

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**División de Ciencia Animal**



**EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE DIETAS  
DE NOPAL (*Opuntia streptacanta*) E INFLORECECIAS DE MAGUEY  
(*Agave Spp.*) USANDO ENZIMAS (CELULASA) PARA CAPRINOS**

**POR:**

**ELIA DE LA ROSA HIDALGO**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Marzo de 2013**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**División de Ciencia Animal**

**EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE DIETAS DE NOPAL (*Opuntia streptacanta*) E INFLORECECIAS DE MAGUEY (*Agave Spp.*) USANDO ENZIMAS (CELULASA) PARA CAPRINOS**

**Presentado por:**

**ELIA DE LA ROSA HIDALGO**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Aprobada por

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

**PRESIDENTE**

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

**VOCAL**

Dr. Fernando Ruiz Zarate

**VOCAL**

Dr. Ramiro López Trujillo

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México



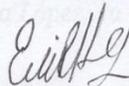
Marzo, 2013

## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

La suscrita, Elia De La rosa Hidalgo, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 294522 y autora de la presente Tesis manifestó 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 fuentes 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 ningún mal uso 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 investigación realizada para la Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por los tanto eximo todo la responsabilidad relacionado al plagio académico a mi Comité de Asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

ATTE



---

Elia De La Rosa Hidalgo

Tesista de licenciatura/UAAAN.

## AGRADECIMIENTOS

*A DIOS por permitirme existir y darme las fuerzas para seguir en este camino y dejarme concluir mis estudios y gracias por la hermosa familia que me diste gracias.*

*A mi Alma Mater. Por la oportunidad de crecer y aprender a volar profesionalmente*

*Al Ph. D. Jesús Fuentes Rodríguez. Mis más sinceros agradecimientos por la oportunidad que me brindo de llevar a cabo mi trabajo*

*Al Dr. Fernando Ruiz Zarate. Por brindarme su apoyo en la realización de mi tesis así como la confianza que deposito en mí.*

*A la Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez. Todos mis agradecimientos por su apoyo asesoría y sugerencias para la culminación de mi tesis.*

*A la Lic. Laura Maricela Lara López, su apoyo y deposición en todo momento gracias.*

*A la generación CXIV, Por su apoyo directo o indirectamente y por su amistad y por todas las vivencias juntos, y aprendizaje que tome de ustedes gracias.*

## **DEDICATORIA**

A:

*Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mis padres, Rogelio De La Rosa Arroyo y María Ventura Hidalgo Córdova por darme el mejor de los regalos la vida, porque creyeron en mi, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí, los amo, admiro y respeto.*

*A mis queridos hermanos:*

*José Luis, Víctor, Andrés, Xochitl, Belinda y Rogelio por su apoyo amor y, cariño y confianza incondicional, por sus palabras y animo de motivación mil gracias los amo con la vida, no bastara toda la vida para agradecerles su esfuerzo y animo, son mi motivación para llegar hasta aquí.*

*A mis abuelos Candelaria Guerra, Andrea y Florencio por su amor y cariño por sus palabras de ánimo y confianza los quiero mucho esto también se los debo a ustedes.*

*A mis cuñadas socorro y teresa a mi sobrina Brenda y Antonio por sus palabras de ánimo y esfuerzo y por formar parte de este logro, por lo tanto dedico a ustedes con mucho cariño.*

*A mi querido amor José Luis por su apoyo cariño y amor incondicional en todo momento de tristezas y alegrías motivándome para seguir adelante, gracias por tu amor y sabiduría.*

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iii
<i>DEDICATORIA</i> .....	v
INDICE DE CUADROS .....	i
INDICE DE FIGURAS .....	ii
RESUMEN .....	iii
I INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos .....	3
Hipótesis .....	3
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Panorama nacional del nopal.....	4
Clasificación y descripción taxonómica del nopal.....	4
Morfología.....	5
Reproducción.....	7
Localización de zonas nopaleras en México .....	8
Importancia.....	10
Calidad nutritiva del nopal .....	12
El nopal como forraje.....	16
Digestibilidad <i>In-Vitro</i> .....	17
Digestibilidad de nopal .....	18
Entorno Nacional del <i>Agave</i> .....	21
Clasificación y descripción taxonómica del <i>Agave</i> .....	21
Descripción del género.....	22
Morfología.....	23
Los <i>agaves</i> dentro de las plantas MAC .....	25
Reproducción.....	26

Distribución del agave .....	26
Importancia.....	28
Calidad nutritiva del <i>agave</i> .....	32
<i>Agave</i> como forraje.....	34
Digestibilidad de agave .....	37
Celulasa.....	39
Función de la Celulasa.....	40
Modo de acción de las celulasas.....	41
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
Localización del área de estudio. ....	43
Siembra de la cepa para obtener el cultivo.....	44
Tinción Gram .....	44
Fermentación para el crecimiento del microorganismo que es quien produce el organismo celulasa .....	45
Preparar del medio líquido específico para producir Celulasa .....	45
Degradación in vitro .....	46
Preparación de la solución buffer .....	47
Proceso de incubación de las muestras.....	48
Preparación de muestras y tratamientos.....	48
Diseño experimental .....	49
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
Análisis bromatológico de nopal .....	50
Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
CONCLUSIONES .....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62

