 151 son endémicas. Los estados más ricos en número de especies son Oaxaca, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Jalisco Ramírez (2009). Ahora se ha considerado una nueva especie en la región de La Huasteca, llamada *Agave albopilosa*, tras un estudio realizado por el Dr. Ismael Cabral Cordero (Gentry, 1982).

## **Taxonomía.**

Taxonómicamente es una especie complicada con un gran número de formas morfológicas sin embargo, sólo se reconocen tres variedades y una subespecie: *A. salmiana* var. *Salmiana*, *A. salmiana* var. *Angustifolia*, *A. salmiana* Var. *Ferox* y *A. salmiana* ssp. *Crassispina* *Agave salmiana* es una especie que se considera endémica de México, con poblaciones silvestres adyacentes a los cultivados en los estados de San Luís Potosí e Hidalgo, así como en las zonas semiáridas donde crecen junto con *Acacia* y *Opuntia* en una comunidad que apropiadamente se le denomina *Acacia-Opuntia-Agave*. Las formas cultivadas se distribuyen principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro de México, desde Coahuila hasta Oaxaca (Cortes y Basurto, 2006).

## Clasificación Taxonómica.

Christoph Friedrich Otto (1859) realizó la siguiente clasificación (cuadro 2).

**Cuadro 2. Clasificación Taxonómica del Maguey.**

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Subclase</b>	Liliidae
<b>Orden</b>	Asparagales
<b>Familia</b>	Agavaceae
<b>Género</b>	Agave L.
<b>Especie</b>	A. salmiana
<b>Nombre binomial</b>	Agave salmiana Otto
<b>Subespecies</b>	
<b>A. s. var. Angustifolia</b>	
<b>A. s. var. Cochlearis</b>	

Fuente: (Friedrich, 1859).

## Características morfológicas.

Los magueyes son plantas xerófitas, adaptadas a vivir en condiciones climáticas desfavorables, con largos periodos de sequía y altas temperaturas. Las especializaciones morfológicas a las condiciones adversas consisten en modificaciones en la estructura básica de una planta como respuesta a las presiones del ambiente (García, 2007).

Los agaves poseen estrategias para sobrevivir en ambientes secos o periódicamente secos, especialmente en el suelo, con fuertes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, las cuales tienden a limitar la pérdida de agua por transpiración y a acumularla en tejidos especializados (García, 2007).

El desarrollo de succulencia en las hojas es una de sus adaptaciones más conspicuas, ya que el agua almacenada durante la época de lluvias permite que las plantas sobrevivan durante algún tiempo en ausencia de suministro de agua del exterior, lo que ocurre cuando las condiciones del suelo son tales, que la raíz ya no es capaz de extraerla de él (García, 2007).

El sistema de la raíz de los agaves es superficial, lo cual facilita la absorción de agua de lluvia, generalmente escasa, que sólo humedecen la superficie del suelo; de tal manera que la probabilidad de supervivencia de una roseta en sequías prolongadas depende del volumen de agua y de los carbohidratos almacenados durante la época favorable. Asimismo, en época seca el agua almacenada ayuda a mantener las reacciones bioquímicas y la apertura de estomas para la asimilación de carbono (CO<sub>2</sub>), aun en condiciones prolongadas de sequía, que pueden durar hasta siete años (García, 2007).

El abundante desarrollo de fibras en los tejidos de las hojas mantiene su rigidez durante los periodos de pérdida de agua, logrando con esto que no se deformen los tejidos; esta función se complementa con la presencia de dientes en el margen y una espina terminal (García, 2007).

Son varias las características de los agaves que les permiten evitar una excesiva transpiración; una reducción en la superficie que transpira en relación con el volumen total del órgano, la presencia de una cutícula gruesa en la epidermis de la hoja, la acumulación de cera en la superficie y la presencia de estomas de naturaleza compleja que aseguran una protección adicional contra la evaporación durante los periodos de sequía (García, 2007).

El excesivo calentamiento de la lámina foliar disminuye con el arreglo de las hojas en el espacio (filotaxia) y la orientación favorece la sombra de unas sobre las otras. El bandeo de las hojas con segmentos alternantes claros y oscuros se debe a las variaciones en el grosor de la cutícula y, aparentemente, se origina por condiciones irregulares de crecimiento, que dependen de las condiciones climáticas (García, 2007).

Castillo (2007), describe "maguey verde" "maguey pulquero" como una **Planta** con vástagos surculosos, formando rosetas de 1.5 a 2.0 m de alto.

### **Raíz.**

Raíz fibrosa fuerte, radialmente desarrollada y poco profunda.

**Hojas.**

Hojas de 100-200 cm de largo y de 20-35 cm de ancho, lanceoladas, acuminadas; carnosas, de color verde a glauco grisáceas, cóncavas a acanaladas hacia la parte superior, ápice sigmoide, margen sinuado, a veces mamilado; dientes más grandes en la parte media, de 5 a 10 mm de largo, separados por 3 a 5 cm, de color castaño a castaño grisáceo, las cúspides erectas a retrorsas.

**Espinas.**

Espinas largas, gruesas, subuladas, de 5-10 cm de largo, de color café oscuro, acanalado en la parte superior, decurrentes, a veces hasta la mitad de la hoja, con un margen córneo y ancho.

**Inflorescencia.**

Inflorescencia robusta, de 7-8 m de altura, pedúnculo con brácteas carnosas y grandes, panícula amplia, con 15-20 grandes umbelas en la mitad superior del eje.

**Flores.**

Flores de 80-110 mm de largo, carnosas, amarillas.

**Ovario.**

Ovario de 50-60 mm de largo, grueso cilíndrico con constricciones en el cuello.

**Tubo.**

Tubo infundibuliforme, de 21-24 mm de largo y 20 mm de ancho y grueso entre los surcos de la espina.

**Tépalos.**

Tépalos desiguales, oblongos, de 21-25 mm de largo y 6 mm de ancho, los internos ligeramente más cortos, con una quilla amplia, filamentos de 55-70 mm de largo, insertados a la mitad del tubo medio.

**Anteras.**

Anteras de 30-35 mm de largo, amarillas y excéntricas.

**Pistilos.**

Pistilos elongándose en la post-floración.

**Fruto.**

Fruto cápsula de 5.5-7.0 cm de largo y 2.0-2.2 cm de ancho, rostro agudo, leñoso, pardo.

**Semillas.**

Semillas de 8-9 mm de largo y 6-7 mm de ancho, negras lacrimiformes.

**El Nopal y Maguey como forraje.**

El forraje es la parte comestible no dañina de una planta que tiene valor nutritivo y que es disponible para los animales. Este término se refiere a los materiales como pasto, heno, ensilaje y los alimentos verdes. Este puede ser suministrado por el pastoreo directo o cosechado por el hombre y puesto en pesebre (Cantú, 1985).

Opuntia es particularmente atractiva como alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca, y por tanto en energía digestible (Nobel, 1995). Este es útil no solo porque sobrevive a las sequías, sino también por su conversión es más eficiente que la de pastizales C3 y las plantas C4 de hoja ancha.

La generación de biomasa por unidad de agua es en promedio tres veces más alta que en plantas C4, y cinco veces más que en las plantas C3. Bajo condiciones óptimas, los diferentes tipos de plantas pueden producir cantidades similares de materia seca por área de superficie, pero bajo condiciones áridas y semiáridas, las plantas CAM son superiores a las C3 y C4.

Los cactus, y específicamente *Opuntia spp*, han constituido una fuente de forraje extremadamente útil en tiempos de sequía, primordialmente porque proveen de energía digerible, agua y vitaminas no solo para el ganado, pues también ha sido usada como forraje para cerdos. Sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta

diaria, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio. Ya que crece en tierras severamente degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy pocos cultivos logran desarrollarse y producir. Se estima que, alrededor del mundo se cultivan 9, 000,000 hectáreas de *Opuntia* para producción de forraje (Nobel, 1995).

Mientras las variedades sin espinas necesitan protegerse contra los herbívoros, las variedades más tolerantes al frío con espinas no requieren de tanta protección. Sin embargo, es necesario quemar las espinas antes de poder utilizarlo como forraje para el ganado (Nobel, 1995).

La importancia socioeconómica y agroecológica del maguey se hace evidente en el uso que se le da como forraje para la alimentación del ganado. Constituye una de las mejores opciones forrajeras, debido a la alta eficiencia en el uso del agua y a la adaptación del recurso a diferentes hábitats, sobre todo en las zonas semidesérticas. Del agave se utilizan las hojas e incluso la piña para darlo como suplemento a los animales ya que les proporcionan: altos niveles de energía digestible, minerales y agua, los cuales cubren los requisitos de mantenimiento y producción de ganado. Se hace notar que para lograr obtener el beneficio del potencial de su alta digestibilidad, es necesario suplementar con nitrógeno (N, mismo que las bacterias del rumen necesitan para digerir la fibra). Los ganaderos acostumbran picarlo en el campo o en el corral y combinarlo con otras fuentes de alimentos como los residuos de cosecha (Nobel, 1995).

Con esta práctica se reduce la tasa de mortalidad de ganado, se reduce el consumo de agua, se reduce la compra de forraje, pudiéndose tener mayor carga animal en los predios, así como una mejor distribución y consumo de sales minerales lo que redundaría en una mejor condición física del ganado.

También el agave usado como forraje para rumiantes, tiene importancia por su alta productividad, su empleo en periodos críticos del año (estiaje) y sus ventajas nutrimentales, como son su alto contenido de azúcares, material mineral y fibra cruda, lo cual se aprovecha si se emplea una base regular de alimentación del ganado durante todo el año. El agave, con una densidad de 750 plantas/ha tiene una productividad de 55 toneladas de forraje fresco, aproximadamente 6.1 ton de materia seca Martínez, (1994). Comparándolo con el nopal con 1,250 plantas ha<sup>-1</sup>, produce 32 toneladas de forraje fresco (3.5 t de materia seca) (Hamilton, 1992).

Se ha comprobado que la alimentación de borregos con bagazo de maguey (*Agave tequilana*), combinado con rastrojo de maíz, suplementado con rastrojo de soya y harina de pescado o harinolina (proteína cruda), permite a los animales mantener su peso durante la época de escasez de alimentos, logrando acortar el tiempo para llegar al peso de mercado, además de mantener la fertilidad de las hembras (Martínez, 1994).

### **Valor nutritivo de los forrajes.**

Los forrajes siempre han sido el ingrediente básico en la ración del ganado lechero, pues cuando los forrajes se manejan adecuadamente son un alimento muy nutritivo y succulento. Resultados experimentales en todo el mundo demuestran que buenas pasturas son capaces de producir leche o carne cuatro o cinco veces más baratas que utilizando concentrados (Pérez, 1982).

El valor forrajero está dado con la relación a buen sabor, calidad nutritiva y productividad o volumen de forraje para animales, este valor es tomando en cuenta el clima, suelo, adaptación y uso apropiado. El valor forrajero es comparativo y se ha asignado dando valor subjetivo como bueno, regular y pobre (Cantú, 1985).

El conocimiento del valor biológico de los forrajes tiene una gran importancia para el ganadero, tanto en el aspecto alimenticio como en el económico. El conocimiento del valor alimenticio de los forrajes y los requerimientos del animal según sea su explotación, le permitirá tener una idea clara del poder energético y de cuál debe ser el suplemento a suministrar para eliminar la insuficiencia (Juscáfresa, 1974).

Desde el punto de vista de las aplicaciones prácticas, el valor de un forraje depende, principalmente de su contenido de proteínas y de hidratos de carbono, así como del grado en que estén disponibles como principios nutritivos digeribles (Hughes *et al.*, 1966). Los forrajes como alimentos de origen vegetal que se cultivan con el propósito de proporcionar al ganado y obtener de ellos algún beneficio. Desde el punto de vista nutricional, los forrajes son alimentos voluminosos, de baja densidad calórica y un alto contenido de paredes celulares. Tradicionalmente un alimento era clasificado como forraje si tenía más de 18 por ciento de la fibra cruda, baja digestibilidad y baja energía; sin embargo muchos forrajes escapan a esta definición (Pérez, 1982).

El valor nutritivo de los forrajes, de acuerdo con el análisis, se calcula por el contenido de agua, sustancia seca, proteínas, grasas, extractos ionizados, fibra y cenizas, contenidos que pueden variar de manera notable dentro de la misma especie y según sean los métodos de cultivo (Juscafresa, 1983).

El análisis químico bromatológico es un factor esencial para valorar el poder nutritivo de un alimento, así como su producción, pues se determina cuantitativamente, los principios inmediatos que lo contienen (Flores, S/F).

Determinar todos y cada uno de los elementos de un alimento sería una larga y compleja tarea, por lo tanto en los análisis bromatológicos, consisten en determinar grupos de sustancias que se asemejan en las cualidades o composición, llamados principios inmediatos y son: Agua, Porción incombustibles (cenizas), Porción combustibles (Proteína Cruda), Extracto Etéreo, Fibra Cruda, Extracto libre de nitrógeno (Flores, S/F).

El contenido de principios nutritivos en los forrajes varía de manera notable según la especie de que proceden, del contenido químico del suelo, de los métodos de cultivo utilizados, el estado de desarrollo de la planta al ser cortado (Flores, S/F).

### **Digestibilidad.**

Es una de las medidas más útiles del valor nutricional de los alimentos es la digestibilidad aparente de la materia seca, pero debido a que su determinación “in vivo” es laboriosa y consume grandes cantidades de alimentos, se han propuestos varios métodos de laboratorio (biológicos y químicos) para su estimación (Sánchez, 2000).

La digestibilidad de un alimento es indicativo aparente del alimento consumido menos los desechos obtenidos en las heces del animal, de esta forma se asume que lo que contenía el alimento consumido y no aparece en las heces fecales fue digerido por el animal. Sin embargo, realizar la digestibilidad aparente de una ración toma tiempo, manejo de animales y además es costoso (García, 1988).

### **Formas de expresar la digestibilidad.**

La forma de expresar la digestibilidad en porcentaje, radica precisamente en que facilita la comprensión de lo que ha ocurrido con el alimento al pasar por el aparato digestivo. Se asume que un alimento con 100% de digestibilidad es aquel que desaparece por completo después de ser digerido. Mientras más cerca se encuentra de un coeficiente de 100, mayor es el valor alimenticio para el animal (De Alba, 1980).

### **Digestibilidad aparente y real.**

Con excepción de los carbohidratos fibrosos, las principales clases de nutrientes (proteínas, lípidos y carbohidratos) se excretan en las heces a partir de fuentes endógenas. La digestibilidad aparente de un nutriente representa la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad que aparece en el excremento. La cantidad total en el excremento incluye no sólo los residuos de alimento sin digerir sino también las fuentes endógenas del mismo nutriente. Esta fracción endógena es indistinguible de la porción sin digerir de los nutrientes digeridos (Church, 2002).

La digestibilidad real de un nutriente es la proporción del alimento ingerido que es absorbido en el conducto gastrointestinal, con exclusión de cualquier aportación hecha por fuentes corporales (endógenas). De esta manera, en el caso de las proteínas, la digestibilidad real se estima restando la cantidad de N que aparece en el excremento de un animal alimentado con una dieta baja en proteínas de la cantidad de N que aparece en las heces de un animal alimentado con una dieta de prueba (Church, 2002).

En el caso de algunas especies no rumiantes y de aves que tienen un tiempo de retención muy corto del alimento ingerido, podría ser posible administrar una dieta libre de proteína durante un periodo de tiempo breve.

De Alba, (1980) menciona que una prueba de digestibilidad asume que una vez tomadas las precauciones de observar un período preparatorio en que el animal desaloja residuos de otros alimentos y de acuerdo con la rapidez de paso de cada especie, todo lo que aparece en las heces tiene su origen en el forraje comido.

En estricta verdad eso no es cierto, las heces contienen ciertos compuestos del metabolismo interno del animal que ingresan principalmente con la bilis. El color característico de las heces está constituido por pigmentos biliares y hay una buena cantidad de minerales junto con ellos. Además las heces contienen restos de compuestos de otras secreciones digestivas, así como células desprendidas de las paredes del aparato digestivo.

Por esta razón es más correcto llamar digestibilidad aparente al resultado de restar los nutrientes de las heces de los nutrientes digeridos. Se denomina digestibilidad verdadera a la digestibilidad aparente menos los valores de compuestos de origen metabólico o endógeno.

### **Determinación de la digestibilidad.**

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal, no siendo suficiente con los análisis químicos, hay que considerar los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal (Bondi, 1989). Las pruebas de digestibilidad permiten estimar la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo quedando disponibles para el animal (Church y Pond, 1994).

La digestibilidad depende mayormente de la composición nutritiva de la ración en estudio, siendo a su vez afectada por el hecho de que las heces contienen cantidades importantes de materiales de origen no dietético Merchen, (1993). Éstas, constituyen una importante vía de excreción de compuestos nitrogenados, grasos, minerales y glúcidos no fibrosos de origen endógeno (Church y Pond, 1994). Encontrándose reportes que indican que no hay secreción de carbohidratos a nivel intestinal. A esto se debe que los coeficientes de digestibilidad determinados por diferentes métodos se denominan “aparentes”. Es difícil cuantificar con exactitud las cantidades de origen endógeno de un determinado elemento presente en las heces, ocasionando la subestimación de su digestibilidad verdadera (Bondi, 1989).

Los valores estimados de digestibilidad aparente de las fracciones correspondientes a proteínas y lípidos, sin incluir los aportes de compuestos endógenos de la misma naturaleza, son siempre menores a los coeficientes de digestibilidad verdadera. Por lo que un dato de gran utilidad al trabajar con rumiantes es que el aporte de nitrógeno endógeno se encuentra alrededor de 0.5 a 0.6 g por 100 g de materia seca consumida (aproximadamente un 4% de la

proteína de la ración), por lo que los coeficientes de digestibilidad aparente en raciones con un contenido de proteína inferior al 4%, son negativos (Bondi, 1989).

En dietas basadas en el consumo de forrajes, la digestibilidad *in vivo* es afectada por aquellos elementos que tienen efecto sobre el consumo, como la capacidad de selección del animal en función de la oferta de material, la disponibilidad de agua, la tasa de pasaje del alimento, la eficiencia metabólica de los animales y hasta las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa), lo que trae como consecuencia, que difícilmente la técnica *in vitro* pueda reproducir las transformaciones ocurridas en la digestibilidad *in vivo* Cochran *et al.*, (1986); aun cuando la digestibilidad aparente, constituye una expresión muy simplificada del valor nutritivo, los datos que se generan de esta determinación son de gran utilidad (Merchen, 1993).

Para la determinación *in vivo*, del coeficiente de digestibilidad de raciones completas o de determinados nutrientes dentro de una ración, se han empleado diversos métodos, entre los cuales destacan, el de colección total de heces y el método de las proporciones usando marcadores (Merchen, 1993).

## **Métodos para determinar la digestibilidad.**

### **Digestibilidad *in vitro*.**

Esta técnica se basa en dos etapas. En la primera se realiza una fermentación microbiana de la muestra en estudio en líquido ruminal utilizado como inóculo, la etapa es comparativa a lo que sucede en el abomaso, en medio ácido (Llamas y Tejada, 1990).

La secuencia de todos los procedimientos *in vitro* del rumen, es una fermentación anaerobia de un simple sustrato en un medio y un filtrado de líquido ruminal seguido de una medición final. El medio es usualmente, una solución búfer simulando la saliva del rumiante (Van Soest, 1994).

A diferencia del rumen, los sistemas *in vitro* no tienen un abastecimiento continuo de la saliva la cual puede abastecer nitrógeno. El tiempo de la fermentación es comúnmente 48 horas para la estimación de la digestibilidad, aunque otros periodos de tiempo que van de 3 a varios cientos de horas han sido usados para estimar la tasa de fermentación. La toma voluntaria es más

relacionada a un valor de 6 horas y la digestibilidad es mejor asociada a un valor de 36 a 48 horas. Extensos periodos son requeridos para mayores magnitudes (Van Soest, 1994).

Los sistemas *in vitro* tienen el potencial de ser más exactos que los químicos, debido a que los microorganismos y las enzimas son sensibles a factores indeterminados que afectan la tasa y el porcentaje de digestibilidad. El inconveniente de este método es la necesidad y el costo de mantener animales donantes fistulados y a que puede existir gran variabilidad entre distintas tandas de licor ruminal (especie donante, dieta suministrada, cambios en el manejo de la alimentación, momento en que se recolecta el licor ruminal) (Palma y Díaz, 2001).

### **Digestibilidad *in vivo*.**

En este método de digestión consiste en medir exactamente la cantidad de alimento consumido y de heces excretadas durante un determinado periodo de tiempo. En las pruebas convencionales de digestión los animales experimentales son alimentados con las dietas que se van a estudiar durante un periodo preliminar de dos semanas, para asegurar que los residuos de los alimentos consumidos antes de la prueba han sido eliminados del aparato digestivo (Merchen, 2000).

Durante el periodo preliminar se establecen niveles constantes de consumo, para evitar fluctuaciones drásticas en la excreción. El periodo preliminar va seguida de un periodo de recolección de 7 a 10 días de duración, las heces y la orina se recogen diariamente y se preparan muestras compuestas que sean representativas del periodo de recolección para su posterior análisis en el laboratorio (Merchen, 2000).

La recolección de heces puede realizarse alojando a los animales en jaulas diseñadas para permitir la separación y recolección cuantitativa de heces y de orina o colocando a los animales arneses y bolsas especiales que faciliten la recolección de heces (Merchen, 2000).

### **Digestibilidad *in situ*.**

Actualmente es utilizado, la digestibilidad "*in situ*", en el cual la digestibilidad es medida colocando el alimento en bolsas especiales e incubarlo en las mismas dentro del rumen del animal.