## INDICE DE CUADROS

<b>cuadro</b>		<b>página</b>
<b>1</b>	Clasificación taxonómica del nopal ( <i>opuntia spp.</i> )	<b>4</b>
<b>2</b>	Valor nutritivo del nopal fresco en 100 gm de peso neto	<b>12</b>
<b>3</b>	Análisis bromatológico de especies silvestres de nopal	<b>13</b>
<b>4</b>	Variación estacional de la composición de microminerales en diferentes <i>opuntias Spp.</i>	<b>14</b>
<b>5</b>	Variación en el contenido de nutrientes digestibles de nopal sin espinas	<b>14</b>
<b>6</b>	Digestibilidad de ms (%) <i>in vivo</i> (DMSIV) e <i>in vitro</i> (DMSMA) de nopal, pellets de heno de pasto y alfalfa	<b>18</b>
<b>7</b>	Coeficiente de digestibilidad del nopal en diferentes especies	<b>20</b>
<b>8</b>	Taxonomía de la agave	<b>21</b>
<b>9</b>	Usos que se les da a varias especies de agave	<b>26</b>
<b>10</b>	Usos que se les da específicamente a las partes de diferentes especies de agave	<b>29</b>
<b>11</b>	Análisis bromatológico del maguey, porciento de digestibilidad y total de nutrientes digestibles	<b>33</b>
<b>12</b>	Calidad forrajera del vástago floral	<b>33</b>
<b>13</b>	Composición química del medio específico para producir celulosa	<b>46</b>
<b>14</b>	Análisis bromatológico de <i>opuntia strephtacanta</i>	<b>51</b>
<b>15</b>	Análisis bromatológico de flores de maguey	<b>53</b>
<b>16</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) de los tratamientos (inflorescencias de agave y nopal) a diferentes intervalos de tiempo	<b>55</b>
<b>17</b>	Correlación entre tiempo y digestibilidad de los tratamientos de nopal y agave	<b>58</b>
<b>18</b>	Regresión entre tiempo y digestibilidad de los tratamientos de los tratamientos de nopal y agave	<b>59</b>
<b>19</b>	Interacción de tratamientos por tiempo	<b>62</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig.</b>		<b>página</b>
<b>1</b>	Distribución de la familia <i>agavaceae</i>	<b>26</b>
<b>2</b>	Estructura de la celulasa	<b>39</b>
<b>3</b>	Siembra de la cepa en zigzag	<b>44</b>
<b>4</b>	Coeficiente de digestibilidad in vitro de la materia seca de los tratamientos de nopal y agave	<b>54</b>
<b>5</b>	Digestibilidad de la materia seca de los tratamientos de nopal y agave (%)	<b>57</b>

## RESUMEN

Debido a las características de la diversidad de clima 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 y granos para la actividad ganadera, el nopal se ha usado por mucho tiempo como forraje de emergencia al igual que las flores de maguey en las épocas de sequías e invierno. Estudios sobre el análisis bromatológico de nopal *Opuntia streptacantha* y del agave muestran que tienen gran cantidad de agua y azúcares; como se sabe aportan una cantidad limitada de proteínas, por lo anterior, la adición de ingredientes proteicos, energéticos y enzima celulasa mejorará la digestibilidad. Por lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la calidad nutritiva del nopal y maguey tratado con la enzima celulasa y determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de nopal y maguey a diferentes tiempos de incubación.

Muestras de nopal *Opuntia streptacantha* y flores de agave se recolectaron en los terrenos aledaños a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista Saltillo, se realizaron análisis bromatológicos de las muestras recolectadas y se realizaron 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

Los análisis bromatológicos se realizaron de acuerdo a la A.O.A.C. Para determinar la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se utilizó la metodología descrita por Van Soest.

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 las

mismas cantidades de nopal y agave, el t1 nopal +urea, t2 agave +urea, t3 nopal+ celulasa y el t4 agave+ celulasa.

Los resultados del análisis bromatológico del nopal *opuntia strephtacanta* no indicaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en materia seca 14.10%, proteína 5.47%, extracto etéreo 2.17%, cenizas 26.54%, fibra cruda 13.10%,(FDA) 13.10 y (FDN) 10.42%. Los resultados del análisis bromatológico del las flores de maguey, no mostraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en cantidad de proteína 5.44%, extracto etéreo 2.86%, cenizas 23.54%, fibra cruda 2.72% FDA 3.15% y FDN 6.61%.

En la digestibilidad *in vitro* se observo diferencia significativa ( $P<0.05$ ), se indica que las dietas de nopal en el tratamiento t3 nopal + enzimas no muestra alta digestibilidad debido a las cantidades diferentes de ingredientes que pudieron afectar su actividad., en el tratamiento t4 agave+ enzima, muestra mayor porcentaje de degradación cuando se le aplica enzima celulasa debido que es más efectiva en la fibra del agave. Con esto se puede recomendar que la enzima se utilice en dietas con agave ya que la fibra es más degradada. Los tratamientos t1, t2 de nopal + urea y agave+ urea, no muestran alta digestibilidad pero si a portan mayor cantidad de proteína, debido a la adición de urea.

**Palabras clave:** Análisis bromatológico, Digestibilidad in vitro, opuntia strephtacanta, flores de agave, celulasa

## ABSTRACT

Due to the diverse characteristics of climate in our country, much of arid and semi-arid areas are located in northern Mexico. These conditions cause difficulties for the production of fodder and grain for livestock. Cactus has been used for a long time as emergency fodder like agave flowers in times of drought and winter. Studies on the chemical composition of *Opuntia* cactus and agave *streptacanta* have shown that they contain large amounts of water and sugars, with low values in protein content, therefore the addition of protein sources, improve energy and cellulase enzyme digestibility. Therefore the objectives of this study were to determine the nutritional quality of the cactus and agave treated with the enzyme cellulase and the addition of urea and to determine in vitro digestibility of cactus and agave at different incubation times.

*Strethacanta opuntia nopal* samples and agave flowers were collected in the areas surrounding the Agrarian Autonomous University Antonio Narro in Saltillo Coahuila. Chemical analyzes of samples collected were performed and in vitro degradation of these materials, at different incubation times 0, 3, 6, 12, 24, 48, and 72 hours were conducted. Analyses were performed according to AOAC To determine the neutral detergent fiber and acid detergent fiber the methodology described by Van Soest was used.

In vitro digestibility of dry matter was analyzed with a completely randomized model with 4X7 factorial arrangement, with four treatments at different incubation times 0, 3, 6, 12, 48, 24 and 72 hours with three replicates. Treatments consisted of equal amounts of cactus and agave, cactus t1 + urea, urea + t2 agave, cactus t3 + t4 cellulase and cellulase + agave.

The results of the compositional analysis of nopal *opuntia streptacanta* indicated significant differences ( $P > 0.05$ ) for dry matter 14.10%, 5.47% protein, 2.17% ether extract, 26.54% ash, 13.10% crude fiber, (FDA) 13.10 and (FDN) 10 415% , and results of chemical composition analysis of maguey flowers,

indicated that there were significant differences ( $P > 0.05$ ) in protein (5.44%), ether extract (2.86%), ash (23.54%), crude fiber (2.72%), NDF (3.15) and FDA (6.61%).

In vitro digestibility was no significant difference ( $P < 0.05$ ), indicated that diets in the treatment of nopal cactus + t3 enzymes shows no high digestibility due to different amounts of ingredients that could affect your business., In the treatment agave + t4 enzyme shows greater percentage degradation when applied cellulase enzyme is more effective because the agave fiber. With this you can recommend that the enzyme is used in diets with agave as the fiber is degraded. Treatments t1, t2 of agave nopal + urea and urea, but did not show high digestibility if more protein bearing, due to the addition of urea.

Keywords: chemical composition, in vitro digestibility, opuntia strephtacanta, agave flowers, cellulose.

## I INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas ocupan más de la mitad del territorio mexicano y estas cubiertas en su mayor parte por diversos tipos de comunidades arbustivas de acuerdo con Rzedowski (1978).

Las diferentes regiones agroclimáticas de México, se definen en base a la precipitación pluvial y consecuentemente al recurso forrajero. Por ello las actividades ganaderas entran en complejidad de subsistencia y baja producción, en las épocas de sequía e invierno que es cuando más prevalece la falta de forrajes y aumentan los precios de los insumos alimenticios habituales en la ganadería, se dificulta la compra de forrajes y alimentos de buena calidad. Es por eso que se buscan nuevas opciones de alimento fácil de comprar o conseguir para los ganaderos y que cumpla con los requerimientos nutricionales de los animales.

El nopal y el maguey son plantas que por sus características de adaptación pueden crecer en todas las condiciones agroclimáticas y pueden ser utilizadas para alimentar al ganado en épocas de sequía del año.

La *Opuntia* se ha dado como alimento a bovinos, ovinos, caprinos, animales de trabajo (bueyes) y puercos (eliminando con cuidado las espinas) Las *opuntias* no solo se utilizan como plantas productoras de fruta , ya que también sirven para otros propósitos económicos .sus poblaciones naturales se usan en la ganadería y en particular en época de sequía juega una función clave para proveer de la cantidad necesaria de agua (junto con otros forrajes) y en completar las necesidades nutricionales del ganado (Coplan, 1990) .

La importancia del *Agave* es que crece en áreas desérticas y semidesérticas y se convierte en un uso evidente como forraje para la alimentación del ganado. Constituye una de las mejores opciones forrajeras, debido a la alta eficiencia en el uso del agua, del *agave* se utilizan las inflorescencias (flores), 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 de producción del ganado (Granados, 1999).

Para conocer la calidad nutritiva los alimentos es necesario realizar un análisis para saber si son idóneos, además de saber si cubren con los requerimientos de los animales

Los alimentos toscos y fibrosos son fuente de energía barata para los rumiantes por lo que se ha intentado mejorar la digestibilidad a través de procesos físicos, químicos o aditivos como cultivos microbianos y enzimas fibrolíticas (Fernández et al., 1981; Plata et al., 1994; roa et al., 1997; Coronel et al., 2001) citado por Yescas (2004). Los componentes primarios de las paredes celulares de los forrajes son la celulosa y la hemicelosa, los cuales son digeridos por las enzimas fibrolíticas de las bacterias y protozoarios ruminales (Chalupa, 1979).

Con este proceso se pretende que mejore la digestión de la fibra para el ganado, como la adición de celulasas que complementen la actividad celulotica de las bacterias ruminales.

Las enzimas fibrolíticas han sido aisladas de cultivos de hongos y de bacterias y han mostrado efectos positivos al adicionarse durante el proceso de ensilaje de algunas forrajes (Stokes, 1992). Las enzimas aplicadas a los forrajes antes de una incubación in vitro mejoraron la digestión de la materia seca y de la fibra detergente neutra (Feng et al., 1996).

Por lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron:

- Determinar la calidad nutritiva del nopal y maguey tratado con la enzima celulosa
- Determinar la digestibilidad *in- vitro* de la materia seca de nopal y maguey a diferentes tiempos de incubación.