El ejemplo de la técnica *in situ*, también llamada técnica *in Sacco* o técnica de la bolsa artificial para estudiar la digestibilidad o desaparición de los alimentos en el rumen fue iniciada por (Quin *et al.*, 1938). Desde entonces, este método ganó gran aceptación como una forma de medir la digestibilidad aparente de la materia seca, fibra, nitrógeno, etcétera, predecir la digestibilidad de los nutrimentos en el tracto digestivo, y la digestibilidad de varios sistemas de alimentación debido principalmente a que es una manera rápida de medir la proporción en que los constituyentes del alimento son susceptibles a la degradación ruminal (Merchen, 2000).

La dieta es el principal factor que determina la cantidad y tipo de microorganismos que se encuentran en el rumen y, por lo tanto, el grado de digestión de los nutrimentos dietarios. Por ejemplo, la alimentación de dietas altas en concentrados con un elevado contenido de carbohidratos fermentables, reduce el pH ruminal y causa un cambio en la población microbiana aumentando los organismos amilolíticos y disminuyendo los celulolíticos (Mertens y Loften, 1980).

Al determinar la digestibilidad *in situ* de un alimento éste no ha sido previamente masticado o sometido al proceso de rumia. Por tanto, debe molerse antes de someterlo a la incubación en el rumen aun así, no existen resultados concluyentes sobre el grado en que el tamaño de partícula influye sobre la digestibilidad *in situ* del alimento. Al moler el alimento (5 mm) aumenta la desaparición de nitrógeno y materia seca, en comparación con el alimento tal como lo consume el animal (Mertens y Loften, 1980).

También el molido puede hacer variar el grado en que el nitrógeno y la materia seca son digeridos, ya que aumenta el área de superficie por unidad de peso de la muestra, haciéndola más accesible al ataque microbiano; además, partículas más pequeñas y uniformes dan como resultado una muestra menos variable y más uniforme (Basurto y Tejada, 1992).

Debido a que las muestras de alimento que se someten a pruebas de digestibilidad *in situ* están en íntimo contacto con los microorganismos ruminales, es muy importante que se encuentren en el rumen aquéllos capaces de digerir el tipo de alimento estudiado, por lo cual es necesario proporcionar una dieta adecuada para favorecer su crecimiento (Mertens y Loften, 1980).

### **Colección total de heces.**

La colección total de heces (CTH) es el método más confiable para medir digestibilidad, ya que involucra directamente factores tanto del alimento como del animal (Basurto y Tejada, 1992).

Este método incluye la medición de la ingestión de una determinada ración de composición conocida y la colecta total de la excreción fecal correspondiente al alimento consumido. Las muestras del material ofrecido, al igual que las del rechazado, cuando se proporciona alimento *ad libitum*, muestras de orina y las heces, son analizadas en el laboratorio, para controlar el balance de nutrientes ingeridos y excretados, como base de la determinación de la digestibilidad de los nutrientes en estudio (Bondi, 1989).

Esta es normalmente representada por un coeficiente de digestibilidad, expresado en forma porcentual que se calcula mediante la siguiente fórmula (Bondi, 1989):

$$\text{Coeficiente de digestibilidad (\%)} = [(NI - NH) / NI] \times 100$$

**Dónde:**

**NI** = Nutriente ingerido

**NH** = Nutriente en heces

El trabajo operativo del método de CTH, implica la medición diaria de consumo, la colección de heces una o dos veces al día, sin contaminarlas con la orina, mantener los arneses en su sitio y la colección de la orina (Laredo *et al.*, 1988).

### **Ventajas y desventajas.**

Los factores que pueden afectar la digestibilidad de una dieta o de un ingrediente; pueden ser intrínsecos del alimento y de su procesamiento o bien relacionados con los sujetos experimentales o con particularidades propias del experimento (Castellanos *et al.*, 1990).

## **Factores que Determinan Variaciones de la Digestibilidad.**

Besse (1977), menciona los siguientes factores:

### **Factores dependientes del animal.**

#### ➤ **Influencia de la especie.**

Para un mismo alimento, el coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica varía con la especie. Así, los rumiantes aprovechan mejor que los no rumiantes los alimentos ricos en celulosa.

#### ➤ **Influencia del individuo.**

El coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica varía entre un animal y otro para un mismo alimento, aun dentro de los que pertenecen a la misma especie.

#### ➤ **Influencia de la edad.**

Se observa también, por ejemplo una variación de coeficiente de digestibilidad, en el momento del destete, en periodo de reemplazo de los dientes y cuando los animales se encuentran en una edad avanzada. En cada etapa siempre existen cambios en la digestibilidad.

#### ➤ **Influencia del trabajo.**

El coeficiente de digestibilidad varía muy poco si el animal trabaja o no, en relación con aquellos que permanecen en reposo.

### **Factores dependientes del alimento.**

#### ➤ **Influencia en materia celulolítica.**

La digestibilidad de la materia orgánica disminuye cuando la celulosa del alimento aumenta.

➤ **Influencia de la asociación de los alimentos que componen la ración (caso de los rumiantes).**

Con una alimentación simple, es decir, constituida por la aportación de alimentos groseros (heno, forrajes verdes, ensilados,...), no existe variación en la digestibilidad, por el contrario con una alimentación mixta (alimentos groseros y concentrados), si se registra una variación en el coeficiente de digestibilidad en los alimentos groseros según la proporción en que aparecen los concentrados asociados.

➤ **Influencia de la preparación de los alimentos.**

Es esta una cuestión muy importante, ya que permite justificar o rechazar todas las operaciones de preparación de los alimentos en la industria o en la propia granja. La molturación de los granos en general, facilita su digestibilidad, ya que en caso contrario se corre el riesgo de que pase por el aparato digestivo sin ser atacado por los microorganismos del rumen. La simple compresión de los forrajes formando con ellos bloques más o menos compactos, no parece afectar su digestibilidad. En otro de los casos la digestibilidad de la paja puede mejorarse simplemente tratándola con un álcali concentrado aplicado adecuadamente. Un ejemplo donde se considera un rumiante recibe, 10.6 kg., de heno el coeficiente de digestibilidad de la Materia Orgánica es de 51.9%, cuando este mismo animal recibe 10.6 kg., de heno más 2 kg., de almidón y 10.6 kg., de heno y 3.5 kg., de almidón el coeficiente de digestibilidad de la Materia Orgánica fue de 49.3% y 44.5% respectivamente. Esta disminución del coeficiente de utilización digestiva es debido a que los microorganismos del rumen atacan con preferencia el almidón antes que a la celulosa del heno (Besse, 1977).

➤ **Desmenuzamiento.**

El desmenuzamiento de un determinado tipo de alimento, aumentará la digestibilidad debido al aumento en la superficie total del alimento, poniendo los principios nutritivos a disposición de los jugos gástricos en una superficie mucho más extensa; esto aumentará la posibilidad de que el alimento sea atacado en su totalidad, facilitando directamente la digestión.

El desmenuzamiento de los alimentos debe ser adecuado para provocar el masticamiento de los alimentos por los animales antes de ser deglutidos y evitar de esta manera que el alimento pase directamente al estómago sin sufrir el ataque inicial de la saliva Ayala, (1976).

### ➤ **Trituración.**

La trituración puede llevarse hasta el grado de convertir el alimento en harina, o simplemente hasta romper los granos, dividiéndolos o subdividiéndolos según se crea conveniente, en función de las necesidades del animal.

El argumento de mayor peso que puede ser expuesto a favor de la trituración de los alimentos es el incremento que se obtiene en su coeficiente de digestibilidad; el coeficiente de digestibilidad del grano entero de 71,30%, del grano aplastado 79.20% y del grano triturado 94.20%, expresados en porcentaje de materias nitrogenadas, esto indica que la trituración del grano aumenta el coeficiente de digestibilidad (Ayala, 1976).

### ➤ **Influencia del nivel de ingestión.**

Este es sin duda el factor de mayor importancia entre los que se encuentran comúnmente en determinaciones de digestibilidad. En los rumiantes este efecto es más importante, sobre todo en la alimentación de vacas lecheras de gran producción en las que se logran consumo de cuatro y hasta de cinco veces el valor de mantenimiento (energía). El reconocimiento de una depresión constante en la digestibilidad aumentar el consumo es evidentemente necesario. Se ha calculado una depresión en digestibilidad de 4%, de energía por cada duplicación de consumo arriba del requisito de mantenimiento (De Alba, 1980).

Blaquer *et al.*, (1956), citado por De Alba (1980), encontraron una digestibilidad de 75.9%, de la materia seca cuando sus ovejas comían 600 grs., por día de comprimidos de heno; de 68.8%, si comían 1,200 grs., y se reducía a 65.4% si comían 1,500 grs. Esto indica que a mayor consumo se tiene menor digestibilidad de los alimentos (De Alba, 1980).

### **Otros factores.**

El efecto de la relación forraje: concentrado ha sido uno de los factores más estudiados. Así, en experimentos realizados con ganado Ovino y Caprino observaron que a medida que aumentaba la proporción de concentrado de la ración se producía un aumento paralelo de la digestibilidad in vivo de la materia seca (MS) y de la materia orgánica (MO), así como una disminución de la digestibilidad de los componentes de la pared celular (Ramanzin *et al.*, 1997) y (Kawas *et al.*, 1991)

Alvir y Gonzáles, (1992) y Giráldez et al., (1994), utilizando la técnica de las bolsas de nylon, observaron que los ritmos de degradación ruminal de diversos alimentos eran más lentos cuando los animales eran alimentados con raciones que incluían concentrado que cuando recibían raciones constituidas exclusivamente por forraje.

Mould, (1988) indica que la proporción de concentrados en la ración afecta a la digestión ruminal a través de diversos mecanismos, entre los que destacan las modificaciones que produce en el crecimiento y/o actividad de los microorganismos ruminales. El contenido en pared celular de los alimentos y la amplitud de la degradación ruminal de ésta, condicionaran el valor de digestibilidad de los alimentos, con esto se espera que el efecto de la actividad microbiana del inóculo sobre la digestibilidad sea mayor en alimentos con alto contenido de pared celular (forraje) que en aquellos con menor contenido (concentrados) (Van Soest, 1994).

Numerosos autores han señalado que la inclusión de suplementos amiláceos en la dieta reduce el pH del líquido ruminal y puede llegar a reducir la actividad de la flora celulolítica y con ello reducir la digestibilidad del forraje (Mould y Orskov, 1983).

Debido a que la población microbiana ruminal se ve afectada por numerosos factores, la procedencia del inóculo ruminal se considera la mayor fuente de variación en la determinación de la digestibilidad *in vitro* (Marten y Barnes, 1980).

En este sentido, la ración ingerida por los animales empleados como donantes ha sido señalada como uno de los factores que afectan el número y actividad de los microorganismos ruminales y que, consecuentemente, pueden afectar a los valores de la digestibilidad de los alimentos (Weis, 1994).

Sánchez, (2000), al estudiar la tasa de degradación de la fibra de algunas especies del genero *Opuntia* *in vitro*, cortadas en otoño, utilizando las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad tricolor y *O. lindheimeri* variedad subarmata, donde el análisis bromatológico fue analizado mediante un modelo estadístico completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones y la digestibilidad *in vitro* fue mediante un modelo de regresión lineal simple, de los cuales los resultados obtenidos no tuvieron diferencia ( $P>0.05$ ) para la materia seca total, materia orgánica, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, y extracto libre de nitrógeno. Para la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) no obtuvo diferencias significativas ( $P>0.05$ ), in embargo la *O. ficus-indica* fue la que mostro mayor digestibilidad de 63.99% con relación a las demás especies.

Gopar, (2001) en su trabajo de investigación relacionado con la tasa de degradación *in vitro* de la fibra de algunas especies del género *Opuntia*, cosechadas en primavera, utilizó las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad tricolor y *O. lindheimeri* variedad subarmata, a las cuales se cortaron las pencas cada mes durante la estación de primavera. El análisis bromatológico se hizo mediante un modelo completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, para la determinación de la cinética de la digestión de la fibra utilizó la técnica *in vitro* descrita por (Tilley y Terry 1963), con la modificación de (Goering y Van Soest 1970) en la cual se interrumpió a diferentes tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 horas), el cual fue analizado mediante el modelo de regresión lineal simple, donde para el análisis bromatológico obtuvo una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) para los contenidos de materia seca total (MST), cenizas (C), extracto etéreo (EE), proteína curda (PC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y materia orgánica (MO), para la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) no encontró diferencias significativas para cada una de las especies, pero la *O. ficus indica* tuvo la mayor DIVMS de 58.8% y una DIVMO de 63.49%.

Montes, (2003), al estudiar la tasa de degradación *in vitro* de la fibra de algunas especies de nopal del género *Opuntia* cortadas en invierno. Utilizando las especies *O. imbricata*, *O. ficus-indica*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* variedad tricolor y *O. lindheimeri* variedad subarmata donde el análisis bromatológico fue analizado mediante un modelo estadístico completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones y la digestibilidad *in vitro* fue mediante un modelo de regresión lineal simple, de los cuales los resultados obtenidos fueron para el análisis bromatológico donde no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) para la materia seca total, materia orgánica, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, y extracto libre de nitrógeno entre las especies. Para la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) no obtuvo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), in embargo la *O. lindheimeri* variedad subarmata fue la que mostro mayor digestibilidad de 92.54% con relación a las demás especies.

Velásquez, (2007) al estudiar la degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor, donde utilizo tres tratamientos que fueron grano de maíz normal molido, rolado y extruido y el tiempo de incubación fue de 1, 3, 6, 12, 24, y 36 hrs. Para la degradación de la materia seca utilizo un diseño completamente al azar con arreglo factorial y para evaluar la tasa de desaparición de la materia seca lo hizo mediante la ecuación descrita por (Orskov y McDonald 1979).

Sus resultados indicaron que si hubo diferencia significativa para las primeras 6 hrs de degradación sin el maíz rolado y extruido que tuvieron mayor degradación de 67% y 79% respectivamente, en cuanto a la tasa de degradación y degradación efectiva fue más alta para el extruido y seguido del maíz rolado y el maíz normal molido.

En su trabajo de investigación de la evaluación bromatológica y digestibilidad in vitro de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con subproductos de cervecería, donde el nopal fue evaluado en dos factores. El primer factor en estudio fue el material vegetativo en dos procesos: la biomasa ensilada e in natura. El segundo factor corresponde al nopal (*Opuntia ficus-indica*), tratado con subproductos de cervecería; levadura (*Sacharomices cerevisiae*) y masilla, en diferentes niveles, arreglados de la siguiente manera; t1: 100 % Nopal (testigo), t2: 80 % Nopal + levadura 10 %, t3: 70 % Nopal + granos húmedos de cervecería (GHC) 20 %, t4: 60 % Nopal + levadura 10 % + GHC 20 %, (excepto al testigo, los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza).

Para analizar el contenido bromatológico, FDN y FDA, se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 4 por tres repeticiones. Factor A.- Biomasa ensilada e in natura. Factor B.- Los cuatro niveles en los que se evaluó al nopal adicionado con subproductos de cervecería. (Abrego, 2009), para analizar la cinética de digestión ruminal, empleó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2x4x6. El análisis bromatológico no encontró diferencia significativa. La digestibilidad fue diferente en el nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza donde el t2 tuvo el mayor porcentaje de digestibilidad de 77.95% a las 72 hrs.

Villegas, (1997) obtuvo valores de digestibilidad de 69.80% a 72 hrs. para la Materia Seca y 70.33% para la Materia Orgánica, estos valores de digestibilidad reportados para la alfalfa.

Urrutia et al., (1982) reporta la digestibilidad in vitro de la Materia Seca del rastrojo de Maíz con un valor de digestibilidad de 50.08%, a 72 hrs. de incubación.

Martínez, (1994) reportó valores de digestibilidad de *Agave salmiana* y *Agave atrovirens karw*, de 62.40 y 64.52 % respectivamente, y Barrera, (1987) en su experimento realizado con el Guishe de la *lechuguilla* (*Agave lechuguilla*), reportó valores de digestibilidad de 56%, a 72 hrs. de incubación.

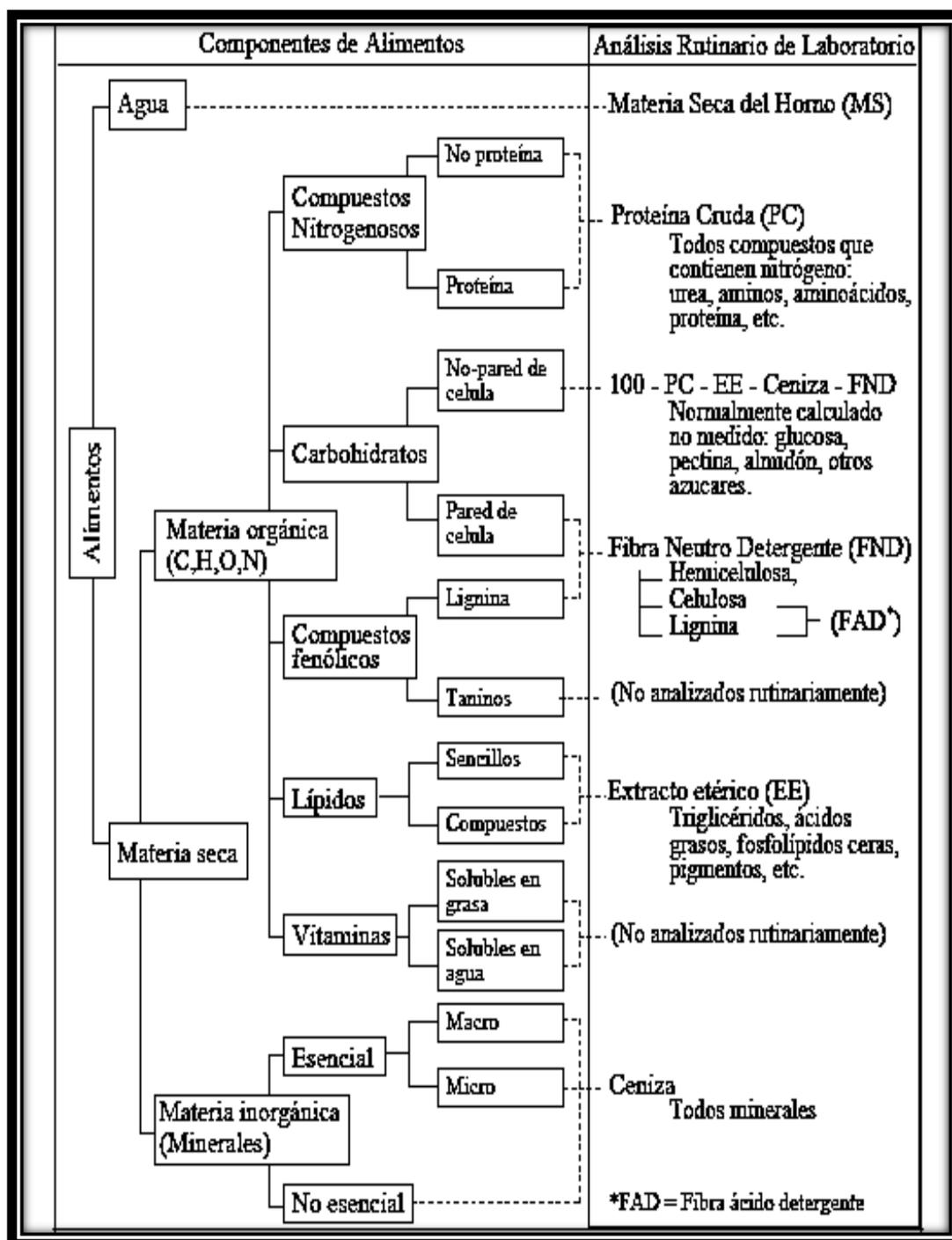
Arizpe, (1975) en su experimento con *Agave asperrima jacobi*, concluye que los *Agaves* aportan un mínimo de nutrientes, pero que la digestibilidad de estos nutrientes es bastante elevado, encontró que en la variedad con la que trabajó, presento 16.1 % de fibra.

En el trabajo que realizó Ruíz, (1975) reportó el 22.05% del total de nutrientes digestibles obtenidos del Maguey, y que la cantidad de nutrientes digestibles depende en gran medida de la cantidad de fibra contenida en el forraje.

### **Composición química.**

Los constituyentes de los alimentos son el agua y la materia seca. De acuerdo con Gaggiotti, (2008) y Wattiaux, (2005), la materia seca incluye compuestos orgánicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos y vitaminas) e inorgánicos (minerales). (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Composición general de los alimentos utilizados en la nutrición de rumiantes.**



Fuente: (Wattiaux, 2005).

### El agua.

El contenido de agua de los alimentos está sujeto a un amplio rango de variación. Puede oscilar desde un 8 % o menos en los alimentos secos (granos y rastrojos) hasta un 80-90 % en los alimentos succulentos (forrajes muy tiernos, raíces y tubérculos).

La proporción de agua de los pastos es de aproximadamente 90 % a comienzo de primavera y de 65 % en verano, de manera que, la densidad de nutrientes se ve aún más disminuida en primavera que en verano ( Church, 1993).

En las dietas basadas principalmente en alimentos con alto contenido de humedad, la presencia de agua diluye en forma marcada la concentración de nutrientes. Por otra parte es importante destacar que el agua en los pastos es predominantemente intracelular, contribuyendo al volumen de la dieta. La densidad y el contenido de agua en un forraje están intrínsecamente ligados y ambos pueden tener un gran impacto sobre el consumo voluntario (Church, 1993).

En varios trabajos se ha registrado que el contenido de agua en los alimentos tendría un efecto negativo sobre el consumo total de materia seca (Gaggiotti, 2008).