### **Hipótesis**

La enzima celulasa mejora las características nutricionales del nopal y agave

La utilización de la enzima celulosa mejorará la digestibilidad del nopal y maguey.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### Panorama nacional del nopal

#### Clasificación y descripción taxonómica del nopal

El nopal corresponde a la familia *Cactaceae* usualmente populares como cactáceas, las cactáceas son plantas que describen los lugares más representativos de México, se encuentran principalmente en las zonas áridas no obstante una mayor cantidad de especies se ubican también en zonas tropicales, subtropicales y templadas. Cabe mencionar que México es el país donde se encuentra más diversidad de especies y géneros, reportando unas 1600 especies y en México se encuentran 1088, las más importantes del género *Opuntia* de la familia *cactaceae*. Bravo (1978) citado por (Ríos, 2004) menciona que se encuentran dos géneros importantes; el *Opuntia* y el *Nopalea*. “El género *Opuntia* en México presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies. El género *Nopalea* presenta 10 especies de las cuáles la “*Nopalea Cochenillifera*” se utiliza como Nopal Verdura.” (Ríos, 2004).

Familia *Cactaceae*. La familia se divide en 112 géneros, en tres tribus: *cereae*, *Opuntieae* y *pereskiae*. Esta familia comprende más de 100 géneros y poco más de 1000 especies, están distribuidas en toda América y abundante en México y Centro América (Lozano, 1958).

Subfamilia *Opuntioideae*: estas son suculentas con tallos aplanados y articulados, hojas pequeñas y caducas, areolas gloquidias y flores rotiformes, los tubérculos prominentes, areolas circulares hasta elípticas, con fieltros, pelos, gloquidias y espinas; el tamaño de la espina varia dependido la especie que sea, ya sean pequeñas o muy largas y delgadas, a veces con vaina papirácea, flores diurnas y vespertinas y sésiles una en cada areola (Bravo, 1978).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica. (Briton y Rose, 1963, y Bravo-Hollis, 1978)

<b>Reino:</b>	<b>Vegetal</b>
<b>Subreino:</b>	Embryophyta
<b>División:</b>	Angiosperma
<b>Clase:</b>	Dicotiledoneae
<b>Subclase:</b>	Dialipétalas
<b>Orden:</b>	Opuntiales
<b>Familia:</b>	Cactaceae
<b>Tribu:</b>	Opuntiae
<b>Subfamilia:</b>	Opuntioideae
<b>Género :</b>	Opuntia
<b>Subgénero:</b>	Platyopuntia
<b>Especie:</b>	Spp.

### Morfología

A semejanza de las cactáceas, el nopal es una planta que no tiene hojas, solo en una etapa de su juventud las tiene, ya que estas se convierten en tallos, las cuales tiene una forma cilíndrica o de raqueta, llamados cladodios botánicamente se nombra así, estas contienen agua que se encuentra atrapada en carbohidratos llamados mucilagos, esto se puede observar cuando se corta una penca y en lugar de ver agua en su forma natural se desplaza una sustancia babosa y pegajosa, además de espinas la cantidad depende del clima y las condiciones climáticas en donde se encuentre (Ríos, 2004)

Algunos no tienen espinas por ejemplo el *Opuntia Ficus Indica*, es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, posee un tronco muy leñoso y mide entre 20 o 50 cm de diámetro. Generalmente los nopales poseen cladodios o pencas como es muy conocido, cuya función es transformar la luz solar en energía química

para generar así el proceso de fotosíntesis, pero tiene una cutícula especial que no permite que los estomas se abran en el día, esta cutícula evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas las cuales son características de las regiones áridas, un dato importante es la hidratación normal alcanzada por el cladodio, este en un 95% de agua de su peso, además del sistema radicular diseñado especialmente para desarrollar raíces profundas como laterales superficiales dependiendo de la humedad (Ríos, 2004)

La longevidad promedio de las plantaciones de nopal es de 5 a 7 años, obteniendo algunas veces hasta 10 años con buenos rendimientos; en terrenos con pH Neutro y con un buen manejo aunado con un control de plagas, por lo tanto puede llegar a vivir hasta 80 años alcanzando de 80 a 90 t/ ha/año. Las plantaciones con explotaciones intensivas, pueden durar 3 años. Pero es importante mencionar que la parte comestible es solo aprovechable de 8 a 10 días de haber brotado (Ríos, 2004).

**Raíz.** El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves período de lluvias (Nobel, 1999).

**Tallo.** Los nopales con artículos planos se denominan cladodios. Estos cuando están tiernos son muy suculentos y poco lignificados (Villareal, 1958).

**Flor.** Las flores son diurnas, solitarias, sentadas, nacen en la base de los árboles que funcionan indistintamente como yemas florales o vegetativas. Constan de un cáliz con tubo oval, soldado con el ovario y con el limbo, muchos pétalos, numerosos estambres persistentes, con los filamentos largos, coloridos

y anteras longitudinalmente dehiscentes; un pistilo grueso y tubuloso digitado en su extremo formando varios lóbulos estigmáticos. Presentan colores vivos y brillantes (Moroy, 1989).

## **Reproducción**

La reproducción en el nopal *Opuntia Spp.*, puede ser asexual y sexual; en la actualidad la forma asexual es la más usada ya que tiene ventajas de alcanzar de una forma más rápida la descendencia completamente uniforme en la composición de sus características hereditarias, que pueda originarse una disociación (Villarreal, 1958).

La reproducción sexual es de mucha importancia para la producción de nuevas variedades y la producción de individuos más vigorosos y de mejor calidad, pero se tiene una desventaja que se necesitan muchos años para poder producir (Villareal, 1958).

- Germinación por semillas

La propagación asexual de reproducción puede realizarse de las siguientes formas:

- Por medio de pencas o cladodios
- Por medio de fracciones mínimas de cladodios
- Por medio de cultivo de tejidos
- Por injertos

## Localización de zonas nopaleras en México

En el grupo de las plantas con gran contenido de agua se incluye la familia de las cactáceas, las cuales han tenido adaptaciones a las condiciones áridas y semiáridas del país.

Sus hojas han sido modificadas a espinas y a una estructura escamosa, además el tallo cuya función es similar al de una hoja en el caso de la fotosíntesis y almacenamiento de agua (García, 2003).

*Cactácea* proviene de la voz griega “kaktos” y el termino nopal proviene de la palabra nautlat “nolli” con el que se le nombra a varias especies, explican Anaya y Bautista (2008).

En México el nopal se encuentra distribuido en gran parte del territorio mexicano nacional y se marca con gran importancia pecuaria en el norte del país López y Elizondo (1988).

En México hay extensiones de nopaleras de manejo silvestre con gran densidad para su aprovechamiento para el consumo humano y animal, estas zonas se localizan principalmente en Guanajuato, Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco, Durango, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Sonora y Tamaulipas, con el propósito de recolectar para forraje, tuna y nopalitos (Flores et al.,1995).

Comparando con lo que comentan López y Elizondo (1988), en México se encuentran cuatro zonas nopaleras estas se estructuran en:

- **Zona centro sur** México, Puebla Querétaro y Oaxaca, y se distingue por nopales de porte alto y productores de verdura y fruta, las especies

explotadas son: *opuntia – ficus*, *opuntia amiclaea* y *opuntia megacantha*, entre otras.

- **Zona del Altiplano:** Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco. En esta zona se presentan plantas de porte arbóreo de las especies *opuntia etrsptacantha* y *opntialeucotricha*, *opuntia robusta*, *opuntia cantabrigiensis* y en menor densidad *opuntia rastrera*.
- **Zona Norte:** Desierto de Chihuahua en el cual se encuentran plantas de porte arbustivo y arbóreo como el *opuntia streptacantha*, *opuntia robusta*, *opuntia ficus indica*, estas producen frutos de mala calidad.
- **Zona de la Planicie Costera del Golfo:** Noreste de México noreste de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas estos dos últimos reportan especies de porte arbustivo *opuntia lindhimeri* y sus variedades.

En México se reportan aproximadamente 104 especies del genero *opuntia*, de las cuales en el estado de Coahuila se han reportado 37, estas se encuentran divididas en 25 especies y 12 variedades, de las más presentes se encuentran *opuntia lindhimeri* y la *opuntia phaeacanta*, además, junto con sus variedades son las más utilizadas como forraje (Bravo, 1978; Elizondo et al., 1987). Una de los principales géneros del *Opuntia Spp.*, característico de México el cual se desarrolla en distintos ambientes y muy usado como alimento forrajero, muchos ganaderos lo utilizan en tiempo de seca o invierno, este género se presenta en el Noroeste de México con 45 taxas, éstas comprendidas en 31 especies y 14 variedades, de las cuales más usadas como alimento forrajero son; “*Opuntia*

*lindheimeri* y sus cuatro variedades, *O. phaeacantha* y sus cinco variedades, así como la *O. rastrera*, *O. engelmannii*, *O. cantabigensis* y en menor importancia la *O. imbricata* ( *coyonostle* o *choya*).

En el Norte de México, hay dos zonas identificadas como las zonas más áridas donde se encuentran las especies *O. imbricata*, *O. microdasys*, *O. rufida* y *O. violácea*.”

El Desierto de Chihuahua y el de Sonora, en México poseen aproximadamente el 50 % del territorio nacional, se desempeñan en la actividades ganaderas; bovino, caprino, ovino, equino, las que implementan alternativas alimenticias como el nopal. (López, 2010). Comparado con Cervantes, (2005). “Los principales productores de fruta son: Aguascalientes, Baja California, Distrito Federal, Jalisco, Oaxaca, San Luis Potosí y Zacatecas. El área de producción más importante para verdura es el Distrito Federal, en particular la delegación de Milpa Alta, que ocupa el 68% de la superficie nopalera y genera el 86% de la producción nacional”.

### **Importancia**

El nopal es un recurso forrajero natural y originario de México. Su importancia ha sido reconocida por mucho tiempo ya que es un recurso estratégico o de emergencia en los sistemas de alimentación del ganado, sobre todo en aquellos sistemas basados en la utilización de los agostaderos de zonas áridas y semiáridas (Espinoza, 1987).

Los usos de las cactáceas son múltiples y muy variados: ornato, medicinal y alimento. Desde el punto de vista de la importancia forrajera se tendrá que resaltar al Género *Opuntia* específicamente al Subgénero *Platyopuntia*, conocido comúnmente como nopal. Se caracterizan por sus artículos aplanados en forma de raqueta y porque posee un porte muy variado; rastrero, arbustivo y francamente arborescente (Elizondo et al., 1987).

Los nopales tienen un uso comestible y las personas llegan a identificarlo como nopalitos, sin duda del nopal de verdura se pueden consumir las especies que son aptas para el consumo “verdura fresca. Entre las especies utilizadas pueden mencionarse: el nopal de castilla [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (*O. Robusta*), el nopal cardón (*O. streptacantha* Lem.) y el nopal criollo (*Opuntia* sp.). Esto explica que en el mercado se puedan encontrar gran diversidad de nopalitos” (Cervantes, 2005).