### **Los carbohidratos.**

Los alimentos que componen las dietas de los rumiantes son en su mayoría ingredientes de origen vegetal, los cuales están constituidos en buena parte por carbohidratos, ahora bien, el principal objetivo en la alimentación del ganado es sin duda, la conversión eficiente de estos materiales en proteínas y lípidos (carne/leche), lo cual se logra a través de la población microbiana del rumen que es capaz de metabolizarlos, con beneficios para su huésped (Gaggiotti, 2008).

### **Carbohidratos estructurales.**

Los alimentos para rumiantes contienen carbohidratos en diferentes estados de polimerización, que van desde monosacáridos hasta polímeros de alto peso molecular, como el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y la pectina.

Los últimos tres están integrados en la matriz de la pared celular y por lo tanto se los ha denominado **carbohidratos estructurales**. Son causantes de la fibrosidad del alimento, no están disponibles para el metabolismo energético de la planta, son insolubles en agua y poseen una fermentación potencial lenta y limitada. La pectina constituye una excepción debido a que es completamente fermentable en el rumen (Gaggiotti, 2008).

- La degradación y fermentación de los carbohidratos estructurales en el rumen se realiza en tres fases de acuerdo a (Russell y Hespell, 1981):
- Colonización por los microorganismos de las partículas vegetales.
- Disociación de los polisacáridos de la pared celular e hidrólisis de éstos en unidades más pequeñas.
- Fermentación intracelular de estas unidades de bajo peso molecular.

### **Fibra cruda.**

En muchos países, el contenido de fibra cruda es la medida oficial para determinar el contenido de fibra en un alimento. Aunque no es un método preciso para medir las paredes de las células. En la actualidad el concepto de fibra cruda está siendo reemplazado por el de fibra ácido detergente, que ofrece un estimación más precisa del total de fibra en el alimento este concepto es la referencia real del contenido de fibra de un alimento. La fibra cruda comprende a la celulosa, hemicelulosa, sustancias pépticas y lignina (NRC, 1989).

### **Fibra detergente ácido.**

La fibra detergente ácido (**FDA**) consiste primariamente de celulosa, lignina, y una porción de proteína contenida en la FDA. Está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del alimento y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento. Cuanto mayor es el contenido en FDA menor es la digestibilidad del alimento y la energía que contendrá (NRC, 1989).

### **Fibra detergente neutra.**

El total de la fibra de un alimento está contenido en la fibra detergente neutro (**FDN**) o “paredes celulares”. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa, y lignina. La FDN suministra la mejor estimación del contenido total en fibra del alimento y está estrechamente relacionado con el consumo de alimento. Al aumentar los valores de FDN, el consumo total de alimento disminuye.

Por lo general se asume que los rumiantes van a consumir un máximo de FDN cercano al 1.2% de su peso corporal. Las gramíneas contienen más FDN que las leguminosas comparadas a un estado similar de madurez (NRC, 1989).

### **Carbohidratos no estructurales.**

Los restantes carbohidratos, que no forman parte de la pared celular se denominan carbohidratos no estructurales (**CNE**). Son compuestos activos en el metabolismo de la planta, se almacenan en órganos de reserva y están constituidos principalmente por azúcares libres, almidón y fructosanos.

Este grupo de carbohidratos posee un potencial de fermentación rápida y total en el rumen. (Gaggiotti, 2008).

Los componentes del contenido y de la pared celular se pueden clasificar de acuerdo a su biodisponibilidad en tres clases. (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Biodisponibilidad de los componentes celulares.**

Componente	Digestibilidad (%)	Factor limitante
<b>Clase 1:</b>		
- Carbohidratos solubles	100	Consumo
- Almidón	+ 90	Pérdida fecal
- Ácidos orgánicos	100	Consumo/toxicidad
- Proteínas	+ 90	Fermentación
- Pectina	100	Fermentación
<b>Clase 2 (pared celular)</b>		
- Celulosa	variable	Lignificación, silificación y cutinificación
- Hemicelulosa	variable	
<b>Clase 3:</b>		
- Lignina	indigestible	Limitan la utilización de la pared celular.
- Cutina	indigestible	
- Sílice	indigestible	
-Taninos, aceites esenciales y polifenoles		Inhibidores de proteasas y celulasas

**Fuente: (Gaggiotti, 2008).**

Los alimentos que poseen un alto contenido de pared celular (voluminosos) limitan el consumo en los rumiantes pero las dietas deben contener un mínimo de fibra de adecuada calidad y propiedades físicas para mantener las condiciones normales de fermentación y evitar desórdenes metabólicos (Church, 1993).

## **Carbohidratos solubles.**

Los carbohidratos contenidos en el protoplasma celular son llamados carbohidratos solubles o no estructurales y comprenden: azúcares, almidones, y pectinas. Los azúcares son energía instantánea. Los almidones y las pectinas son carbohidratos de almacenamiento que se fermentan más lentamente que los azúcares, representando energía instantánea para las bacterias del rumen. Las raciones deben incluir de 30 a 45% de carbohidratos solubles en la materia seca total (Merchen, 1993).

## **Almidón.**

Entre los carbohidratos no estructurales, el almidón contenido en el endosperma del grano de los cereales, es uno de los compuestos relevantes en los sistemas de alimentación intensiva de rumiantes (Merchen, 1993).

Químicamente el almidón está formado por dos tipos de polímeros, la amilosa y amilopectina. La amilosa constituye un 20-30 % del almidón de los cereales, caracterizándose por tener una estructura amorfa, sin restricciones al paso del agua y a la amilasa, mientras que la amilopectina, constituye el 70-80 % del almidón de los granos (Kloster y Santini, 1995).

El almidón puede ser degradado tanto a nivel ruminal transformándolo en AGV o en el intestino delgado por acción de las enzimas del animal, siendo el producto absorbido, glucosa. El sitio de digestión del almidón varía en función del tipo de almidón, proporción en la dieta, nivel de consumo, edad del animal, etc. (Armstrong y Smithard, 1979).

El balance de los nutrientes contenidos en los alimentos es esencial a los fines de obtener la mayor eficiencia de conversión del alimento en producto. La velocidad y la proporción en la que son fermentados en rumen, son aspectos a tener en cuenta en el momento de seleccionar los componentes de la ración. Los carbohidratos poseen diferentes tasas de fermentación relativa.

Los azúcares solubles tienen una tasa de fermentación que duplica o triplica a la de los almidones de los granos de cereales y a su vez entre estos últimos existen diferencias marcadas (avena, cebada, maíz, en orden decreciente de tasa de fermentación (Church y Pond, 1994).

## **Componentes nitrogenados.**

El nitrógeno (N) de los alimentos puede dividirse en dos grupos principales: proteína verdadera (PV) y nitrógeno no proteico (NNP) soluble, obviando los ácidos nucleicos y otras formas de NNP. En los forrajes el contenido de ácidos nucleicos es insignificante pero los productos fermentados, ricos en microorganismos, pueden tener una cantidad apreciable de estos componentes (Owens y Goetsch, 1986).

### **Proteína.**

La proteína cruda es denominada “cruda” ya que no es una medición directa de la proteína sino una estimación de la proteína total basada en el contenido en nitrógeno del alimento (Nitrógeno x 6.25 = proteína cruda). La proteína cruda incluye la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico (NPN) tales como el nitrógeno ureico y el amoniacal (Owens, 1982).

El valor de proteína cruda no suministra información acerca de la composición en aminoácidos, la digestibilidad intestinal de la proteína o cuan aprovechable es en el rumen (NRC, 1989).

Por lo que los actuales sistemas de evaluación de proteína para el ganado (ARC, NRC, INRA) separan la proteína del alimento en proteína que se degrada en el rumen (proteína degradable) de la proteína que se escapa de la degradación ruminal y pasa al intestino delgado (proteína no degradable). La proteína soluble se encuentra dentro de la fracción de proteína degradable. La proteína que se fermentará en el tracto digestivo posterior y la insoluble que está ligada a la fibra, se encuentran dentro de la fracción de proteína no degradable (NRC, 1989).

La competencia entre pasaje y digestión ruminal para el sustrato potencialmente digestible define la proporción de alimento fermentado que pasará al omaso y abomaso. Este pasaje es importante debido existen diferencias marcadas (avena, cebada, maíz, en orden decreciente de tasa de fermentación) (Owens y Goetsch, 1986).

Es importante señalar que en la reducción de la solubilidad de las proteínas están involucrados dos tipos fundamentales de reacciones químicas (Gaggiotti, 2008):

- la desnaturalización.
- la formación de uniones conjugadas con otras sustancias.

### **Nitrógeno no proteico.**

En la mayoría de las gramíneas y otros forrajes verdes únicamente una parte del nitrógeno procede de las proteínas, mientras que el resto consiste en sales inorgánicas de nitrógeno, nitrógeno amino etc. Esto, sin embargo, no impacta en el metabolismo del rumiante ya que puede utilizar tanto el nitrógeno inorgánico como el nitrógeno proteico, mediante la actividad microbiana del rumen, donde las bacterias medirán en el nitrógeno no proteico y lo incorporan en sus propias proteínas (Orskov, 1982).

La proteína que hay en los cuerpos de los microorganismos se digiere seguidamente en el tubo intestinal del rumiante y se absorbe. Por ello, en lugar de que el animal consuma proteína pura, que es costosa, es posible aprovechar fuentes más baratas de nitrógeno, que pueden ser de igual eficacia. Las fuentes más importantes de nitrógeno empleadas en la nutrición de rumiantes son: amoníaco, urea, biuret, fosfato diamónico y polifosfato amónico (Orskov, 1982).

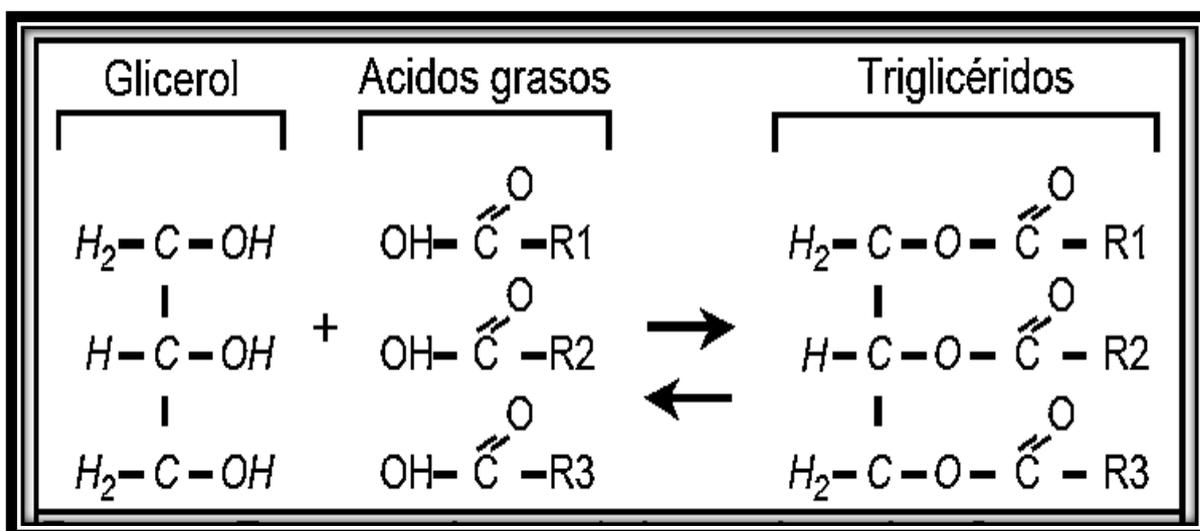
### **Lípidos.**

Típicamente los lípidos son extraídos de las semillas oleaginosas pero pueden estos ser incorporadas en forma entera en las dietas de las rumiantes. Los lípidos son insolubles en agua pero son solubles en solventes orgánicos (éter de petróleo, cloroformo, hexano etcétera) (Wiseman, 1984).

### **Triglicéridos.**

Los triglicéridos se encuentran principalmente en los granos de cereales, semillas oleaginosas y grasas de origen animal. La estructura básica de los triglicéridos consiste de una unidad de glicerol (un azúcar de tres carbonos) y tres unidades de ácidos grasos (Cuadro 5) (Wattiaux, 2005).

**Cuadro 5. Estructura básica de los triglicéridos.**



Los radicales (R1, R2, y R3) consisten de una cadena de carbonos de longitud y saturación variable. **Fuente: (Wattiaux, 2005).**

### **Glicolípidos.**

Los glicolípidos son una segunda clase de lípidos encontrados en los alimentos. Tienen una estructura parecida a los triglicéridos con la excepción que uno de los tres ácidos grasos ha sido reemplazado por un azúcar (galactosa). Cuando uno de los ácidos grasos esta reemplazado con un fosfato ligado a otra estructura compleja, el lípido se llama fosfolípido. Los fosfolípidos son componentes menores en los alimentos, encontrados principalmente en las bacterias del rumen (Wattiaux, 2005).

Los ácidos grasos encontrados en los lípidos de las plantas varían de 14 a 18 carbonos (Cuadro 6). El punto de fusión determina si el lípido estará en forma líquida o sólida a temperaturas normales.

El punto de fusión depende principalmente del grado de saturación y en menor grado de la longitud de la cadena de carbonos (Wiseman, 1984).

**Cuadro 6. Ácidos grasos comunes encontrados en el rumen.**

Nombre común	Estructura	Abreviación*	Punto de fusión (°C)
..... Ácidos saturados .....			
Mirístico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{12}\text{-COOH}$	(C14:0)	54
Palmitico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$	(C16:0)	63
Estearico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$	(C18:0)	70
..... Ácidos no-saturados .....			
Palmitoleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C16:1)	61
Oleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:1)	13
Linoleico	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:2)	- 5
Linolenico	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	(C18:3)	-11

\* El primer número indica el número total de carbón y el segundo el de enlaces dobles en la molécula. **Fuente: (Wattiaux, 2005).**

Los lípidos de plantas típicamente contienen 70 a 80% de ácidos grasos no saturados y tienden a quedarse en un estado líquido (aceites). Por otro lado, las grasas de origen animal contienen 40-50% de ácidos grasos saturados y tienden a quedarse en un estado sólido (grasas). El grado de saturación tiene un efecto marcado en el modo de digestión por los animales y en el caso del rumiante, si interfieren o no con la fermentación de carbohidratos en el rumen (Wattiaux, 2005).

### **Minerales y vitaminas.**

Los minerales (solos, asociados entre sí o combinados con grupos orgánicos) forman parte de los alimentos, cumplen importantes funciones en el organismo animal, por lo que estos elementos químicos deben estar presentes en la dieta de los animales, en cantidades adecuadas. Su déficit (o eventual exceso) puede ocasionar cuantiosas pérdidas (Underwood, 1984).

Underwood, (1984) ha identificado, como mínimo 15 minerales esenciales para los rumiantes. De ellos, hay 7 macro minerales: calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), cloro(Cl), magnesio (Mg) y azufre(S), y 8 micro minerales: cobalto (Co), cobre(Cu), iodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se) y zinc (Zn).

En los sistemas pastoriles, los proveedores naturales de minerales son las pasturas y el agua de bebida. Los pastos, a su vez, los obtienen de los compuestos asimilables presentes en el suelo donde crecen, y generalmente existe déficit más o menos intenso de alguno de ellos (Church y Pond, 1994). Esta puede ser una de las principales razones por las que la respuesta productiva a una abundante disponibilidad de cierto alimento no sea la esperada.

El contenido de vitaminas en un alimento no está determinado rutinariamente pero son esenciales en pequeñas cantidades para mantener la salud. Las vitaminas son clasificadas como solubles en agua (9 vitaminas del complejo B y vitamina C) y solubles en grasa ( $\beta$ -caroteno, o provitamina A, vitaminas D2, D3, E y K (Church, 1993).

### **Alimento.**

Un alimento puede ser definido como cualquier componente de una dieta o ración que puede aportar o no los nutrientes básicos necesarios para el organismo animal. Los nutrientes son compuestos orgánicos y/o inorgánicos esenciales para los procesos metabólicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y minerales (Gaggiotti, 2008).

### **Clasificación de alimentos.**

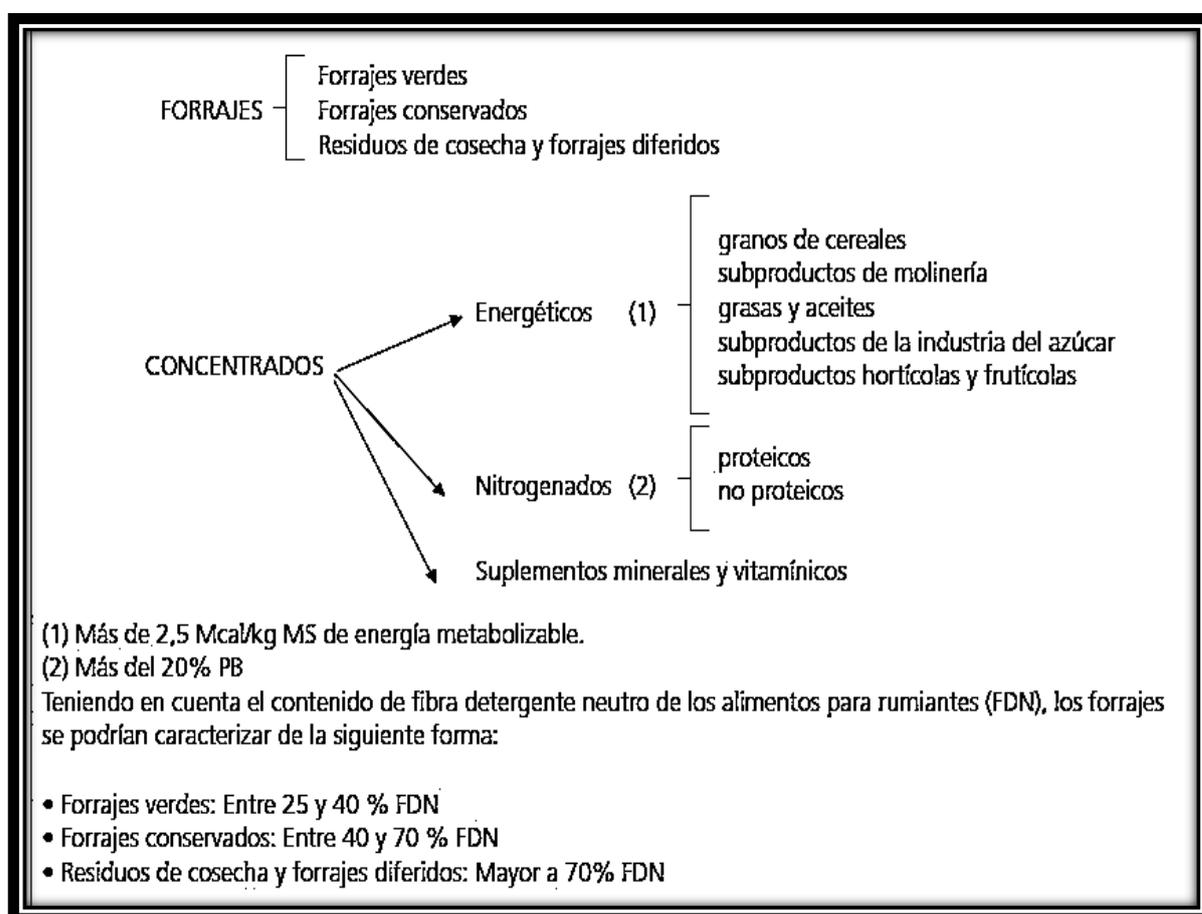
Los alimentos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: forrajes y concentrados. El criterio para la caracterización de ambos grupos es el contenido de fibra bruta (**FB**); en general los forrajes contienen más del 18 % de FB y los concentrados menos del 18 %. Sin embargo, ésta clasificación es imperfecta y arbitraria.

La FB no incluye totalmente a la lignina y a la hemicelulosa. Por ejemplo, la pulpa de remolacha que tiene un 17 % de FB y 47 % de pared celular (FDN), es considerada, de acuerdo a esta clasificación, como un concentrado, mientras que la alfalfa inmadura con 24 % de FB y 36 % de FDN es clasificada como un forraje (Church y Pond, 1994) y (Gaggiotti, (2008).

Los alimentos dentro de cada grupo varían considerablemente. Algunos forrajes frescos, como gramíneas y leguminosas en estado temprano de crecimiento, pertenecerían al grupo de los concentrados, pero se los clasifica como forrajes debido a que su alto contenido de humedad disminuye la concentración de nutrientes por unidad de peso.

Esto también se aplica a otros forrajes cuando su contenido de humedad es mayor al 40 %. Los criterios de clasificación se muestran en el cuadro 7.

**Cuadro 7. Clasificación básica de los alimentos.**



**Fuente: (Gaggiotti, 2008).**

Con alimentos demasiados fibrosos, el consumo puede incrementarse a través del procesado (picado, peletizado, reducción del tamaño de partícula y ruptura de la estructura de la pared celular) dando como resultado un incremento en la densidad de la dieta y una disminución en el trabajo de digestión y ruminación. Las ventajas de estos tratamientos dependerán de la naturaleza del alimento. En términos generales los voluminosos menos beneficiados son los de mayor digestibilidad (Gaggiotti, 2008).

### **Propiedades del alimento que impactan su consumo.**

Primeramente es importante hacer algunas referencias al término consumo. Minson, (1990) define el consumo voluntario como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando los animales se les ofrece en exceso.

La producción animal puede ser mejorada mediante el aumento del consumo de alimento o logrando que sean más eficientes la digestión y el metabolismo. En este sentido la sapidez y presentación tanto física como química desempeñan un papel fundamental sobre el consumo voluntario del ingrediente alimenticio (Church, 1993).

### **Sapidez.**

La atención prestada a la sapidez resulta escasa si se considera su importancia en la producción animal ha sido definida como la respuesta hedonista de un animal frente a su alimento dependiendo del sabor, olor y textura (Campling, 1991) y como la atracción que muestra un animal a ingerir un determinado alimento o ración (Church, 1974).

Es importante la investigación para encontrar productos que estimulen el consumo, ya que tales productos resultarían útiles para acortar los periodos de adaptación a nuevos alimentos o al mismo alimento con otra presentación. También pueden resultar útiles para enmascarar olores o sabores menos agradables derivados de aditivos o concentrados tales como gérmenes de malta o granos secos de destilería (Church, 1993).

La sapidez por lo tanto, es un determinante importante en el consumo de alimentos. Sin embargo suponiendo que la sapidez no limita el consumo, entonces el consumo de la mayoría de las dietas es limitado probablemente por una mezcla de factores físicos, hormonales y químicos (Church, 1993).

### **Forma física de la dieta.**

La forma y las propiedades físicas del alimento van a influenciar las cantidades comidas y los métodos de consumo. El tamaño de la partícula en la dieta y el consumo de materia seca (MS) parecen estar asociados (Burns *et al.*, 1991).

Se estima que los granos (alta densidad) son consumidos probablemente en grandes cantidades con poca frecuencia de comidas, mientras que el heno (baja densidad) es consumido más frecuentemente en pocas cantidades (Baile y McLaughlin, 1987).

Los forrajes molidos son consumidos en mayor cantidad y esto se explica porque hay un incremento en la velocidad de pasaje Ruiz y Vázquez, (1983), La tasa de degradación de las partículas en el rumen es uno de los factores fundamentales en determinar el consumo voluntario en los rumiantes alimentados en base a forrajes (Preston y Leng, 1989).

### **Energía.**

El factor más importante en determinar la ingestión total de energía por los rumiantes es el consumo voluntario y el animal debe poseer un mecanismo que regule el consumo en función del balance energético (Burns *et al.*, 1991).

Cuando los animales reciben alimentos de baja calidad (digestibilidad) en los cuales no existen desequilibrios nutricionales, la distensión ruminal y la fatiga son probablemente los mayores estímulos que interaccionan para reducir el consumo Preston y Leng, (1989). Si un rumiante, de mediana a buena producción, sus requerimientos serán mayores y por lo tanto llegará un momento en que llena el rumen pero no reúne sus requerimientos de producción, hablamos entonces de un control físico del consumo (Montgomery y Baumgardt, 1965).

En segundo lugar se podría considerar que a esta situación se le añada concentrado para completar los requerimientos del animal, entonces se observa que el consumo total de MS se disminuye y la digestibilidad se aumenta, y el animal con seguridad aumenta la producción. Esto sugiere que el animal ajusta su consumo voluntario en relación a su demanda fisiológica más que al llenado del rumen (Montgomery y Baumgardt, 1965). Un mecanismo quimiostático o termostático puede ser el responsable por disminuir el consumo.

En animales en pastoreo, la principal fuente de energía metabolizable son los ácidos grasos volátiles (AGV) provenientes de la fermentación ruminal, pero el estrés térmico reduce la cantidad de AGV producidos en el rumen (McDowell, 1985).

La influencia de la baja digestibilidad se hace patente cuando los nutrientes han sido balanceados (Preston y Leng, 1989).

## **Proteína.**

El consumo normalmente se ve disminuido con dietas de baja concentración proteica (Forbes, 1982). En los rumiantes el nivel crítico de N es más bajo que en otros animales debido a que ellos pueden reciclarlo a través de la saliva en forma de urea Forbes, (1986). Se ha postulado que los bajos niveles de N en la dieta es un factor que disminuye el consumo porque limita la fermentación ruminal y la velocidad de pasaje de la digesta (Ruiz y Vázquez, 1983) y la tasa de degradación de la celulosa (Forbes, 1982).

Una dieta baja en proteína puede ser suplementada con concentrado alto en proteína, con nitrógeno no proteico o con follaje de leguminosas. También se ha utilizado más recientemente la preparación de bloques multinutricionales los cuales resultan ser una manera práctica de suplementación en condiciones de pastoreo, observándose un incremento en el consumo de la materia seca, y aumento de la digestibilidad aparente del pasto, mejorando la retención de nitrógeno (Araujo-Febres *et al.*, 2001).

La suplementación de la dieta con proteína sobrepasante muchas veces incrementa el consumo (Preston y Leng, 1989) y (Forbes, 1998). Se ha señalado que es posible que los follajes de leguminosas ricas en taninos sean mejores fuentes de proteína sobrepasante que aquellos con contenidos bajos. Esto se debe a que los taninos enlazan las proteínas durante el proceso de masticación y al parecer reducen la tasa de degradación ruminal. Es poco probable, que cuando se utilicen plantas con contenidos altos en taninos como suplementos alimentarios, en concentraciones menores del 25 % de la MS de la dieta, existan problemas serios nutricionales. La suplementación de una dieta deficiente en N con una fuente adecuada incrementa el consumo al disminuir el desequilibrio de los nutrientes (Preston y Leng, 1989).

## **Fibra detergente neutra.**

Por otro lado, la densidad de los alimentos influirá probablemente en el consumo como consecuencia de la importancia de la distensión como señal de saciedad. Existen asociaciones inversas entre los consumos de materia seca así como también entre los consumos de forrajes (gramíneas y leguminosas) y su fibra detergente neutro (FDN) o contenido de membranas celulares (Mertens y Loften, 1980).

Los niveles de FDN están a su vez asociados negativamente con la digestibilidad y positivamente con el tiempo dedicado a la rumia (Mertens y Loften, 1980). Esto se consideró como indicativo de que las membranas celulares influían sobre el consumo a través de la influencia en el retículo-rumen (Van Soest, 1982). Mertens y Loften, (1980) señaló la existencia de FDN con densidad alta y baja, aunque con cualquiera de ambas clases de fibra, el consumo de alimentos mantiene una relación negativa con el contenido de FDN de los mismos ya que se ha demostrado que el contenido de FDN está relacionado positivamente con el llenado del rumen y en consecuencia relacionado negativamente con el consumo de materia seca.

### **Digestibilidad de los forrajes.**

La digestión se define como la preparación de los alimentos para la absorción. La cual incluye fuerzas mecánicas, químicas o una actividad enzimática y bacteriana. La función global de los diversos procesos digestivos consiste en reducir los alimentos a un nivel molecular a un estado de solubilidad que permita su absorción (Church y Pond, 1994).

Las técnicas de digestibilidad in Vitro se han constituido en la prueba de rigor para los forrajes. Esta consiste en dos etapas: una de fermentación de 48 horas, donde se incuba la muestra con licor ruminal uniforme; y otra de la digestión con pepsina con ácido. La técnica de in Vitro fue desarrollada por Clark y Mott, sin embargo, la paternidad de la misma se le atribuye a Tilley y Terry quienes fueron los primeros que probaron la técnica utilizando muestras de los forrajes templados, cuya digestibilidad in vivo era conocida (Castillo, 1988).

La digestibilidad mide la desaparición de los nutrientes en su paso a través del tracto debido a la absorción. En el caso de los rumiantes, particularmente, los coeficientes de carbohidratos complejos son siempre demasiado elevados como una medida de nutrientes absorbido debido a las pérdidas gaseosas. También hay pérdidas gaseosas en el extracto libre de nitrógeno (ELN). El coeficiente de digestibilidad de la fibra cruda (FC) está sujeto a controversia porque una parte de los residuos no digeridos de este componente alimenticio puede ser desdoblada en la forma suficiente como para aparecer en ELN de las heces, en lugar de aparecer en la porción de FC.

El contenido de la pared celular, lignina, hemicelulosa, sílice y proteína, se han usado en forma individual o en combinación para deducir la digestibilidad de la materia seca. Los procedimientos desarrollados por Tilley y Terry para las determinaciones in Vitro se han usado en forma amplia y exitosa (Maynard *et al.*, 1977).

### **Valor nutritivo del nopal.**

Los cactus, y específicamente *Opuntia* spp., constituyen una fuente de forraje extremadamente útil en tiempos de sequía primordialmente ya que proveen de energía digerible, agua y vitaminas no solo para el ganado, pues también ha sido usada como forraje para cerdos, sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta diaria, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio. Ya que crece en tierras severamente degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy poco cultivos logran desarrollarse y producir (De Alba, 1971).

La causa principal de baja productividad del ganado en México se debe a la alimentación deficiente del mismo, principalmente en las zonas áridas y en las semiáridas donde la producción de forraje es pobre e irregular durante el año y variable en cada año, por lo que la utilización de nopal para el consumo de los animales constituye el recurso valioso en estas zonas (De Alba, 1971).

Para mantener la actividad microbiana 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 (Ramírez *et al.*, 2000) y (Murillo *et al.*, 1994).

### **Calidad del forraje.**

La calidad del forraje difiere entre las especies, pero en promedio se puede indicar que el contenido de materia orgánica es 84 %, la digestibilidad de la materia orgánica 78.9 %, la proteína cruda entre 4.1 % y 14 %, la fibra detergente neutro 23.8 %, la fibra detergente ácido 14.7 % y el contenido de materia seca 9.1 %. (Guevara *et al.*, 2004), (Fuentes, 2003).

### **Relación nutricional de la planta con la edad.**

Un factor inherente sobre el rendimiento de MS y calidad nutricional del nopal forrajero es la edad de la planta con relación al lapso del corte o cosecha. Por ejemplo, Sáenz, (1997) señala que el contenido de fibra en cladodios de cactáceas se incrementa con la edad de la planta, un efecto que esto pudiera tener es que la lignina pudiera contribuir a disminuir el aprovechamiento alimenticio de este recurso; sin embargo, una alternativa de solución sería que durante el corte, se realice excluyendo el segmento cilíndrico del tallo (Padrón *et al.*, 2008).

### **Contenido de minerales.**

En el caso de las cactáceas la composición de cenizas varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie. Sus componentes principales son: Calcio y Potasio, pero también se encuentra algo de Magnesio, Sílice, Sodio y pequeñas cantidades de Hierro, Aluminio, y Manganeso, los cuales predominan en forma de carbonatos, aunque también se encuentran como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de fosfatos (Granados y Castañeda, 1996).

### **Relación nutricional de la planta con la estacionalidad.**

La composición de los cladodios de cactus varía dependiendo de los factores edáficos en el sitio de cultivo, la estación, la edad de la planta, entre especies y variedades (Stintzing y Carle, 2005). Un aspecto básico para el uso forrajero del nopal, es la correlación entre estacionalidad y contenido principalmente de proteína, de acuerdo a Ramos *et al.*, (1998) la proteína metabolizable es el principal nutriente limitante en el crecimiento de bovinos.

**Cuadro 8. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (por ciento en base a materia seca).**

Especie	M S	M O	P C	G C	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>O. Rastrera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	Palomo, 1963
<i>O. Cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	Palomo, 1963
<i>O. Lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	Palomo, 1963
<i>O. Robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	Palomo, 1963
<i>O. Ficus – indica</i> var. <b>Amarillo oro</b>	11.29	86.93	3.81	1.38	7.62	13.07	74.13	Bauer y Flores, 1969
<i>Nopalea spp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.51	17.21	26.21	50.7	Griffiths y Hare, 1906

**MS:** materia seca, **MO;** materia orgánica, **PC;** proteína cruda, **GC;** Grasa cruda, **ELN;** extracto libre de nitrógeno. **Fuente:** (Vázquez, 2008).

Al hacer el análisis bromatológico de diferentes especies de nopal (Cuadro 9.) y comparar la producción de *Opuntia* con otras especies forrajeras, maíz forrajero y remolachas, se encuentra que el nopal tiene mayor producción de nutrientes a un costo menor en condiciones de riego y temporal (Flores y Aguirre, 1979).

**Cuadro 9. Análisis bromatológico de diferentes especies de nopal porcentajes con base en materia seca.**

<b>Genotipo</b>	<b>Materia Seca</b>	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Proteína Cruda</b>	<b>EE</b>	<b>Fibra</b>	<b>Ceniza</b>	<b>ELN</b>
<i>Nopalea spp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.50	17.21	26.21	50.70
<i>O.chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.10	4.32	26.55	64.43
<i>O. tenuispinta</i>	12.45	70.20	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52
<i>O.megacantha</i>	10.12	74.52	7.71	1.38	3.75	25.49	68.87
<i>O. rastrera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23
<i>O.azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	69.84
<i>O.cantabrigensis</i>	11.89	68.46	4.79	1.09	3.70	31.54	58.87
<i>O.engelmanii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32
<i>O.lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75
<i>O.lindehimeri</i>	11.57	74.50	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25
<i>O.robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61
<i>O.streptacantha</i>	16.10	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34
<i>O.leucotricha</i>	4.50	74.00	7,56	2.66	14.00	26.00	49.78
<i>O.imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86
<i>O.cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.20	27.49	54.04
<i>O.stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16
<i>O.duranguensis</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91
<i>O.ficus-indca</i>	11.29	86.93	3.80	1.38	7.62	13.07	74.13

**EE:** Extracto Etéreo. **ELN:** Extracto libre de Nitrógeno. **Fuente:** (Flores, 1977).

El nopal se puede emplear no solo durante la sequía, también como parte integral de la alimentación de los rebaños con los que se obtiene provecho y se producen efectos benéficos en los animales que han estado sujetos a una dieta a base de forrajes secos se estima que el ganado vacuno puede consumir de 15 a 40 Kg. de cladodios frescos/día/cabeza, pero bajo condiciones de sequía extrema el consumo puede alcanzar hasta 90 Kg. diarios, si hay abundancia de cladodios, mientras que en las ovejas y cabras consumen entre 3 y 9 Kg. /día.

Durante las estaciones lluviosas, el consumo puede decrecer si existe pasto u otros forrajes. Para ganado estabulado y ovejas, el consumo de nopal varia ampliamente (de 15 a 95 Kg. /día) dependiendo de la disponibilidad de otros forrajes. Los forrajes más comunes usados como complemento del nopal son: alfalfa (fresca o henificada), rastrojo de sorgo, harina de maíz o frijol, trigo o avena, que poseen bajo valor nutricional comparada con opuntia. La demanda de nopal se incrementa día a día, particularmente durante periodos de sequía (Ríos, 1954). En este caso, conviene tomar en cuenta la digestibilidad del nopal. En comparación con los forrajes es buena, ya que algunos aspectos superan a la alfalfa, como es el caso de materia seca, grasa cruda, fibra, extracto libre de nitrógeno y materia orgánica.

El nopal es un forraje pobre en nutrientes con una digestibilidad regular; también considera que es un forraje con gran cantidad de agua y pobre en materia seca, tosco con base en el nivel de energía que se metaboliza por kilogramo de materia seca, y que su energía digestible debe considerarse en el nivel de los forrajes toscos de la época de escasez como pajas, rastrojos y silos (1.83 Kg. de calorías, 1 Kg de materia seca) (Flores, 1977).

**Cuadro 10. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (materia seca, %).**

Especie	M S	M O	P C	G C	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	Palomo, 1963
<i>O. lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	Palomo, 1963
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	Palomo, 1963
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. ficus - indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Baurer y Flores, 1969
<i>O. spp.</i>	10.01		5.71	3.01	8.11	12.01	55.01	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	7.96		4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	Lastras y Pérez, 1978

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

### **Valor nutritivo del maguey.**

La importancia socioeconómica y agroecológica del maguey se hace evidente en el uso que se le da como forraje para la alimentación del ganado. Constituye una de las mejores opciones forrajeras, debido a la alta eficiencia en el uso del agua y a la adaptación del recurso a diferentes hábitats, sobre todo en las zonas semidesérticas.

Del agave se utilizan las hojas e incluso la piña para darlo como suplemento a los animales ya que les proporcionan: altos niveles de energía digestible, minerales y agua, los cuales cubren los requisitos de mantenimiento y producción de ganado. Se hace notar que para lograr obtener el beneficio del potencial de su alta digestibilidad, es necesario suplementar con nitrógeno (N, mismo que las bacterias del rumen necesitan para digerir la fibra. Los ganaderos acostumbran picarlo en el campo o en el corral y combinarlo con otras fuentes de alimentos como los residuos de cosecha. Con esta práctica se reduce la tasa de mortalidad de ganado, se reduce el consumo de agua, se reduce la compra de forraje, pudiéndose tener mayor carga animal en los predios, así como una mejor distribución y consumo de sales minerales lo que redundará en una mejor condición física del ganado.

También el agave usado como forraje para rumiantes, tiene importancia por su alta productividad, su empleo en periodos críticos del año (estiaje) y sus ventajas nutrimentales, como son su alto contenido de azúcares, material mineral y fibra cruda, lo cual se

aprovecha si se emplea una base regular de alimentación del ganado durante todo el año. El agave, con una densidad de 750 plantas/ha tiene una productividad de 55 toneladas de forraje fresco (6.1 ton de materia seca) (Martínez, 1994). Comparándolo con el nopal con 1,250 plantas ha<sup>-1</sup>, produce 32 toneladas de forraje fresco (3.5 t de materia seca) (Hamilton, 1992).

Se ha comprobado que la alimentación de borregos con bagazo de maguey (*Agave tequilana*), combinado con rastrojo de maíz, suplementado con rastrojo de soya y harina de pescado o harinolina (proteína cruda), permite a los animales mantener su peso durante la época de escasez de alimentos, logrando acortar el tiempo para llegar al peso de mercado, además de mantener la fertilidad de las hembras.

La calidad forrajera del maguey depende de la parte que sea utilizada, aunque el uso más común son las hojas. En hojas de *Agave salmiana* se determinó por electroforesis que los niveles de minerales como Ca, Mg, Zn, Fe y Cu, satisfacen los requerimientos diarios de ganado lechero (Silos *et al.*, 2005). En animales con raciones bien formuladas, donde se combinan diversos alimentos para que se logre una óptima digestión, hay una digestibilidad del maguey arriba del 80 %, dependiendo de la parte de la planta (penca, piña, y quiote), de su edad y del estado fisiológico. Así, el ensilaje del maguey es una opción práctica para administrarlo finamente picado y apropiadamente balanceado.

De acuerdo con Pinos-Rodríguez *et al.*, (2008) la parte superior y baja de las hojas de *Agave salmiana* son buena fuente de carbohidratos solubles. Sin embargo tiene bajos contenidos de proteína cruda por lo cual es necesario un complemento proteínico. *Agave salmiana* ensilado disminuye su concentración de saponinas, teniendo una fermentación aceptable. El análisis de la composición química sugiere que las plantas maduras (piña) y los brotes son los estados más deseables del *Agave* para ser usado como forraje para rumiantes.

Silos, (2005) menciona que las hojas de maguey contienen el 89 % de humedad 10% de materia seca, 5% de proteína cruda, 17.03 % de fibra detergente neutro, 14.39 % fibra detergente ácido (FDA), 2.61% lignina, 0.31 de nitrógeno ligado a FDA y menciona que lo más sobresaliente es el 3.03 % de proteína disponible. Además considera que el maguey representa un forraje de mejor calidad en comparación al heno de maíz, avena y el nopal.

Por otro lado Martínez, (1994) en su experimento reporto los siguientes valores: materia seca 11.12%, proteína cruda, 4.96%, carbohidratos 58.63%, extracto etéreo 1.64%, fibra cruda 18.46% y cenizas 16.89%, para la variedad *atrovirens karw*, y para la variedad *salmiana* registro para la materia seca 12.22%, proteína cruda 5.43%, carbohidratos 57.77%, E. Etéreo 1.58%, fibra cruda 16.39% y cenizas 18.18.83%, estos resultados muy parecidos en porcentajes de contenido nutricional.

De acuerdo con Pinos-Rodríguez *et al.*, (2008) la parte superior y baja de las hojas de *Agave salmiana* son buena fuente de carbohidratos solubles. Sin embargo tiene bajos contenidos de proteína cruda por lo cual es necesario un complemento proteínico. *Agave salmiana* ensilado disminuye su concentración de saponinas, teniendo una fermentación aceptable. El análisis de la composición química sugiere que las plantas maduras (piña) y los brotes son los estados más deseables del Agave para ser usado como forraje para rumiantes. En estudios recientes Zamudio et al., (2009) mencionan que la combinación de agave-alfalfa mejora la calidad nutricional, la digestibilidad ruminal permitiendo el ensilado de agave; la inclusión de alfalfa mejora las características nutricionales del ensilado de agave para rumiantes.

Resultados obtenidos en dos variedades de Maguey, *Agave atrovirens karw* y *Agave salmiana* para Materia Seca 10.37 %, Proteína Cruda 4.46% carbohidratos 57.9%, Extracto Etéreo 1.38%, Fibra Cruda 19.68% y Cenizas 16.095%, para la variedad *atrovirens karw* y para la variedad *salmiana*, registró para Materia Seca 11.14 %, Proteína Cruda 4.62%, carbohidratos 57.135, Extracto Etéreo 1.33%, Fibra Cruda 17.24% y Cenizas 20.51% (González, 1994).

Martínez, (1994) en su experimento con las mismas variedades de Maguey, con las que trabajo González, reportó los siguientes valores: Materia Seca 11.12%, Proteína Cruda 4.96%, carbohidratos 58.63, Extracto Etéreo 1.64%, Fibra Cruda 18.46% y Cenizas 16.89%, *para la variedad atrovirens karw*, y para la variedad *salmiana* registró para Materia Seca 12.22%, Proteína Cruda 5.43 % Carbohidratos 57.77%, Extracto Etéreo 1.58%, Fibra Cruda 16.39% y Cenizas 18.83%.