Un fruto que es característico es la tuna cuya descripción es una baya carnosa, en forma cilíndrica, la cual posee jugo y tiene un mercado en el centro, norte del País y sur del mismo. “Los principales nopales utilizados como forraje son variedades de dos especies del género *Opuntia*: *O. ficus indica* y *O. robusta*, aunque CONAZA ha intensificado la experimentación con fines de propagación del “nopal masajillo” (*O. leptocaulis* D.C.), muy abundante en todo el desierto Chihuahuense” (Cervantes, 2005).

## Calidad nutritiva del nopal

El uso del nopal en la alimentación humana, en los animales domésticos y en la de la fauna silvestre ha sido muy importante sobre todo para las regiones áridas del Norte de México. Aunque la calidad alimenticia del nopal se cuestiona sobremanera, pues se considera un alimento pobre en nutrientes, pero rico en agua, para los habitantes de las regiones áridas resulta una planta que les permite subsistir y mantener a sus animales, sobre todo en las épocas de sequía y en el invierno. En el caso de los animales domésticos el nopal se usa como una dieta de mantenimiento junto con esquilmos agrícolas e industriales. El nopal está adaptado para ser una fuente de almacenamiento de agua, que la administra celosamente durante los meses de sequía. El contenido de agua puede variar desde un 93 % en pencas jóvenes y cultivadas menores de un año (*Opuntia ficus-indica*), hasta un 70 % en variedades silvestres (*Opuntia imbricata*) en épocas de sequía. Estos datos se obtuvieron de un total de 760 muestras de cinco variedades forrajeras, utilizadas en el Municipio de Saltillo, Coahuila (López, 2010).

Cuadro 2. Cuadro. Valor Nutritivo del nopal fresco en 100grs.de peso neto (Ríos, 2004).

Concepto	Contenido
Porción comestible	78.00
Energía (Kcal)	27.00
Proteína (gr.)	1.70
Grasa (gr.)	0.30
Carbohidratos (gr.)	5.60
Calcio (mg.)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflamina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03
Ascórbico (mg)	8.00
Retinol ( mg)	41.00

Con respecto a la calidad de forraje utilizado para el ganado este puede variar, 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 va de 4.1 % a 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) citados por Flores et al., (2010).

Cabe mencionar la importancia del lugar en donde se va a establecer el cultivo del nopal, se recomienda en el caso de tierras de agostadero la implementación de variedades que desarrollan espinas en sus cladodios, esto permitirá protegerse del consumo de animales silvestres y como consecuencia no dañara

su rendimiento (López *et al.*, 2002) citado por Flores *et al.*, (2010). También otras especies que son recomendadas para una mejor producción y protección en condiciones de agostadero “son: cardón (*O. streptacantha*), duraznillo (*O. leucotricha*), tapón (*O. robusta*), cuijo (*O. cantabrigiensis*), rastrero (*O. rastrera*), cacanao (*O. lindheimeri*), rastrero (*O. engelmannis*), cegador (*O. microdasys*), coyotillo (*O. azurea*) y *O. phaeacanta*” (López *et al.*, 1996; Flores y Aranda, 1997ab; Luna y Urrutia, 2008) citados por Flores *et al.*, (2010).

El nopal es un cultivo que se utiliza en casos de emergencia, cuando no se tiene forraje pero es necesario saber que no se compara el contenido de proteína con otros forrajes, esto se sustenta por el trabajo realizado por Vázquez *et al.*, (2007) citado por Flores *et al.*, (2010), en dicho estudio se analizó el rango de proteína y de energía en el cual se concluyó que se puede aumentar la productividad del ganado siempre y cuando al forraje de nopal se suministre como suplemento en la dieta y no como principal alimento.

Cuadro 3. Análisis bromatológico de especies silvestres de nopal. Vázquez *et al.*, (2007).

	<i>Opuntia rastrera</i>	<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	<i>Opuntia lindheimeri</i>	<i>Opuntia robusta</i>	<i>Opuntia ficus-indica</i>
Materia seca	14.41	11.86	11.57	10.38	11.29
Proteína cruda	2.78	4.79	4.15	4.43	3.81
Extracto Etéreo	0.76	1.09	1.03	1.73	1.38
Fibra cruda	6.18	3.71	3.02	17.63	7.62
Cenizas	40.11	31.54	25.50	18.59	13.07
ELN	43.32	58.87	66.25	57.61	74.13

En cuanto a los minerales existen informes de estudios sobre contenido mineral de *Opuntia* en México. de acuerdo con Rasquero (2001), quien comenta que los minerales varían dependiendo de la estación del año y presenta un cuadro 4 de resultados.