**Cuadro 11. Análisis bromatológico del Maguey (*Agave asperrima jacobi*) base húmeda.**

Componente	% de nutrientes
<b>Materia Seca</b>	15.77
<b>Proteína Cruda</b>	0.77
<b>*E.L.N.</b>	1.48
<b>Extracto Etéreo</b>	1.88
<b>Fibra Cruda</b>	16.11
<b>Cenizas</b>	1.05

\* Extracto Libre de Nitrógeno **Fuente: (Arizpe, 1975).**

Arizpe, (1975) en su trabajo concluyó que el maguey (*Agave asperrima jacobi*), aporta un mínimo de nutrientes digestibles totales (Cuadro 11), la digestibilidad de cada uno de los nutrientes es bastante alta aunque es difícil de llenar las necesidades de mantenimiento de un animal proporcionando maguey por lo tanto es necesario mezclarlo con otro tipo de forraje o suplemento con la finalidad de cubrir con las necesidades nutricionales del animal.

**Cuadro 12. Análisis bromatológico del Maguey, porciento de digestibilidad y total de nutrientes digestibles obtenidos.**

Nutrientes	% Total	%Digestibilidad	N.D.T %
<b>Proteína Cruda</b>	1.87	98.26	4.110
<b>*E.L.N.</b>	0.77	98.63	0.750
<b>Extracto Etéreo</b>	1.48	98.88	1.460
<b>Fibra Cruda</b>	16.10	97.75	15.730

\* Extracto Libre de Nitrógeno. **Fuente: (Ruíz, 1975).**

### **Digestibilidad de la Pared Celular de los Forrajes Utilizados en la alimentación de los animales.**

Los rumiantes han desarrollado la habilidad de utilizar el material vegetativo de las plantas como su única fuente de nutrientes, por medio de los microorganismos que alojan en su rumen. Aproximadamente del 35 a 80% de la materia orgánica de los tejidos vegetales está contenida en la pared celular, la cual proporciona rigidez estructural a la planta. Sin embargo, los rumiantes que dependen exclusivamente de las plantas consumidas en libre pastoreo obtienen solo de un 30 a 40% de la energía digestible consumida de la pared celular del forraje (Jung y Allen, 1995).

Se han reportado animales que consumen altos niveles de forraje con alta concentración de pared celular y tienen baja digestibilidad, por lo tanto, la disponibilidad de energía en su dieta es limitada (Galyean y Goetsch, 1993).

Dependiendo de la constitución de la pared celular su digestibilidad varía; de 100% en las células mesófilas a 0% en xilema, esta variación ocurre en diferentes tejidos dentro de una parte de la planta y entre tejidos similares en diferentes especies de forraje (Akin, 1993).

Señales de la pared celular provocadas por la predación de insectos inducen a la producción de moléculas de defensa, formándose capas de proteínas y lignina, como respuesta a la invasión de patógenos fúngicos y virales, este proceso tiende a reducir el grado de digestibilidad de la pared celular (Bowles, 1990).

Para que las células alcancen su forma funcional e individualidad tienen que elongarse y diferenciarse. La expansión coordinada y la diferenciación de las células individuales se logran por alteraciones sutiles de la estructura química de los componentes de la pared y las determinantes mecánicas de la forma de la célula (Taiz, 1984).

Se puede apreciar que la pared celular primaria es una matriz extracelular químicamente dinámica, con un mosaico de respuestas y llena de diversas formas y funciones. Existen grupos de trabajo a escala mundial que estudian la pared celular desde varios ángulos:

Sus propiedades físicas y químicas, su participación en la resistencia a enfermedades, en el reconocimiento celular, como fuente de oligosacáridos con actividad biológica, y su digestibilidad (López, 1991).

El grado de digestión diferencial de los monosacáridos se ha interpretado como indicador de la remoción selectiva de la celulosa y hemicelulosa con alto grado de sustitución.

Sin embargo, las diferencias observadas en la digestibilidad de monosacáridos pueden ser explicados por diferencias en composición entre la pared primaria y la pared secundaria (Hespell y Whitehead, 1990).

### **Degradación de la pared celular de los forrajes.**

La estructura y función de la pared celular está controlada por la composición y organización de los componentes individuales. El grado de lignificación y la formación de complejos lignina-carbohidratos son los factores que controlan la degradación de la pared. Todos los polisacáridos dentro de la matriz de la pared celular son igualmente afectados por la lignificación. Otros estudios sugieren que, la tasa de degradación de la celulosa no cambia cuando la pared celular es delignificada; sin embargo, la reducción en el tamaño de partícula tiene un efecto positivo sobre la degradación de la celulosa (Hatfield, 1993).

La delignificación incrementa la tasa de degradación de polisacáridos no celulósicos en un grado mayor que la reducción del tamaño de partícula, por lo que consideran que las características estructurales limitan la degradación de la celulosa más que la lignina, pero que la lignina tiene un efecto más profundo sobre los polisacáridos no celulósicos dentro de la matriz de la pared celular (Merchen y Bourquin, 1994).

La cantidad de lignina puede ser el factor clave que limite la degradación de la pared celular; sin embargo, la organización de la matriz de la pared, en el cual se encuentra la lignina, puede regular el grado de su influencia sobre la degradación de los polisacáridos de la pared celular (Hatfield, 1993).

Otro factor en el forraje, además de la lignina que limita la degradación de la pared celular es la cutícula que contiene ceras y polímeros cerosos, su efecto sobre la degradación parece estar limitado a la membrana cuticular (Van Soest, 1994).

La cutícula y las ceras están adheridas a la pared de la epidermis sobre la superficie de la planta. La cutina está frecuentemente esterificada con ácidos fenólicos y en asociación no covalente con la pectina de la pared celular epidermal. Estos compuestos forman una barrera disfuncional que impide la digestibilidad del tejido intacto (Himmelsbach, 1993).

La identificación de factores estructurales específicos, limitantes de la degradación de la pared celular es compleja y la importancia relativa de cada uno de ellos puede variar con la madurez del forraje; sin embargo, esta información puede contribuir en gran medida a incrementar la utilización de la energía contenida en la pared celular del forraje (Kumar y Dímello, 1995).

## **Los Microorganismos del rumen y su Actividad sobre los Alimentos.**

El ambiente del rumen y el intestino grueso es anaeróbico y, como era de esperar, casi todos estos microorganismos son anaerobios o anaerobios facultativos. Cada mililitro del contenido ruminal tiene más o menos 6 a 8 mil millones de bacterias, un millón de protozoarios y números variables de levaduras y hongos los microorganismos fermentativos pertenecen a muchos géneros y proporcionan una bacteria comprensiva de capacidades digestivas (Austgen y Bowen, 1998).

Los microorganismos convierten al rumen en una verdadera cámara de fermentación con temperatura constante (39 grados centígrados) y acidez variable pero sin llegar nunca a los extremos y con la peculiaridad de que esta cámara se encuentra en posibilidad de recibir continuamente nuevos alimentos y dejar salir los productos de la fermentación y grandes cantidades de los propios microorganismos (De Alba, 1980).

Los protozoarios, predominantemente ciliados, parecen contribuir substancialmente al proceso de fermentación. Varios experimentos han demostrado que ovinos y bovinos que se privaron de sus protozoarios ruminales mostraron las tasas de crecimiento menores comparadas con los animales que poseían tanto las bacterias como los protozoarios (Haelein y Caccese, 1992).

La distribución de las especies microbianas varía con la dieta. Esto parece reflejarse en la disponibilidad del sustrato; por ejemplo, las poblaciones de microorganismos celulolíticos son presionados en animales con dietas ricas en grano (Besse, 1977).

El líquido del rumen tiene normalmente un pH entre 6 y 7, pero puede bajar si el animal consume grandes cantidades de carbohidratos solubles. Si desciende el pH cerca de 5.5, las poblaciones protozoarias llegan a ser presionadas debido a su intolerancia ácida.

El descenso más drástico del pH del rumen, como puede ocurrir con el exceso del grano, este descenso puede destruir muchas especies de protozoarios y como consecuencia ocasionan problemas graves para el animal (Varner, 1998).

Los hongos que se encuentran en el rumen tienen la capacidad de fermentar polisacáridos (celulosa), calculándose que más del 8% de la biomasa microbiana del rumen está constituida por éstos (Varner, 1998).

Gracias a la microbiota ruminal, los carbohidratos fibrosos como la celulosa y hemicelulosa pueden representar la fuente más importante de energía para los rumiantes. Las raciones carentes de fibra pueden conducir a desórdenes de la digestión. Cuando los carbohidratos de la dieta entran al rumen son hidrolizados por enzimas extracelulares de origen microbiano. En el caso de los carbohidratos fibrosos, el ataque requiere de unión física de las bacterias a la superficie de la partícula vegetal, la acción de las enzimas bacterianas libera principalmente glucosa y oligosacáridos hacia el líquido ruminal por fuera de los cuerpos celulares microbianos (Jaakola y Huhtanen, 1993).

Los ácidos grasos volátiles sintetizados en respuesta a un estricto control metabólico por parte de los microorganismos ruminales, son utilizados por estos para la formación de aminoácidos y ácidos grasos que serán posteriormente incorporados al metabolismo bacteriano.

Los microorganismos del rumen son capaces de sintetizar todos los aminoácidos, incluyendo los esenciales para el hospedero. Por ende los rumiantes son casi totalmente independientes de la calidad de las proteínas ingeridas. Además los microorganismos pueden utilizar fuentes de nitrógeno no proteico (NNP) como sustrato para la síntesis de aminoácidos (Besse, 1977).

El amoníaco es el principal compuesto nitrogenado que utilizan los microorganismos para la síntesis de aminoácidos y proteínas, hay que considerar que para esto se requiere suficiente energía o carbohidratos; el amoníaco se utiliza además para la formación de diversos compuestos nitrogenados de la pared celular y ácidos nucleicos (Austgen y Bowen, 1998).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio.

El material se colecto en los ejidos Arteaga y Bella Unión del Municipio de Arteaga, Coahuila Ubicado a 25°26'00" N, 100°49'03" O con una altitud de 1,745 msnm (figura 1).



**Figura 1.** Ejido Bella Unión.

### Localización del área de trabajo.

La evaluación de los materiales colectados se realizó en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, ubicada en las coordenadas 25° 22” latitud norte y 101° 00” longitud oeste con una altitud sobre el nivel del mar de 1742 mts. La zona de estudio tiene un clima BMW (X); de muy seco a semicalido con invierno fresco, extremo, con lluvias en verano y una precipitación media anual de 298.5 mm, siendo los meses de junio a octubre los más lluviosos y marzo el más seco, una temperatura media anual de 19.8 °C. El clima está clasificado como seco o árido (Mendoza, 1983).

### Material evaluado.

Las plantas se cortaron entre la segunda y tercera penca para el nopal y para el maguey entre la segunda y tercera hoja, en triplicado. Se colectaron en promedio alrededor de 15 kg de muestra de las dos especies en el mes de junio 2012 y enero 2013 (figuras 2 y 3).



**Figura 2.** *Agave salmiana otto*.



**Figura 3.** *Opuntia rastrera*.

**Cuadro 13. Parámetros climáticos promedio de Arteaga.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima registrada (°C)	33	39	38	38	40	41	39	38	39	39	36	34	41
Temperatura diaria máxima (°C)	18.4	20.0	23.1	26.5	28.7	29.5	29.8	28.4	25.8	23.8	21.8	18.7	24.5
Temperatura diaria mínima (°C)	4.8	5.6	7.5	10.4	12.5	13.3	13.6	13.0	11.0	9.0	7.0	5.1	9.4
Temperatura mínima registrada (°C)	-4	-4	-3	0	0	2	2	1	1	-1	-2	-10	-10
Precipitación total (mm)	10	15	7	25	34	56	88	85	103	31	17	20	491

Su punto más alto es la formación El Coahuilón a 3,700 msnm y se ubica en la Sierra de Arteaga. [http://es.wikipedia.org/wiki/Arteaga\\_\(Coahuila\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Arteaga_(Coahuila)).

### Procedimiento.

Los análisis de las muestras colectadas se realizaron en el laboratorio del Departamento de Producción Animal, que se encuentra en las instalaciones de la Universidad donde se determinó lo siguiente:

- Análisis bromatológico de acuerdo a los procedimientos de la AOAC, (1990). Así como de las fracciones de fibra cruda (FC), fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) celulosa y lignina, de acuerdo al procedimiento descrito por (Mendoza, 1987).

- Determinación de la digestibilidad *in-vitro* de la materia seca se hizo, de acuerdo al procedimiento de Tilley y Terry, (1963), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) la cual se interrumpió en los siguientes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 hrs.) con los ajustes de (Ankom Daisy, 1998).

## **Material utilizado**

### **Reactivos.**

- $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- $\text{NaCl}$
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Urea (reactivo de marca)
- $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
- Gasa
- Inoculo fluido de rumen
- Reactivos para determinación de fibra detergente neutro
- Agua destilada 5.5 lts.

### **Aparatos.**

- Molino Willey con malla de 1 mm.
- Mufla marca Thermolyne modelo 1500
- Microkjeldahl
- Sifón Soxleth
- Incubadora “Daisy” (Ancom Technology Corporation).
- Bolsa que impulsa a sellar al calor
- Cilindros graduados de 2 y 1lt.
- 1 termo
- Tela para filtrar (gasa)
- Papel aluminio
- Parrilla eléctrica
- Vaso Berzelius

## **Procedimiento experimental**

El líquido ruminal se obtuvo de bovinos sacrificados en el rastro municipal con un peso aproximado de 450 kg., los cuales fueron alimentados con dietas de forrajes y concentrados.

La muestra de forraje se somete a una fermentación anaerobia con líquido ruminal, saliva artificial y posteriormente a una digestión de pepsina ácida.

Durante la fase inicial hay un lapso de tiempo en el cual la degradación es menor debido a que hay una adaptación de las bacterias del rumen al alimento, a esto se le conoce como fracción A, ya que hay una adaptación de las bacterias, se da un incremento en la degradación, a lo cual se le conoce como fracción B, la degradación llega a un punto donde se mantiene por cierto tiempo y luego esa degradación desciende debido a que ya no hay más sustrato para seguir la degradación del alimento.

La muestra se evaluó para estimar la digestibilidad in-vitro de la materia seca y se utilizaron tres repeticiones por cada tratamiento.

Se utilizaron tres bolsas que sirvieron de blancos (el blanco se procesó exactamente igual excepto que no lleva muestra).

## **Cálculos Harris, *et al.*, (1968)**

A.- peso secado al aire de la muestra= 0.5

B. - % materia seca total (MST)

C.-% materia orgánica (MO), muestra base seca.

D.-peso del crisol vacío o peso del papel.

E.-peso del crisol + residuo o papel + residuo

F. - peso crisol + cenizas.

G.- % M.S. inicial  $A \times B / 100$

H.- Materia seca residuos de muestra E-D g.

I.- materia seca residual del blancos x de los 4 tubos E-Dg

### **Digestibilidad *In-Vitro* de la materia seca % (DIVMS)**

G- (H-I) x 100 /G

J. - Materia seca inicial g

G(C) /100

K.- M.O. residual de la muestra E-F g

L.-M.O. residual del blanco. Media de los tres tubos E-F g

### **Digestibilidad *In-Vitro* de la materia orgánica % (DIVMO)**

J.- (K-L) x 100/J

% M.O.

% M.O. base seca = %M.S.T- ceniza base seca

### **Análisis estadístico**

Para el estudio del contenido nutricional, se utilizó un análisis de varianza para la evaluación de los datos de los cuatro tratamientos: T1= Nopal Arteaga, T2= Nopal Bella Unión, T3= Maguey Arteaga y T4= Maguey Bella Unión, a las cuales se les asignó 3 repeticiones respectivamente, bajo un diseño de bloques completamente al azar (Olivares, 1993) utilizando el paquete SAS (versión 9.0).

Para la determinación de la DIVMS, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4X7, teniendo cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno y siete tiempos de incubación. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$Y = A + B (1-EXP (CT))$$

**Dónde:**

A = fracción altamente degradable.

B = fracción potencialmente degradable.

B se calcula como  $B = (a + b) - A$

C = velocidad de degradación.

El tiempo de retraso se calcula a partir de la ecuación ajustada, es decir, el valor de t cuando  $Y = A$ .

Para la determinación de la correlación que pudiera existir entre el tiempo y la digestibilidad, se realizó el análisis respectivo para encontrar una respuesta entre el tiempo y la cantidad de materia degradada, en cada tiempo de incubación, (McDonald, 1981), utilizando el paquete (NEWAVE PROGRAM Rowett Research Institute, 1992).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización bromatológica del nopal.

#### Evaluación nutricional de la variedad de *Opuntia* utilizada

En el cuadro 14 y gráfica 1, se muestran los resultados del contenido nutricional de la variedad de *Opuntia* utilizada. Para Arteaga se obtuvieron los siguientes resultados: Materia Seca 10.17%, Materia Orgánica 70.43%, Cenizas 25.14%, Extracto Etéreo 1.73%, Proteína Cruda 9.14%, Fibra Detergente Acida 33.99%, Fibra Detergente Neutra 56.61%, Fibra Cruda 31.15% y Extracto Libre de Nitrógeno 35.96% y para Bella Unión se obtuvieron los siguientes resultados: Materia Seca 10.40%, Materia Orgánica 81.41%, Cenizas 13.17%, Extracto Etéreo 1.59%, Proteína Cruda 9.59%, Fibra Detergente Acida 33.75%, Fibra Detergente Neutra 54.26%, Fibra Cruda 24.59% y Extracto Libre de Nitrógeno 53.48%, en las que se puede apreciar que las dos especies presentan valores semejantes en el contenido de materia seca, extracto etéreo, proteína cruda, (en base a materia seca) mientras que en el contenido de Materia orgánica, ceniza, fibra detergente acido, fibra detergente neutro, fibra cruda se pueden observar diferencias mayores ( $P>0.05$ ).

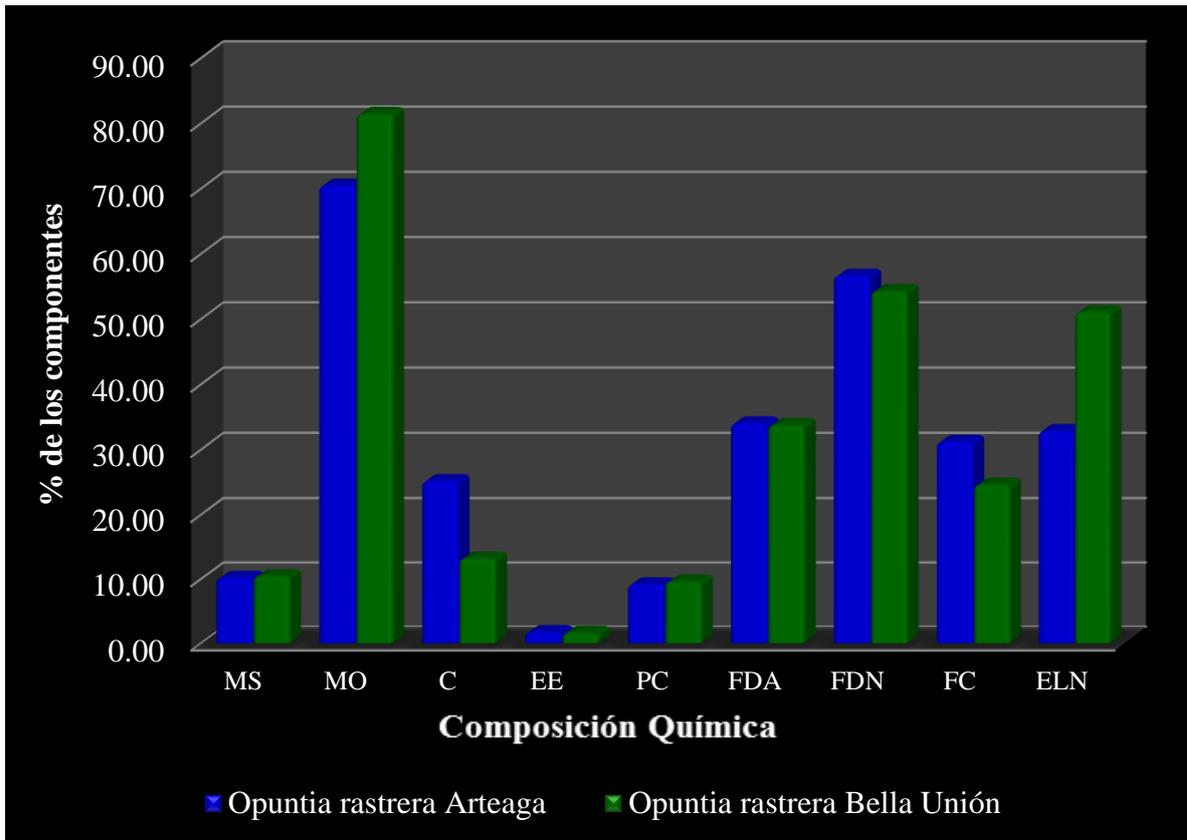
Realizando una comparación con el estudio de Mata, (2011) quien evaluó nutricionalmente 2 variedades de nopal (*Opuntia spp.*), reportando para el forrajero los siguientes resultados: proteína entre 1.2-2.65%, extracto etéreo 1.42-1.85%, fibra cruda entre 9.23-10.54%, cenizas entre 12.05-16.23%, encontrando que extracto etéreo se encuentra dentro de este rango, mientras que las cenizas, fibra cruda y proteína presentan resultados muy por arriba de los rangos citados a los obtenidos por (Flores, 1977), pero en cuanto a MS se encuentra dentro de este rango. Para FDA y FDN de las dos especies utilizadas se obtienen valores por arriba a los citados por (Medina *et al.*, 2006), quienes mencionan que el contenido de FDA se encuentra alrededor de 16% y el contenido de FDN entre 30 y 45% aproximadamente.

**Cuadro 14. Contenido Nutricional de *Opuntia rastrera***

MUESTRA	MS	MO	C	E.E	PC	FDA	FDN	FC	ELN
Arteaga	10.17 <sup>a</sup>	70.43 <sup>b</sup>	25.14 <sup>a</sup>	1.73 <sup>a</sup>	9.14 <sup>a</sup>	33.99 <sup>a</sup>	56.61 <sup>a</sup>	31.15 <sup>a</sup>	35.96 <sup>b</sup>
Bella Unión	10.40 <sup>a</sup>	81.41 <sup>a</sup>	13.17 <sup>b</sup>	1.59 <sup>a</sup>	9.59 <sup>a</sup>	33.75 <sup>a</sup>	54.26 <sup>a</sup>	24.59 <sup>b</sup>	53.48 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> literales diferentes en columnas indican diferencia significativa ( $P>0.05$ )

**Grafica 1. Comparación de la composición química de *Opuntia rastrera* entre localidades.**



**Evaluación nutricional de la variedad de *Agave* utilizada.**

En el cuadro 15 y gráfica 2, se muestran los resultados obtenidos de la composición química de la variedad de *Agave* utilizada. Para Arteaga se obtuvieron los siguientes resultados: Materia Seca 10.17%, Materia Orgánica 56.85%, Ceniza 41.51%, Extracto Etéreo 1.05%, Proteína Cruda 5.35%, Fibra Detergente Acida 42.93%, Fibra Detergente Neutra 82.78%, Fibra Cruda 41.13% y Extracto Libre de Nitrógeno 35.96%. Y para Bella Unión se obtuvieron los siguientes resultados: Materia Seca 10.40%, Materia Orgánica 86.72%, Ceniza 11.24%, Extracto Etéreo 1.68%, Proteína Cruda 8.25%, Fibra Detergente Acida 46.51%, Fibra Detergente Neutra 87.52%, Fibra Cruda 46.37% y Extracto Libre de Nitrógeno 32.44%, en las que se puede apreciar que las dos especies presentan valores semejantes en el contenido de materia seca total, extracto etéreo, fibra detergente ácido, mientras que en el contenido de ceniza, proteína cruda, fibra cruda y fibra detergente neutro se pueden observar diferencias mayores ( $P > 0.05$ ), probablemente debido a factores como lo son edad, época en la que se colectaron las muestras y lugar de recolección.

Realizando una comparación con algunos estudios como el de Baraza *et al.*, (2008) en el cual reportan 4.7 % de proteína cruda en *A. salmiana* silvestre y de 5.1 hasta 6.6 % en *A. salmiana* cultivado se encuentra que los resultados obtenidos están por arriba de los citados esto es debido a algunos factores como lo son edad, época en la que se colectaron las muestras y lugar etc.

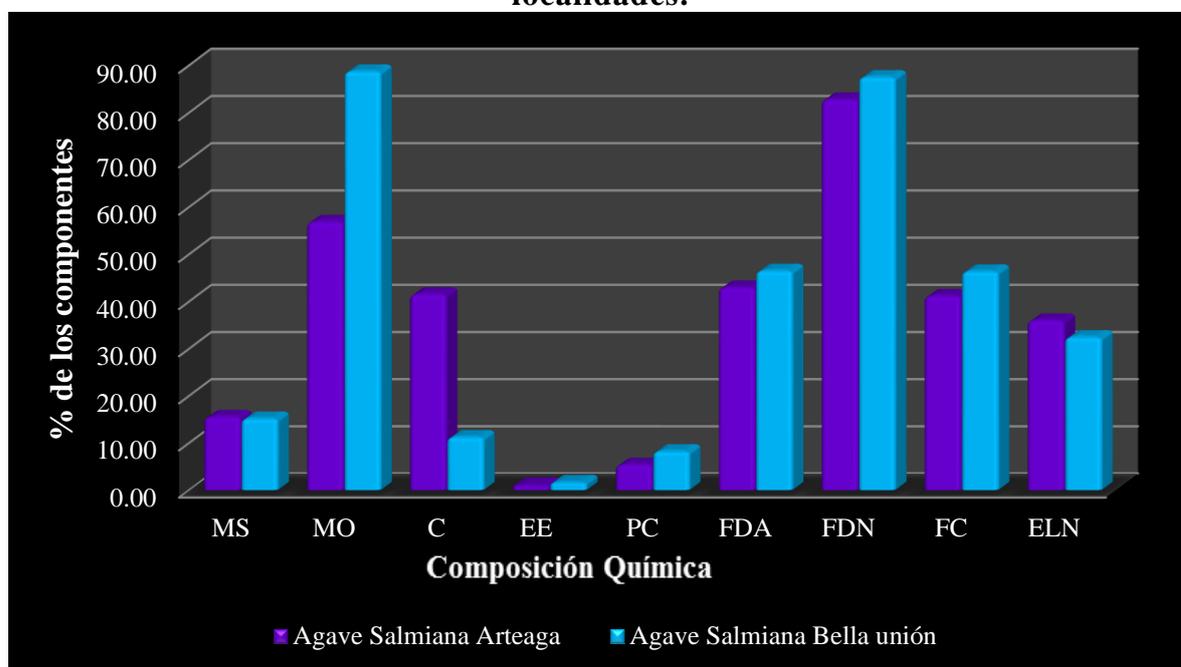
Mientras que para Extracto Etéreo, cenizas, Fibra Cruda son semejantes a los obtenidos por González, (1994) y Martínez (1994). Sin embargo, los resultados para FDN y FDA son similares a los de Baraza *et al.*, (2008), ya que reportan un contenido de 33.3 y 28.2 % de FDN y FDA, respectivamente, en *A. salmiana* silvestre mientras que los obtenidos están un tanto por arriba de los citados.

**Cuadro 15. Contenido Nutricional de *Agave salmiana otto*.**

MUESTRA	MS	MO	C	E.E	PC	FDA	FDN	FC	ELN
Arteaga	15.50 <sup>a</sup>	56.85 <sup>b</sup>	41.51 <sup>a</sup>	1.05 <sup>b</sup>	5.35 <sup>b</sup>	42.93 <sup>b</sup>	82.78 <sup>b</sup>	41.13 <sup>b</sup>	35.96 <sup>a</sup>
Bella Unión	15.20 <sup>a</sup>	86.72 <sup>a</sup>	11.24 <sup>b</sup>	1.68 <sup>a</sup>	8.25 <sup>a</sup>	46.51 <sup>a</sup>	87.52 <sup>a</sup>	46.37 <sup>a</sup>	32.44 <sup>b</sup>

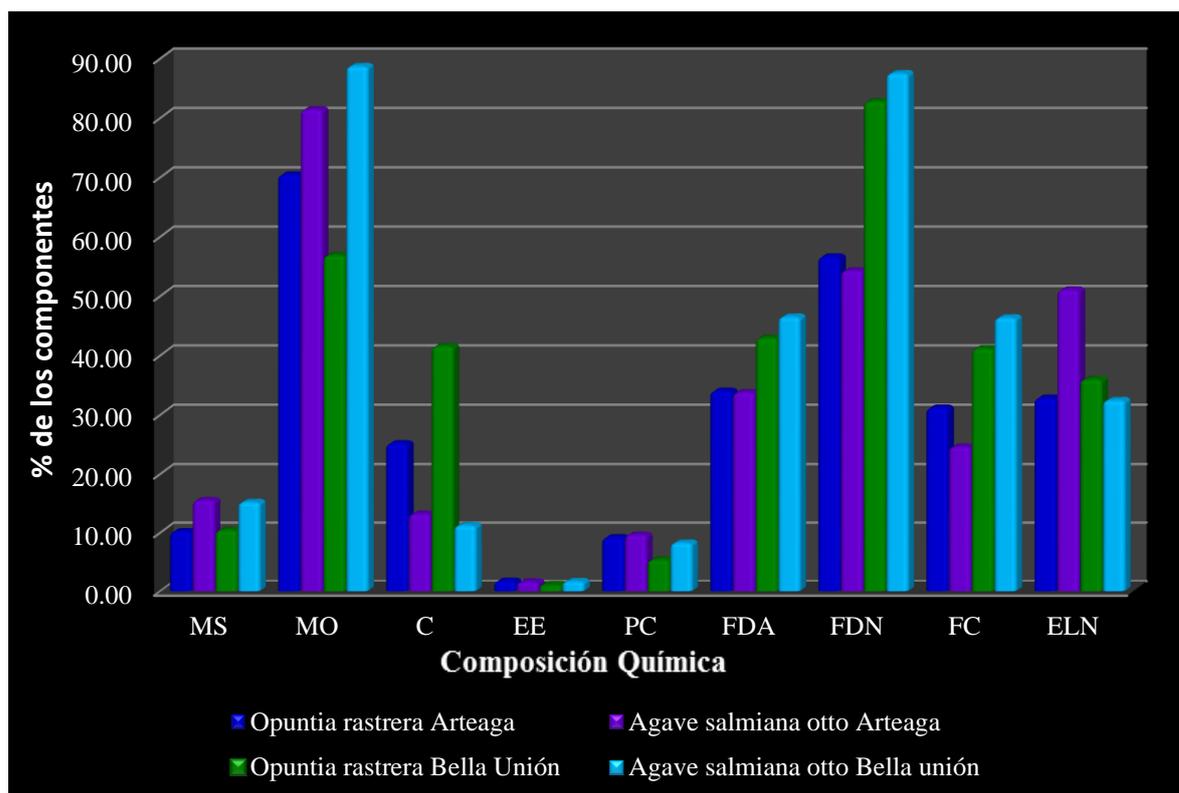
<sup>ab</sup> literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P>0.05).

**Grafica 2. Comparación de la composición química de *Agave salmiana* entre localidades.**



En la gráfica 3 se puede apreciar la representación comparativa en cuanto al porcentaje de composición química de la especie de *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana Otto* en cuanto a las localidades en que fueron colectadas las muestras.

**Grafica 3. Comparación de la composición química entre especies y localidades.**



En el cuadro 16 y gráfica 4, se presentan los valores de digestibilidad de *Opuntia rastrera* en los diferentes intervalos de tiempo en que se llevó a cabo la digestibilidad de cada muestra de las diferentes localidades donde se puede observar que los valores obtenidos son muy diferentes para las dos muestras y las cuales alcanzan su mayor grado de digestibilidad a un tiempo de incubación de 48 horas con una digestibilidad de 84.13% para Arteaga y 66.64% para Bella Unión para posteriormente disminuir la digestibilidad a un tiempo de incubación de 72 horas.

**Cuadro 16. Relación tiempo y digestibilidad de *Opuntia rastrera* para cada localidad.**

Tiempo de digestibilidad (horas)	Digestibilidad de <i>Opuntia rastrera</i> Arteaga (%)	Digestibilidad de <i>Opuntia rastrera</i> Bella Unión (%)
0	44.724 <sup>a</sup>	33.376 <sup>a</sup>
3	48.228 <sup>b</sup>	42.770 <sup>b</sup>
6	65.216 <sup>c</sup>	47.405 <sup>c</sup>
12	74.438 <sup>d</sup>	52.558 <sup>d</sup>
24	77.364 <sup>e</sup>	58.579 <sup>e</sup>
48	84.131 <sup>f</sup>	66.647 <sup>f</sup>
72	76.277 <sup>g</sup>	58.516 <sup>g</sup>

abcdefg literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P>0.05).

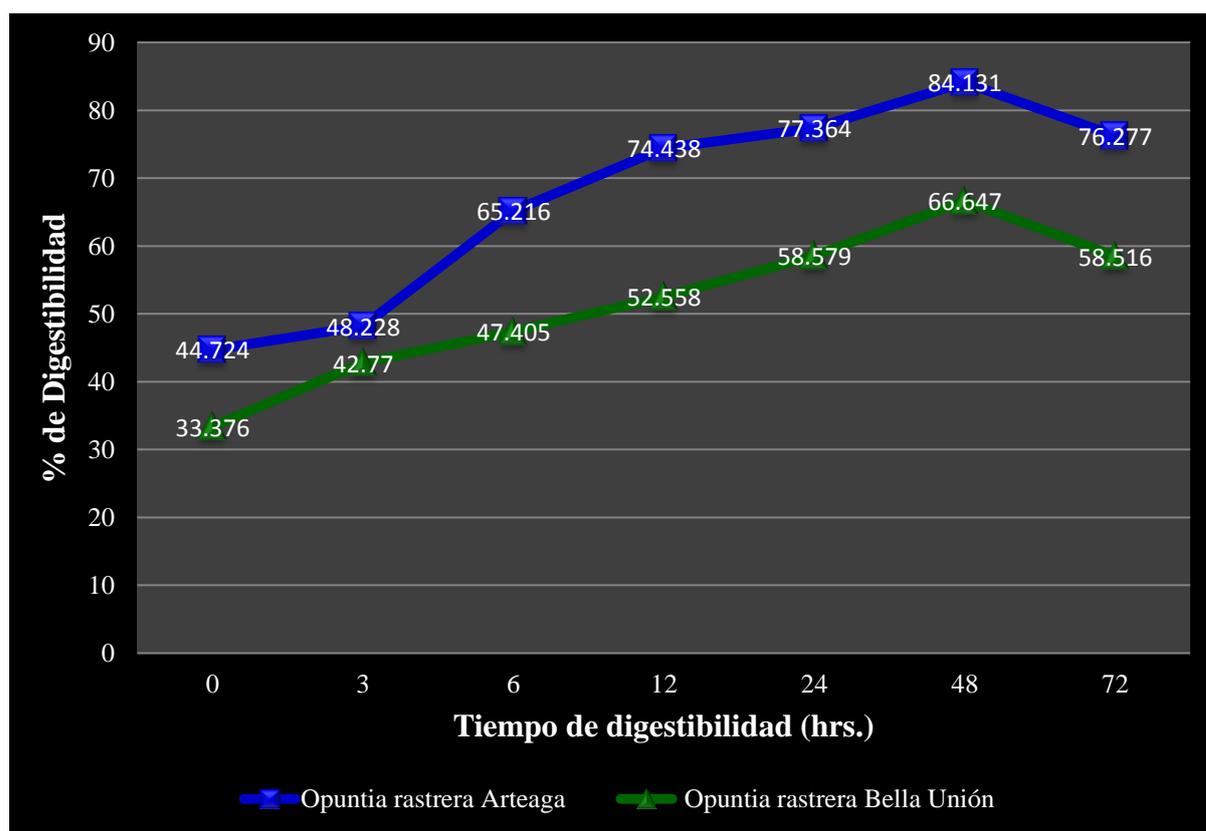
Los valores obtenidos del nopal son muy similares a los obtenidos por Abrego, (2009) quien observó una DIVMS a las 72 hrs de 80.31% de nopal in natura sin ningún subproducto de cervecería y de 77.95% con nopal al 80% + 10% de melaza y 10% de subproductos de cervecería y a las 24 hrs una digestibilidad de 71.79% con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproductos de cervecería. Este mismo autor registró digestibilidad de nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecería en el cual obtuvo digestibilidad de 76.28% a las 72 hrs con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproducto de cervecería, 75.18% con nopal al 60% + 10% de melaza y 30% de subproducto de cervecería a las 24 hrs y el nopal sin ningún subproducto de cervecería y sin melaza tuvo la mayor digestibilidad de 61.32% hasta las 96 hrs.

Por otra parte, González, (1964) menciona que en una prueba de digestibilidad aparente en la que se utilizaron tres vacas criollas, con tres raciones, R1) 40 kg de nopal solo, R2) 40 kg de nopal + 0.500 kg de harinolina y R3) 40 kg de nopal+ 0.700 kg de sorgo; se observó que la ración de nopal + harinolina fue superior a las de nopal + sorgo, al tener el coeficiente de digestibilidad de 93.4%, 75.7% y 71.9%, respectivamente.

Similarmente Shoop et al., (1977) determinaron que el 80 por ciento de la digestión total de *O. polyacantha* en las Grandes Planicies ocurrió durante las primeras 16 horas de un período de incubación de 48 horas, mientras que la digestión total de pellets y heno de alfalfa únicamente ocurrió el 73 y 71 por ciento en un período inicial de 16 horas.

La principal diferencia entre el nopal y otras fuentes de forraje es la degradación de los nutrientes en el rumen, mientras que la degradación potencial de los demás forrajes en el rumen frecuentemente alcanza 48 horas, los nutrientes del nopal se degradan entre 6 y 12 horas, de modo que puede asumirse que no existe extracción significativa de nutrientes después de 24 horas (Ben Thlija, 1987).

**Grafica 4. Comparación de la digestibilidad de *Opuntia rastrera* entre localidades.**



Los resultados de los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca de *Agave salmiana* a diferentes intervalos de tiempo de las diferentes localidades, mediante el método Daisy, se muestran en el cuadro 17 y gráfica 5, en donde se puede observar que los valores obtenidos son muy similares para las dos muestras y las cuales alcanzan su mayor grado de digestibilidad a un tiempo de incubación de 48 horas con un porcentaje de digestibilidad de 91.53% para Arteaga y 92.53% para Bella Unión para posteriormente disminuir la digestibilidad a un tiempo de incubación de 72 horas.

**Cuadro 17. Relación tiempo y digestibilidad de *Agave salmiana otto* para cada localidad.**

Tiempo de digestibilidad (horas)	Digestibilidad de <i>Agave salmiana otto</i> Arteaga (%)	Digestibilidad de <i>Agave salmiana otto</i> Bella Unión (%)
0	53.407 <sup>a</sup>	59.713 <sup>a</sup>
3	58.308 <sup>b</sup>	68.426 <sup>b</sup>
6	65.577 <sup>c</sup>	75.179 <sup>c</sup>
12	74.443 <sup>d</sup>	78.218 <sup>d</sup>
24	83.864 <sup>e</sup>	83.513 <sup>e</sup>
48	91.538 <sup>f</sup>	92.538 <sup>f</sup>
72	83.755 <sup>g</sup>	86.488 <sup>g</sup>

abcdefg literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P>0.05).

Los valores obtenidos del maguey son muy parecidos a los obtenidos por Gómez, (2003) quien comenta que tuvo mayor digestibilidad 90.74- 90.33% en el tiempo 72 y 48 hrs en *agave salmiana* y *agave americana*. García, (1984) reporto que la mayor digestibilidad se presenta en los tratamientos de flor y melaza y flor con un 95% y 94% respectivamente y que los tratamientos realizados con quiote y melaza presentan valores menores de digestibilidad de un 49% y 41% en tratamientos a base de puro quiote.

Mientras que Barrera, (1987) en su experimento realizado con el Guishe de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), reportó valores de digestibilidad de 56%, a 72 hrs. de incubación. Martínez, (1994) reportó valores de digestibilidad de *Agave salmiana* y *Agave atrovirens karw*, de 62.40 y 64.52 % respectivamente.

López *et al.*, (2001) determinaron la digestibilidad *in situ* de la materia seca del maguey maduro (*Agave salmiana*) y de residuos de mezcalera (pencas de desvirado, quiotes en prefloración y bagazo), y encontraron que la penca de desvirado fresca tuvo la mayor degradación ruminal ( $P>0.05$ ), seguida del maguey fresco y de la penca de desvirado oreada, mientras que el maguey entero fresco presento la tasa de desaparición (Kd/h) más alta, en tanto que el maguey oreado y la penca de desvirado fresca tuvieron los valores subsecuentes.

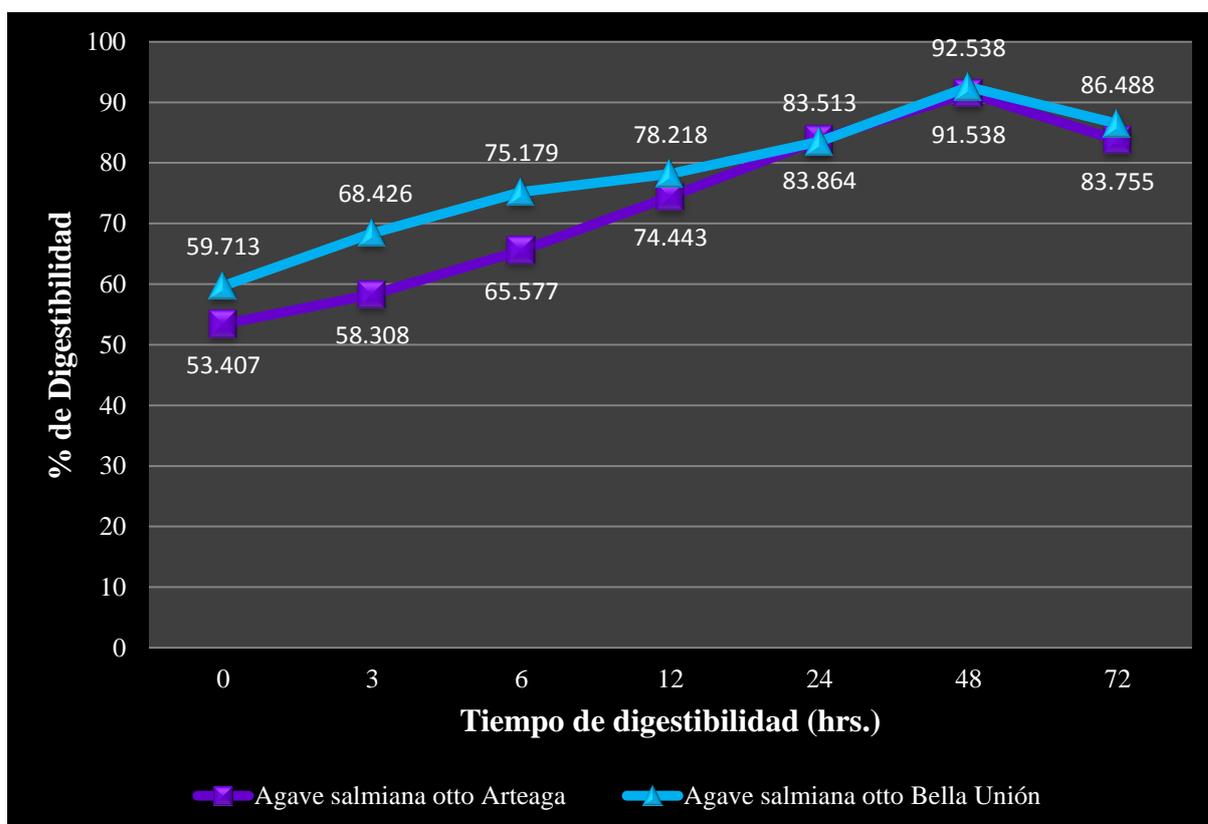
Por otra parte Arizpe, (1975) menciona que la digestibilidad del maguey es alta, sin embargo es difícil llenar las necesidades de mantenimiento de un animal proporcionando únicamente maguey, por lo que se debe mezclar con ingredientes de mejor calidad. García-Herrera *et al.*, (2010) menciona que en animales con raciones bien formuladas, donde se combinan diversos alimentos para que se logre una óptima digestión, hay una digestibilidad del maguey arriba del 80 %, dependiendo de la parte de la planta (penca, piña, y quiote), de su edad y del estado fisiológico.