Cuadro. 4 Variación estacional de la composición de microminerales en diferentes opuntias Spp. (Rasquero, 2001)

	Opuntia lindheimeri				Opuntia catabrigiensis				Opuntia ficus indica				Opuntia imbricata			
	OT	IN	PR	VE	OT	IN	PR	VE	OT	IN	PR	VE	OT	IN	PR	VE
<b>Ca%</b>	1.65	4.86	4.13	3.52	1.07	4.65	4.35	4.14	2.68	4.18	4.10	3.54	3.28	3.59	3.91	3.81
<b>Na%</b>	0.34	0.31	0.55	0.38	0.44	0.32	0.42	0.42	0.52	0.50	0.81	0.50	0.45	0.16	0.27	0.53
<b>K%</b>	2.57	0.56	0.36	0.59	1.59	1.39	1.29	1.30	4.04	5.77	5.73	6.62	1.33	1.82	1.58	4.54
<b>Mg%</b>	0.71	1.10	1.11	1.02	0.39	0.74	0.74	0.65	0.67	0.78	0.74	0.65	0.57	0.56	0.46	0.70
<b>P%</b>	0.08	0.08	0.06	0.06	0.30	0.09	0.08	0.07	0.14	0.15	0.10	0.08	0.16	0.12	0.13	0.08

Morrión, (1956) reportó valores de digestibilidad como fibra, 40 por ciento; grasa cruda 72 por ciento; proteína 44 por ciento y extracto libre de nitrógeno (ELN) 78 por ciento, mientras Murillo *et al.*, (1994) en un estudio de la influencia de la adición de levaduras suplementadas con dos fuentes de nitrógeno encontró que con la adición de levadura la digestibilidad fue de 61.6 por ciento; si se combinaba sulfato de amonio con levadura, la digestibilidad aumento a 93.9. La adición de levadura y urea se asoció con una digestibilidad de 76.8 por ciento.

Cuadro 5. Variación en el contenido de nutrientes digestibles de nopal sin espinas. Revuelta, (1963).

Época	Proteína Cruda	Grasa Cruda	E.L.N.	Celulosa
Invierno y Primavera	0.2 - 0.3	0.08 - 0.12	3.0 - 5.5	0.4 - 1.0
Verano y Otoño	0.3 - 0.4	0.15 - 0.16	6.5 - 11.0	0.8 - 2.0

## **El nopal como forraje**

Anaya y Bautista (2008), describen que en el México independiente la ganadería empezó a crecer en el Norte del país, generalmente en ganado vacuno de engorda, ellos mencionan que en la época de seca los vaqueros tumbaban el agave y cortando pencas de nopal y quemando las espinas para que el animal pudiera consumirlas.

El ganado también consume las plantas cubiertas de espinas, sin que hayan sido quemadas.

El consumo del nopal está sujeta a la forma en cómo es suministrado a los animales, pero se calcula en unos quince a cuarenta kilogramos al día a diferencia de los ovinos y caprinos ya que estos ingieren entre tres y nueve kilogramos, pero este indicador cambia cuando se presentan lluvias y condiciones favorables que permiten que el agostadero tenga pastizal, entre otras variedades que provocan que el consumo de nopal baje, entonces este indicador de consumo de nopal en bovinos, ovinos y caprinos puede bajar, (López, 2010).

Un caso presentado en ovinos en los Estados de Nuevo León y Tamaulipas provocado por el consumo de nopal con una ración de siete kg diarios, se obtuvo que la cantidad de lanolina en la lana aumentara (Ríos, 1954) citado por López (2010), mientras en España se obtuvieron como resultados mejorías en la calidad de la lana y que se mantuviera el peso vivo con el consumo frecuente de nopal según Revuelta (1963) citado por López (2010).

También se encuentran grandes áreas en Argelia, el nordeste de Brasil, México y Sudáfrica. El nopal es usado todo el año, como forraje de emergencia durante la sequía. En muchas zonas áridas; México, sur de Texas, Sudáfrica y Túnez, Los productores usan el nopal extensivamente cosechándolo de las

plantaciones cultivadas y poblaciones silvestres para prevenir las consecuencias desastrosas de las frecuentes sequías severas (Le Houerou, 1992).

Desde inicios del Siglo XX en África del Norte, se han introducido varias estrategias para reducir la erosión hídrica y eólica y la degradación de los pastizales, usando arbustos (*Acacia cyanophylla*, *Atriplex numularia* y *A. halimus*) y nopal (*O. ficus-indica f. inermis*). Grandes áreas han sido plantadas en Argelia, Marruecos y Túnez desde los cincuentas. Se estima que en áreas de escasa precipitación, existen de 700 mil a 1 millón de hectáreas de plantaciones que ayudan a combatir la erosión y desertificación y a proveer de forraje para el ganado durante la sequía (Nefzaoui ,1995).

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

Digestibilidad. Es un concepto que indica la cantidad o porcentaje que de un alimento aprovecha el animal. La cantidad de nutrientes digestibles del nopal es variable en relación a la época del año. Esta relación es indirecta pues los factores ambientales y fisiológicos que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas en el año y a través de los años son muy variables; esto es lo que realmente afecta el valor nutritivo.

Este método de digestibilidad in-vitro, primera etapa, se lleva a cabo en la fermentación en un sistema cerrado, en el cual los productos de la fermentación no son removidos. El proceso de fermentación lo realizan los microorganismos que se añaden al líquido ruminal utilizado como inóculo. Sin embargo en estas condiciones la fermentación no muestra de ninguna manera lo que sucede realmente en el rumen, por ser un sistema abierto de condiciones muy especiales, por lo que, es incorrecto el término “rumen artificial” para describir esta técnica, con el fin de mantener el pH, óptimo en la primera etapa (rango

6.7 a 7.0) y crearle las condiciones adecuadas a las bacterias ruminales especialmente las celulolíticas, se proporciona una solución amortiguadora del pH, que simula la saliva del rumiante. En la segunda etapa de la técnica se realiza la digestión con pepsina, en un medio ácido añadiendo HCL, se elimina la proteína microbiana existente dejando únicamente la materia seca no digerida lo que sucede en esta etapa se compara a lo que sucede en el abomaso (Llamas y Tejada, 1990).