Urrutia *et al.*, (1982), reportan la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo de maíz con un valor de digestibilidad de 50.08%, a las 72 horas de incubación, este resultado indica baja digestibilidad.

Cherney *et al.*, (1993) reportan valores altos para la alfalfa (75.1%), ensilado de maíz (73.2%) y avena (83.7%) de DIVMS que son semejantes con los resultados obtenidos en el tratamiento 5 (24 hrs) y tratamiento 7 (72 hrs). Valdés y Jones (1987), obtuvieron una DIVMS en 30 zacates de 63.3% en promedio y 25 leguminosas de 58.5% en promedio.

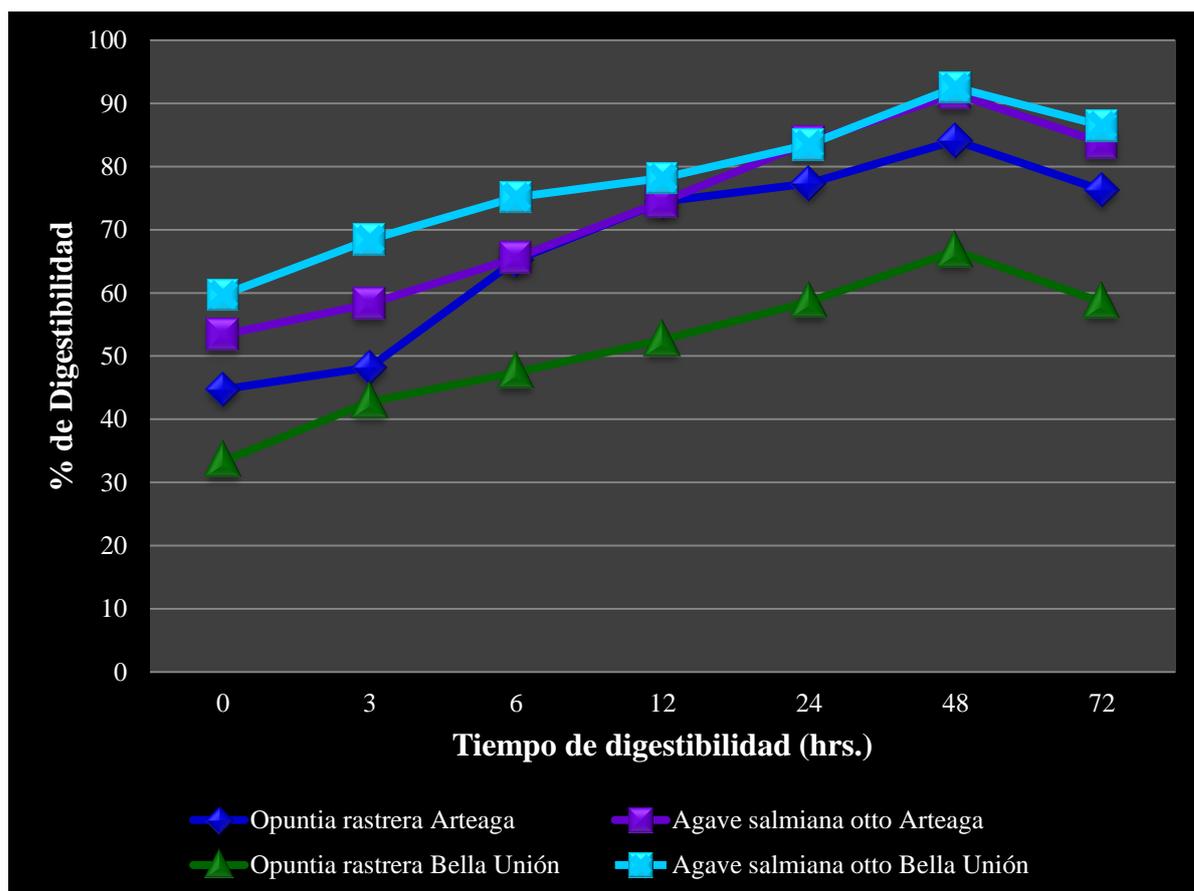
Fisher *et al.*, (1989) mencionan que la extensión de la digestibilidad in vitro de la materia seca a las 48 hrs generalmente se correlaciona bien con los coeficientes de digestión in vivo. Sin embargo no todos los forrajes tienen su máxima extensión de desaparición a las 48 hrs. Esto también pudo ser afectado por otros factores como genéticos, variedad, estado de madurez, edad de la planta, estación del año, frecuencia de corte entre otras, factores físicos y químicos del suelo De Alba, (1971, Espinoza, (1987), Flores, (1977) y Velasco *et al.*, (1958), haciendo referencia a lo antes mencionado y los resultados obtenidos indican que *Opuntia* y *Agave* son más digestibles que los zacates, rastrojo de maíz y leguminosas.

**Grafica 5. Comparación de la digestibilidad de *Agave salmiana otto* entre localidades.**



En la gráfica 6 se puede apreciar la representación comparativa en cuanto a la digestibilidad de las especies *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana Otto* en relación con tiempos en que se efectuaron cada uno de ellos y en cuanto a las localidades en que fueron colectadas las muestras.

**Grafica 6. Comparación de la digestibilidad entre *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* entre localidades.**



Durante la fase inicial hay un lapso de tiempo en el cual la degradación es menor debido a que hay una adaptación de las bacterias del rumen al alimento, a esto se le conoce como fracción A, ya que hay una adaptación de las bacterias, se da un incremento en la degradación, a lo cual se le conoce como fracción B, la degradación llega a un punto donde se mantiene por cierto tiempo y luego esa degradación desciende debido a que ya no hay más sustrato para seguir la degradación del alimento. Por lo que se afirma que entre más tiempo pasen las muestras de alimento más serán digeridos por los organismos del rumen, pero también se observa que baja esto porque llega a su máxima degradación además de que ya no hay presencia de sustrato.

En los cuadros 18, 19, 20 y 21 se muestran los resultados obtenidos para la fracción soluble a tiempo 0 (A), la fracción insoluble potencialmente degradable (B), la tasa fraccional de degradación de la fracción B que se representa como C, la degradación residual (RSD) y la degradación máxima potencial (A+B). Esto respectivamente para cada una de las especies analizadas de las diferentes localidades.

La fracción soluble fue baja, por lo cual se aprecia una lenta desaparición de la fracción potencialmente degradable. Los alimentos que tienen fracción “B” alta y cuya degradabilidad es intermedia serán más afectados por aumentos en la tasa de pasaje debido a una mayor dependencia del tiempo de permanencia en el rumen para ser degradados.

**Cuadro 18. Cálculos de las fracciones de degradación *in vitro* para *Opuntia rastrera* (Arteaga).**

Digestibilidad	A=42.24		B=38.10		C=.1274		RSD=4.71	
Tiempo (hrs.)	0	3	6	12	24	48	72	
Mediciones	44.72	48.23	65.22	74.44	77.36	84.13	76.28	
Valores ajustados	42.24	54.24	62.60	72.08	78.54	80.25	80.33	

A= fracción soluble, B= fracción insoluble, C= tasa fraccional de degradación de la fracción B, RSD= degradación residual.

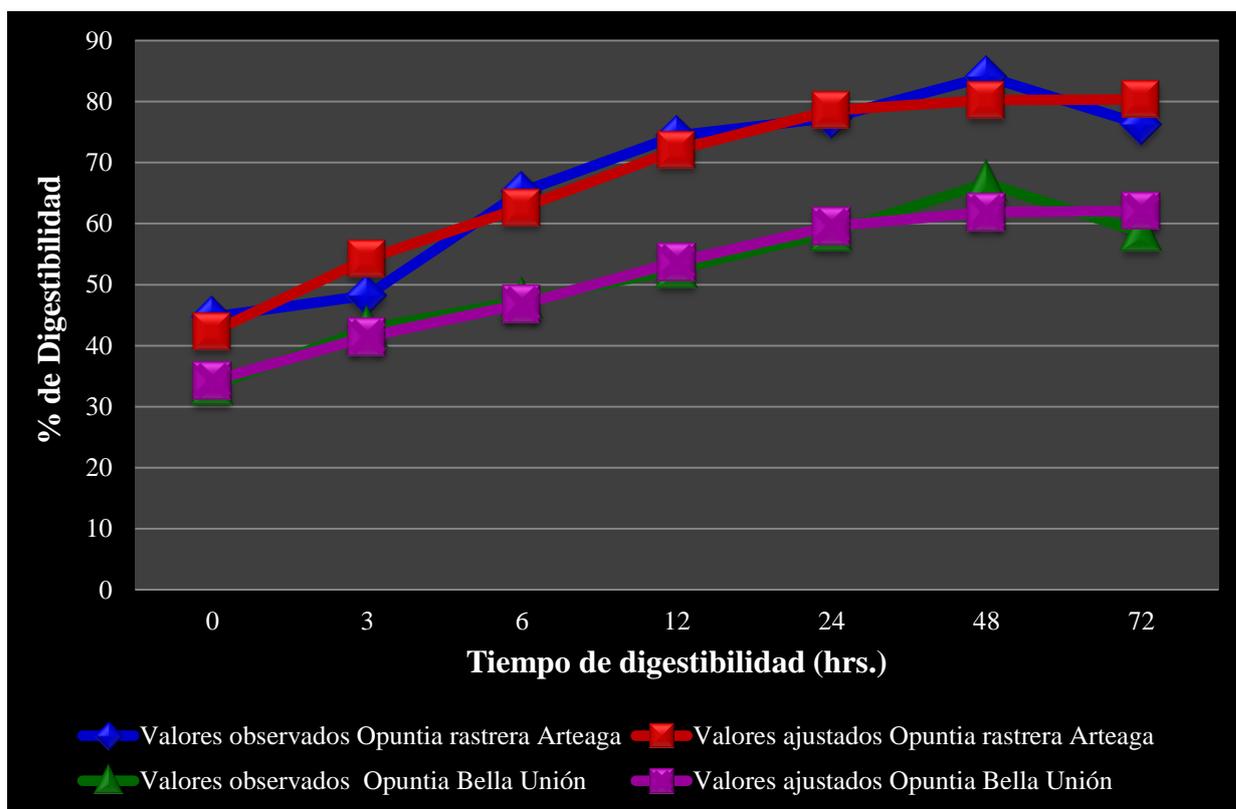
**Cuadro 19. Cálculos de las fracciones de degradación *in vitro* para *Opuntia rastrera* (Bella unión).**

Digestibilidad	A=34.24		B=27.87		C=.1002		RSD=3.19	
Tiempo (hrs.)	0	3	6	12	24	48	72	
Mediciones	33.38	42.77	47.40	52.56	58.58	66.65	58.52	
Valores ajustados	34.24	41.47	46.83	53.73	59.59	61.89	62.09	

A= fracción soluble, B= fracción insoluble, C= tasa fraccional de degradación de la fracción B, RSD= degradación residual.

En la gráfica 7, se muestra la degradación de los valores observados y los valores ajustados para *Opuntia rastrera* entre localidades, mientras que los valores ajustados van aumentando de una manera más uniforme teniendo así su máxima degradación a las 72 hrs y comparándolo con los valores observados ocurre hasta las 48 hrs y luego descienden.

**Grafica 7. Comparación de las fracciones de degradación para *Opuntia rastrera* entre localidades.**



**Cuadro 20. Cálculos de las fracciones de degradación *in vitro* para *Agave salmiana otto* (Arteaga).**

Digestibilidad	A=52.04		B=36.04		C=.0818		RSD=3.18
Tiempo (hrs.)	0	3	6	12	24	48	72
Mediciones	54.41	58.31	65.58	74.44	83.86	91.54	83.75
Valores ajustados	52.04	59.88	66.02	74.58	83.02	87.37	87.98

A= fracción soluble, B= fracción insoluble, C= tasa fraccional de degradación de la fracción B, RSD= degradación residual.

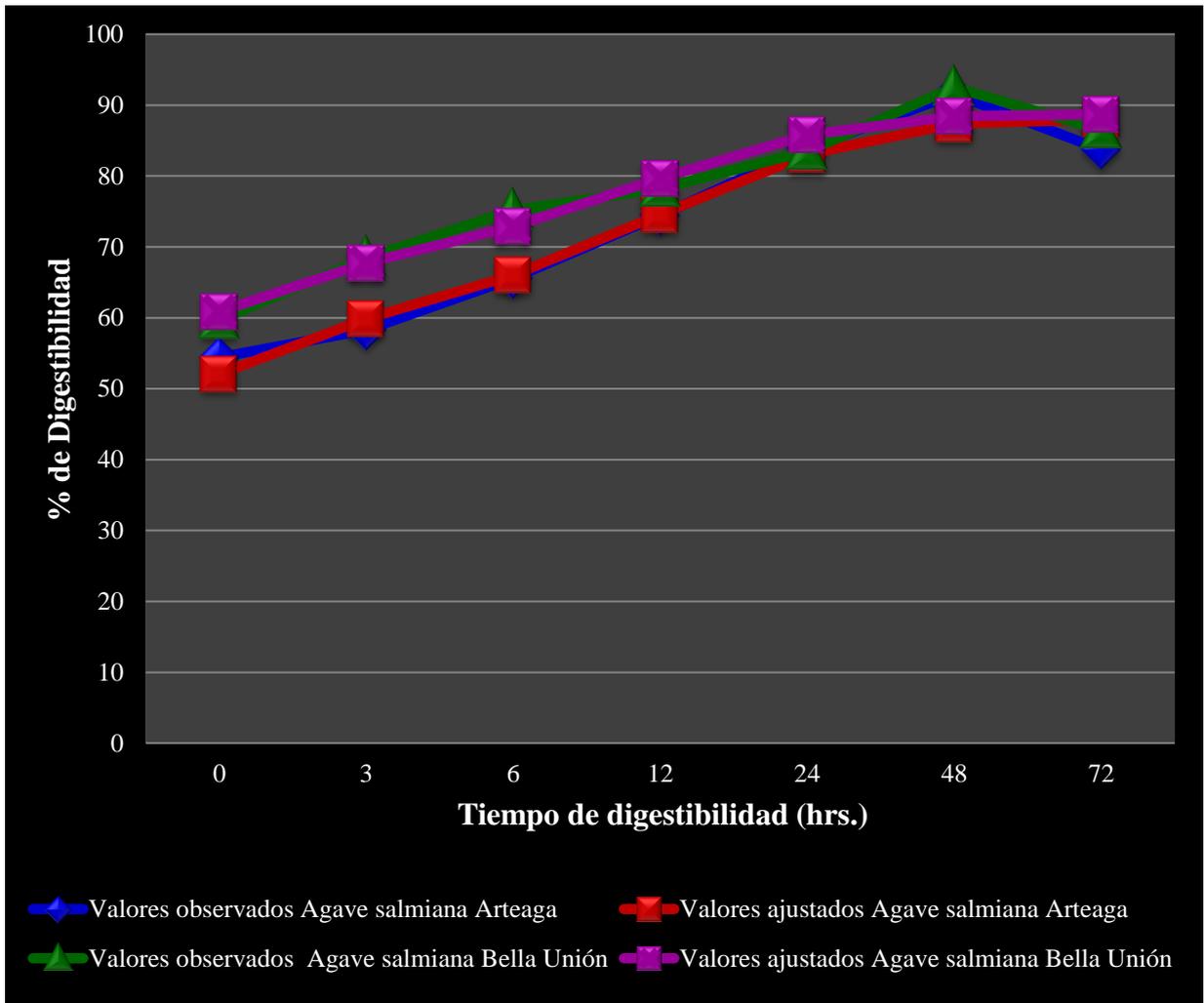
**Cuadro 21. Cálculos de las fracciones de degradación *in vitro* para *Agave salmiana otto* (Bella unión).**

Digestibilidad	A= 60.89		B=27.84		C=.0938		RSD=3.02
Tiempo (hrs.)	0	3	6	12	24	48	72
Mediciones	59.71	68.43	75.18	78.22	83.51	92.54	86.49
Valores ajustados	60.89	67.72	72.87	79.69	85.79	88.42	88.70

A= fracción soluble, B= fracción insoluble, C= tasa fraccional de degradación de la fracción B, RSD= degradación residual.

En la gráfica 8, se muestra la degradación de los valores observados y los valores ajustados para *Agave salmiana* entre localidades, mientras que los valores ajustados van aumentando de una manera más uniforme teniendo así su máxima degradación a las 72 hrs y comparándolo con los valores observados ocurre hasta las 48 hrs y luego descienden.

**Grafica 8. Comparación de las fracciones de degradación para *Agave salmiana otto* entre localidades.**



## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y conforme a los resultados obtenidos se logró evaluar las dos variedades utilizadas (*Opuntia rastrera* y *Agave salmiana otto*), presentando diferencias importantes en el contenido nutricional de acuerdo al análisis bromatológico. El nopal presenta mejores características nutritivas que el maguey, aunque en cuanto al contenido de fibra el maguey está muy por arriba en referencia al nopal.

Al realizar una comparación de los resultados de digestibilidad las muestras analizadas alcanzaron su mayor digestibilidad a las 72 horas. En el nopal y el maguey se observó que la degradación de los valores observados fue a las 48 hrs mientras que los valores ajustados van aumentando de una manera más uniforme teniendo así su máxima degradación a las 72 hrs. Esto indica que entre más se exponga el alimento a los microorganismos mayor es la degradación hasta llegar a un cierto punto donde ya no haya sustrato por lo que digestibilidad disminuiría o sería totalmente nula.

Por lo anterior el nopal y el maguey son plantas que presentan un valor nutritivo aceptable, dado esto pueden ser consumidas por los animales durante las épocas de sequía, además de ser una buena fuente de alimento también les proporciona agua donde este recurso es difícil de conseguir para animales en pastoreo ya que es un factor muy importante y determinante en la producción tanto agrícola como ganadera. El nopal es más digestible que el maguey, sin embargo las dos especies presentan un rango aceptable por lo que se recomiendan como una alternativa para el uso alimenticio del ganado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abrego, G. A. 2009.** Evaluación bromatológica y digestibilidad in vitro de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con subproductos de cervecería. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Akin, D.E. 1993.** Perspectives of cell wall biodegradation. In: H.G.Jung.(Ed.)Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA- CSSASSSA, Madison,WI. pp76.
- Alvir, M.R. y González, J. 1992.** Efecto de la relación forraje-concentrado de la ración sobre la degradabilidad ruminal de las materias nitrogenadas de cuatro henos. Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal, 7 : pp. 21-29.
- Ankom technology. 1998.** Daisy Incubator.
- AOAC.1990.** Official methods of analysis of the Association of official methods chemists 15th Ed. Assoc off. Anal chem. Arlington, USA Autónoma De México. Ciudad Universitaria. México, D. F. pp 67-71, 147, 334.
- Araujo-Febres, Vergara-López. O.J., Ortega, A.E. y Lachmann, L 2001.** Influencia del tiempo de almacenamiento de los bloques multinutricionales sobre el consumo y la digestibilidad del heno en corderos. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 9:104.
- Araujo, F. O. y Vergara. L. J. 2007.** Propiedades físicas y químicas del rumen. Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 15 Maracaibo, Zu, Venezuela. Disponible en: [http://www.produccionbovina.com/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/49-rumen.pdf](http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/49-rumen.pdf). Acceso mayo. 25, 2014.
- Arizpe, G.J.P. 1975.** Digestibilidad del Maguey. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Monterrey Nuevo León, México. pp. 11, 14, 16,18 y 21.
- Armstrong, D.G. Smithard, R.R. 1979.** The fate of carbohydrates in the small and large intestines of the ruminant. J. Sci. Food Agric. 30:1021-1022.
- Austgen, L. y Bowen R. A. 1998.** Pathophysiology of the digestive system, Colorado State University, Disponible en: <http://arbl.cvmbs.colostate.edu/hbooks/pathophys/digestion/index.html>. Acceso mayo. 25, 2013
- Ayala, M.E. 1976.** Cómo mejorar la Alimentación Animal. Primera Edición. Editorial Sertebi, Barcelona España. pp. 78-79.
- Baile, C.A., C.L. McLaughlin. 1987.** Mechanisms controlling feed intake in ruminants: a review. J Anim Sci 64, 915-922.
- Baraza E, Ángeles S, García A and Valiente-Banuet A 2008.** Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán, México. Interciencia 33(12): 891-896.
- Barrera Martínez, J. E. 1987.** Valor nutritivo del guishe de la lechuguilla (*agave lechuguilla* t.) y su utilización en la alimentación de cabras de desecho, substituyendo al rastrojo de maíz. Tesis Maestría UAAAN-División de Ciencia Animal-Nutrición Animal. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.
- Basurto, R. e I. Tejada de Hernández. 1992.** Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. Comparación de métodos para estimarla. Téc. Pec. Méx. 30(1):13 - 22.
- Ben Thlija, A. 1987.** Nutritional value of several *Opuntia* species. M. Sc. Thesis. 84 p.

- Besse, J. 1977.** La alimentación del ganado. Segunda Edición, Editorial Mundi-prensa. Madrid España. pp. 56 – 60.
- Bondi, A. 1989.** Nutrición Animal. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Bowles, D.J.1990.** Defense-related proteins in higher plants. *Ann. Rev. Biochem.* 59: 873-907.
- Burns, J.A., James C. Butler, John Moran, y George M. Whitesides. 1991.** Selective reduction of disulfides by tris-(2 carboxyethyl)-phosphine. *J. Org. Chem.* 56, 2648-2650.
- Cabral, I. C., Villarreal., Y A. E. Estrada. 2007.** Agave albopilosa. Tesis de Doctorado Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Monterrey, N.L. Pp. 1.
- Cantú, B. J. 1985.** Cultivos forrajeros. Primera edición, Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad laguna. Torreón, Coahuila, México, Pp. 6.
- Castillo, G. E. 1988.** Atributos asociados a la calidad nutritiva de los forrajes tropicales. 2ª Reunión Bianual de Nutrición Animal. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México. Pp. 22, 23, 24.
- Castellanos, A. Llamas, G. Shimada A. 1990.** Manual de técnicas en investigación en rumiología. Primera edición. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México A.C. México, D.F.
- Castillo, Q. D., J. A. Villareal. Q. Y A. C. Pineda. 2007.** El Género Agave L. bajo cultivo: taxonomía, distribución y usos. *Rev. Ciencia Forestal en México.* Vol. 32. Núm. 101. Pp. 61, 62.
- Cochran, R. C., D. C. Adams, J. D. Wallace and M. L. Galyean. 1986.** Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers. *J. Anim. Sci.* 63:1476 -1483.
- Cortés, Z. L. Y Basurto. P. 2006.** Agave salmiana Otto Ex Salm. Grupo Etnobotánico Latinoamericano. Jardín Botánico, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 1.
- 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.
- Church, D. C. 1974.** Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Church, D. C., W. G. Pond. 1987.** Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 1ª edición. Editorial Limusa. México. Pp.31-46.
- Church D.C. 1993.** El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acriba S.A, Zaragoza, España, 652.
- Church, D. C., W. G. Pond. 1994.** Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Editorial UTEHA. México.
- Church, D. C. 2002.** Fundamentos de Nutrición y Alimentación de los Animales, 2ª. Edición, Editorial Limusa. México, D. F. pp. 63 y 64.
- De Alba, J. 1971.** Alimentación del ganado en América latina. Segunda edición. La Prensa Medica Mexicana. México. pp. 475.
- De Alba, J. 1980.** Alimentación del ganado en América Latina. Segunda Edición, cuarta reimpresión. México D.F. pp. 33,70 y 71.

**Espinoza, A., J. 1987.** Caracterización morfológica y bromatológica del nopal forrajero en diferentes ambientes de la sierra de paila, Coahuila. Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, 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.

**Forbes, J. M. 1982.** The role of the liver in the control of food intake. Proc. Nutr. Soc. 41, 123.

**Forbes, J. M. 1998.** Feeding behaviour. In Forbes, J. M., ed. Voluntary feed intake and diet selection in farm animal. CAB international, Oxon (UK). Pp. 11-37.

**Flores, M. J. A. (s/f).** Bromatología Animal. Editorial Limusa. Segunda edición, México, D.F. pp. 157,167.

**Flores, V.C.A. 1977.** El nopal como forraje. Tesis Licenciatura UACH. Texcoco, México. P. 179.

**Flores, V.C.A. y Aranda O., G. 1977.** Opuntia-based ruminant feeding systems in México. Jour. Prof Assoc. Cactus Development. 2: 3-8.

**Flores, V.C.A. y Brauer. H. O. 1977.** El nopal (*Opuntia ficus-indica*) var. COPENAFI como forraje. Rev. Nueva Época. Chapingo, México. 83 p.

**Flores, V. C. A., y J. R. Aguirre R. 1979.** El nopal como forraje, tesis profesional. Escuela nacional de agricultura, Chapingo, México.

**Flores, V.C.A. y J. Aguirre R. 1992.** El nopal como forraje. UACH, Texcoco, México. 77 p.

**Fuentes, R.J.M., L. Jiménez C., L. Suárez G., M. E. Torres S., M. Murillo M., López, G. J.J. y B. Ortiz R. 2003.** Evaluación nutricional de cuatro especies de nopal (*Opuntia spp*) forrajero. Resultados de Proyectos de Investigación 2003, Dirección de Investigación, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 483-488.

**Fundación Wikimedia, Inc. 2013.** Agave salmiana. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Agave\\_salmiana](http://es.wikipedia.org/wiki/Agave_salmiana)). Acceso mayo. 15, 2013

**Fundación Wikimedia, Inc. 2013.** Arteaga (Coahuila). Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Arteaga\\_\(Coahuila\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Arteaga_(Coahuila))). Acceso mayo. 25, 2013.

**Fundación Wikimedia, Inc. 2013.** Opuntia rastrera. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia\\_rastrera](http://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia_rastrera). Acceso junio. 10, 2013.

**Gaggiotti, M. 2008.** XXI Curso Internacional de Lechería para Profesionales de América Latina.

**Galyean, M.L. y Goetsch, A.L. 1993.** Utilization of forage fiber by ruminants. In:H.G. Jung. (Ed.) Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA- CSSA\_SSSA, Madison, WI. pp.33-62.

**García Herrera, E. J. 1988.** Caracterización agroecológica y evaluación de plantaciones tradicionales de maguey (*Agave salmiana* Otto ex. Salm. ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry) en la región Pinos, Zacatecas. México. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zac. México.

**García-Mendoza, A. J. 2007.** Los agaves de México, Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Pp. 14-23.

**García, H. E. J., Méndez, G. S. J., Talavera, M. D., et al. 2010.** El género *agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5. Pp. 17, 125-127.

- García, M. A. J. 2007.** Los agaves de México. Rev. De Cultura Científica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Núm. 87. Pp. 14, 15, 16, 17.
- Gentry, H. S. 1982.** Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. Phoenix, AZ. USA. Pp. 670.
- Giráldez, F.J., Mantecón, A.R. Chaso, M.A. y Manso, T. 1994.** Efecto del tipo de dieta y de la frecuencia de alimentación sobre la actividad degradativa ruminal. Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal, 9: 245-259.
- Goering, M.K., y Van Soest, P.J. (1970).** Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agriculture Handbook. No. 379.
- Gómez, V. A. 2003.** Digestibilidad in vitro de dos variedades de Maguey (Agave salmiana y Agave americana). Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- González, M.J. 1964.** Digestibilidad del nopal (*opuntia chrysacantha berg*). Tesis Lic. .I.T.E.S. M. Monterey, N.L. México.
- González, G.S.R. 1994.** Valor nutricional de dos Especies de Maguey, *Agave salmiana* y *Agave atrovirens karw*, forrajeras utilizadas en las zonas Áridas del Norte de México, en relación a sus características Fenológicas. Tesis UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 21.
- Gopar, E. E. A. 2001.** Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del Genero Opuntia, cosechadas en primavera. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Gutiérrez, Hernández J.A., León Guevara M., Medellín Carranza M., Toralva Navarrete E. Vite, Pérez. H. S/F.** Trabajo comparativo de la producción y factores limitantes del nopal, del municipio de Tlalnepantla en el estado de Morelos, con la producción de Milpa Alta D.F. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Pp. 12, 15.
- Granados, D. S. y A. D. Castañeda P. 1996.** El nopal, historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Ed. Tillas. México, D. F. p 65.
- Guevara, J.C., J.H. Silva Colomer, and O.R. Estevez. 2004.** Nutrient content of Opuntia forage clones in the Mendoza plain, Argentina. Journal of the Professional Association for Cactus Development 6:62-77.
- Haenlein, G. F. W. y Caccese, R. 1992.** Digestión, Extensión Goat Handbook-U. of Delaware, Disponible en: <http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/goat/DIGESTION.html>. Acceso junio. 15, 2013.
- Hamilton, J.R. 1992.** Planting and cultivating native cactus for cattle feed and wildlife utilization in south Texas. Proc. Third Annual Prickly Pear Council Convention. Kingsville, TX. USA.
- Harris, L. E., Asplund, J. M. y Crampton, E. W. 1968.** An international feed nomenclature and methods for summarizing and using feed data to calculate diets. Bulletin 479. Agricultural Experimental Station. Pp. 26-28.
- Hatfield, R.D. 1993.** Cell Wall polysaccharides interactions and degradability. In: H.G.Jung. (Ed.)Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp.286.
- Hespell, R.B. y Whitehead, T.R. 1990.** Physiology and genetics of xilan degradation by gastrointestinal tract bacteria. Journal of Dairy Science.73: 3013-3022.

- Himmelsbach, D.S. 1993.** Structure of forage cell walls. In: H.G. Jung, Buxton D.R. (Ed.) Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA-CSSASSSA, Madison, WI. pp. 271-280.
- Hughes H.D. M. E. Heath. y D. S. Metcalfe. 1966.** Forrajes. La ciencia de la agricultura basada en la producción de pasto, 2ª edición. Editorial Continental. México. Pp. 28-30.
- Jaakola, S. y Huhtanen, P. 1993.** The effects of forage preservation method and proportion of concentrate on nitrogen digestion and rumen fermentation in cattle. Grass forage. Sci. 48: 146-154.
- Jung, H.G. y Allen, M.S. 1995.** Characteristics of plant cell wall affecting intake and digestibility of forage by ruminants. Journal Animal Science. pp 73-2774.
- Juscafresa, B. 1974.** Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo la adicción. Editorial AEDOS. Barcelona, España. Pp.126.
- Juscafresa, B. 1983.** Forrajes fertilizantes y valor nutritivo. Segunda edición. Editorial Aedos Barcelona, España. Pp. 127-128.
- Kawas, J.R., López, J. Danelon, D.L. y Lu C.D. 1991.** Influence of forage to concentrate ration on intake, digestibility, chewing and milk production in dairy cows. Small Rum. Res., 4: 11-18.
- Kloster, A.M., Santini, F. J. 1995.** Degradabilidad ruminal del aldimón de los granos: implicancias digestivas y productivas **RIA - v. 26, no. 1** pp. 111-112.
- Kumar, R. y Dímello, J.P.F. 1995.** Anti-nutritional factors in forage legumes. In: Dímello y D. Devendra (Eds.), Tropical Legumes in Animal Nutrition. CAB International. pp. 95-137.
- Laredo, M. A., H. J. Anzola V. y F. Segura. 1988.** Cloruro de iterbio y óxido de cromo como indicadores de excreción fecal y consumo de heno. Rev. ICA. 23:303-313.
- López, G.F. 1991.** Physical and chemical alteration of *Distichilis spicata* L. cell walls with NaCl and water stress. Ph. D. Thesis. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.
- López, A. S., J.M. Pinos-Rodríguez, I.D. Martínez, D.A. Chávez, J.R. Aguirre y M.L Rodríguez. 2001.** In situ digestibility to value ruminal degradability of the maguey (*Agave salmiana*). En: Memoria de la 5ta Reunión Científica y Tecnológica, Agrícola, Pecuaria y Forestal. S.L.P. P 4-11.
- Llamas, L. G. y Tejada, I. 1990.** Técnicas de laboratorios para el análisis de forrajes para rumiantes. Manual de técnicas de investigación en ruminología. Sistemas de educación continua en producción animal en México. A.C. patronato de apoyo a la investigación y experimentación pecuaria en México. A.C. ed. Consultores en producción edición. México D.F. pp. 38.
- Marten, G. C. y Barnes, R. F. 1980.** Prediction of energy digestibility of forages with in vitro rumen fermentation and fungal enzyme systems. In: W.J. Pidgen, CC Balch. (Eds.). Standardization of Analytical Methodology for feeds. IDRC. Ottawa, Canadá. pp. 61-71.
- 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.
- Mata, C. A .2011.** Degradación in vitro de dos variedades de opuntia mediante enzimas producidas por la cepa ruminal VML-2. Tesis Licenciatura UAAAN Saltillo, Coahuila, México.
- Maynard, L. A., Loosli J.K., Hintz, H. F. y Warner, R, G. 1977.** Nutrición Animal. 4ª edición en español. Editorial McGraw-Hill. México. pp. 123-127.

- McDonald, I. A. 1981.** Revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, v.96, p.251-252.
- McDowell, 1985.** *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates (Animal Feeding and Nutrition)*.
- Medina, R. M., G. E. Tirado, I. H. Mejía, I. S. Camarillo y C. V. Cruz. 2006.** Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesq. agropec. bras.* 41:1173-1177.
- Mendoza, H.J.M. 1983.** Diagnóstico climático para zonas de influencia inmediata de la U.A.A.A.N. Departamento de Agro-Meteorología, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-5.
- Mendoza V. R. 1987.** Introducción a la química analítica y análisis proximal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila. Mexico. pp. 39-67.
- Merchen, N. 2000:** Manipulation of amino acid supply to the growing ruminant. *J. Anim. Sci.* 70:3238-3247.
- Merchen, N. R. 1993.** Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. En: D. C. Church (Ed.). *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. Tomo I. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 191 - 223.
- Merchen, N.R. and Bourquin, L.D. 1994.** Processes of digestion and factors influencing digestion of forage-based diets by ruminants. In: G.C.Fahey Jr. (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp.564-612.
- Mertens, D.R. y Loften J.R.1980.** The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *J Dairy Sci* 2000; 63:1437-1446.
- Minson, J.D. 1990.** Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. *Nutr. Abstr. Rev. series B.* 52:591-615.
- Montes, I. C. E. 2003.** Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunas especies del Genero *Opuntia*, cortadas en invierno. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Montgomery, M.J. y Baumgardt, B.R. 1965.** Regulations of food intake in ruminates. 1. Pelleted rations. *J. Dairy Sci* 48:569.
- Mould, F. L. 1988.** Associative effects of feeds. In: Orskov, E. R. (Ed). *Feed Science*. Elsevier. Amsterdam. pp. 279-292.
- Mould, F. L. y Orskov. 1983.** Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10: 1-14.
- 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.
- Nobel, P.S. 1995.** Environmental biology. P.36-48, En: Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
- NRC. 1989.** *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Olivares-Sáenz, E. 1993.** Paquete de diseños experimentales versión 2.4. Ciudad Marín, Nuevo León: Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Ørskov, E. R. 1982.** Protein nutrition in ruminants. Academic Press, Londres. P.160.
- Ørskov E. R. and McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92, pp 499-503.
- Owens, F. 1982.** Metabolismo de las proteínas en los rumiantes. En: D. C. Church (Editor): *El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*, Ed. Acribia S.A., pp. 255-281.
- Owens, F. N., and A. L. Goetsch. 1986.** Digesta passage and microbial protein synthesis. Pages 196–226 in *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Padron, P. C. A., M. J. Moreno A. y C. A. Media M. 2008.** Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum Phyllanthus* (L.): Haw. Var. *Hookeri* (link & otto) kimm. (cactaceae). *INCI*. 33(6): 443-448.
- Palma, J.M. y Díaz M. 2001.** Influencia de la altura de *Leucaena leucocephala* sobre los hábitos de pastoreo en ovinos. Establecimiento de árboles y arbustos forrajeros. En: II Reunión Nacional sobre Sistemas Agro-Silvopastoriles. Villahermosa, Tab. 20 – 22 junio de 2001. México. 2001.
- Pérez, D. M. 1982.** Manual sobre ganado productor de leche, 1ª edición. Editorial Diana. México. Pp. 267-270.
- Pinos-Rodríguez, J.M., M. Zamudio and S.S. González. 2008.** The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *Soest Africana Journal of Animal Sáciense*. 38 (1). Instituto de investigación de Zonas desérticas de la UASLP.
- Preston, T.R., y Leng, R.A., 1989.** Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico, Consultorías para el desarrollo rural integrado en el trópico. (CONDRIT) Ltda. Cali, Colombia. 312 p.
- Quin, J.I., Wath van der, J. G. and Mybburgh, S. 1938.** Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa. 4. Description of experimental technique. *Onderstepoort J. vet. Sci. Anim. Ind.*, 11: 341-360.
- Ramanzin, M., Bailoni, L. y Schiavon, S. 1997.** Effect of forage to concentrate ratio on comparative digestion in sheep, goats and fallon deer. *Journal Animal Science*. 64: 163-170.
- Ramírez, J. 2009.** Los magueyes, plantas de infinitos usos. Company OEM. Pp. 1.
- Ramirez, R. G.; Neira-Morales, R. R ; Ledezma-Torres, R. A. ; Garibaldi-Gonzalez, C. A., 2000.** Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Rumin. Res.*, 36 (1): 49-55.
- Ramos, J. A., G. D. Mendoza M. I. Aranda E., C. García B., R. Barcelona G. y J Alanís R. 1998.** Escape protein supplementation of growing steers grazing star grass. *Anim Feed Sci Technol*. (70):257-264.
- Ríos, A. 1954.** El nopal y la oveja: una esperanza para la zona desértica mexicana, Secretaria de Recursos hidráulicos (memorándum técnico núm. 96). México.
- Rowett Research Institute, 1992.** Newwave Program.

- Russell, J.B. y Hespell, R.B. 1981.** J. Microbial Rumen Fermentation. Dairy Sci. 64, 1153.
- Ruíz, L.H.J. 1975.** Digestibilidad del Maguey. Tesis sin publicar Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey Nuevo León, México. pp. 19 – 26.
- Ruiz, R., y Vázquez, C.M. 1983.** Consumo voluntario de pastos y forrajes tropicales. En los pastos en Cuba. Tomo 2. Utilización. EDICA, La Habana. Cuba pp.117-186.
- Ruvalcaba, M. J. 1983.** El maguey manso, historia y presente de Epazoyucan, Hidalgo. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Sánchez, M.D. 2000.** Panorama de los sistemas agroforestales pecuarios en América Latina. En: Memorias del Simposio internacional. “Sistemas agroforestais pecuarios na América do Sul. Ministerio da agricultura e do abastecimento. Red de agroforestería pecuaria. Embrapa, Dairy Cattle FAO. 18-20 de setembro de 2000, Juiz de Fora-MG-Brasil.
- SAS Institute. 1999.** The SAS System for Windows. V. 8. SAS Institute. Inc. Cary, N. C. USA.
- Silos, E.H., N. González C., A. Carrillo L., F. Guevara L., M.E. Valverde G. y O. Paredes L. 2005.** Composición química de aguamiel y pencas de Agave salmiana Gentry. V Congreso del Noroeste, I Nacional, en Ciencias Alimentarias y Biotecnología Centro de las Artes de la Universidad de Sonora Hermosillo.
- Sudzuki Hills, F. 1995. Anatomy and morphology. P. 28-35, En: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.**
- Shoop, M. C., E.J. Alford, E.J. and H. F. Mayland. 1977.** Plains prickly pear is a good forage for cattle. Journal of Range Management 30: 12-17.
- Stephen, G. R. y E. A. Jiménez. 2003.** El nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s04.htm#TopOfPage>. Grupo de Pastizales y Cultivos Forrajeros División de Producción y Protección Vegetal, FAO. Acceso mayo. 05, 2013.
- Stintzing, F.C. and R. Carle. 2005.** Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49: 175-194.
- Taiz, L. 1984.** Plant cell expansion: regulation of cell wall mechanical properties. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 585-657.
- Tilley J M A y Terry R A. 1963.** A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Brit. Grassland Soc.* 18:104-111.
- Underwood, E. J. 1984.** In: Present Knowledge in Nutrition, 5<sup>th</sup> Ed. P. 528. The Nutrition Foundation, Inc., Washington, D.C.
- Urrutia, M.J., Martínez, L.R y Shimada, A.S. 1982.** Valor nutritivo del rastrojo de Maíz y Ensilaje de Maíz con y sin Mazorca con hidróxido de Sodio para Borregos en crecimiento. *Técnicas Pecuarias.* México D.F. pp. 7-16.
- Van Soest, P.J. 1982.** Nutritional ecology of the ruminant. USA: O. and B. Books Inc.
- Van Soest, P.J. 1994.** Nutritional Ecology of the Ruminant. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, New York, 2nd Edition. P.373.

**Varner, M. 1998.** Digestive Physiology. University of Maryland, Disponible en: <http://www.glue.edu/~lecarp/digest.html>. Acceso mayo. 07, 2013.

**Velasco, I. J., M. F. Gribbins and D. W. Kolterman. 1958.** The response of rumen microorganisms to pasture grass and prickly pear cactus following foliar application of urea. *J. Anim. Sci.* 17(1):209 – 217.

**Velásquez, R. Y. L. 2007.** Degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor. Valdivia, Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fav434d/doc/fav434d.pdf>. Acceso mayo. 05, 2013.

**Villegas, G.J.T. 1997.** Estimación de la digestibilidad in vitro de 5 forrajes y un alimento mediante la técnica de Reading. Tesis U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 36-37.

**Wattiaux, A.M. 2005.** Metabolismo de lípidos en vacas lecheras. 2005. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison.

**Weis, W.P. 1994.** Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. En: *Forage Quality. Evaluation and Utilization*, pp. 644-681. Ed. Fahey G.C. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

**Wiseman, 1984.** Growth response of corn earworm (*Lep.: Noct.*) larvae on meridic diets containing fresh and lyophilized corn silk. *J. Econ. Ent.* 77: 1159-1162.

**Sáenz, C.1997.** Cladodes: a source of dietary fiber. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 2: 117-123.

**Zamudio, D.M. J.M. Pinos-Rodríguez, S.S. González, P.H. Robinson D, J.C. García, O. Montañés. 2009.** Effects of Agave salmiana Otto Ex Salm- Dyck silage as forage on ruminal fermentation and growth in goats. *Science Direct. Animal Feed Science and Technology.* Elsevier. 148: 1-11.