La serie de todos los procedimientos de la técnica de digestibilidad *in vitro*, es una fermentación anaerobia de un sustrato de la muestra, con líquido ruminal filtrado y mezclado con una solución amortiguadora que simula la saliva del rumiante (Van Soest, 1994).

A diferencia del rumen en los sistemas *in vitro* no hay un suministro continuo de saliva que podría proporcionar el nitrógeno, por eso es importante suministrar todos los nutrientes necesarios, particularmente amoníaco que podría ser limitado en los forrajes de pobre calidad, hay poca oportunidad para los nutrientes digeribles escapar a la fermentación (Van Soest, 1994)

### **Digestibilidad de nopal**

Espinoza, (2011) muestra los resultados que se obtuvieron de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a diferentes intervalos de tiempo; tratamiento 1 (0 hrs), tratamiento 2 (3 hrs), tratamiento 3 (6 hrs), tratamiento 4 (12 hrs), tratamiento 5 (24hr), tratamiento 6 (48 hrs) y tratamiento 7 (72 hrs), en los que se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). Los valores encontrados muestran un constante incremento de la DIVMS hasta las 48 hrs, seguido por una disminución a las 72 hrs, esto se debe probablemente a la pérdida de sustrato para seguir con la digestibilidad. Concluye que el *Opuntia Spp.*, presenta una alta digestibilidad de la materia seca de 90.05% lo cual indica que es una planta con buena digestibilidad ya que otras plantas como el ensilado de

maíz, avena y zacates presentan rangos de 73.2%, 83.7%, 63.3% de digestibilidad respectivamente, así mismo tiene una buena composición química.

Un reporte del USDA indica que en ensayos de alimentación usando toretes mostró que los cladodios de nopal son mucho más digestibles que el heno de pasto (*Agropyron cristatum* y *Bromus spp.*) un estudio conducido por Rossouw (1961) comparando el rendimiento y la porción digestible de nopal.

Cuadro 6. Digestibilidad de MS (%) <i>in vivo</i> (DMSIV) e <i>in vitro</i> (DMSIVt) de nopal, pellets de heno de pasto y alfalfa. Shoop <i>et al.</i> , 1977			
Alimento	NBDMD		IVDMD
	Incubación por 16-horas	Incubación por 48 horas	Incubación por 96-horas Incubación por 48 horas
Nopal	52.9 a	66.4 a	63.8 a
Pellets de heno de pasto	39.3 c	54.1 c	53.0 b
Heno de alfalfa	44.5 b	62.9 b	63.7 a
<b>Nota:</b> Medias en la misma columna con literales diferentes significativamente al 5%.			

Estudio realizado por San Juan (2011), indica que el nopal *Opuntia lindheimeri* tiene un buen contenido nutricional comparado con otras especies y reporta que tiene mayor digestibilidad de materia seca y puede ser considerada la más adecuada para incluirla en la dieta de los rumiantes. De acuerdo a los resultados obtenidos en la digestibilidad *in vitro* del nopal *Opuntia lindheimeri* es muy buena para la alimentación de los bovinos ya que en esta investigación presentó valores muy altos de digestibilidad con 89.10 % de digestibilidad a las 72 horas de incubación, con lo que lo hace ser una muy buena alternativa en la dieta de los rumiantes.

Abrego (2009), 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 con 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 y levadura 10%, t3: 70% Nopal y 20% de granos húmedos de cervecería (GHC), t4: 60% Nopal, 10% de levadura y 20% de GHC, (excepto el testigo, los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza). Para analizar el contenido bromatológico, FDN y FDA, lo hizo mediante 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 sub productos de cervecería. Para analizar la cinética de digestión ruminal, se empleo un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2x4x6. Para el análisis bromatológico no encontró diferencia significativa, para la digestibilidad sí encontró significancia 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 horas.

Gonzales (1964), 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 observo que la ración de nopal + harinolina fue superior a las de nopal y nopal + sorgo, al tener el coeficiente de digestibilidad de 93.4%, 75.7% y 71.9% respectivamente ; concluyendo que al aumentar la proteína cruda de la ración se aumenta el coeficiente de digestibilidad de esta.

En un estudio de Lastra (1978), en que el nopal fue ofrecido en forma deshidratada, marchito, y fresco, se obtuvieron porcentajes de digestibilidad de 64.7% para el nopal fresco, 62.1 para el nopal marchito y 58.5% para el nopal deshidratado. Menciona que siempre los animales bajan de peso al consumir el nopal solo; por lo que concluye que el nopal debe suministrarse con algún concentrado proteico.

Cuadro 7. Coeficiente de digestibilidad del nopal en diferentes especies y distintos autores. Maymone y Malossini (1960).

<b>Especie</b>	<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>Autor</b>
<b>Bovino</b>	12	Hare (1908)
<b>Bovino</b>	55	Woorward y Col (1915)
<b>Ovino</b>	56	Vinson (1911)
<b>Ovino</b>	68	Maymone y Malossini (1960)

## **Entorno Nacional del Agave**

### **Clasificación y descripción taxonómica del Agave**

En la taxonomía clásica se le ubica en la familia *Amaryllidaceae*, subfamilia *Agavoideae*. El género *Agave* es el más grande de esta familia, comprendiendo aproximadamente, doscientas setenta y cinco especies (Lawrence, 1951). Sin embargo, Hutchinson (1934) lo ubicó dentro del orden *Agavales* y específicamente en la familia *Agavaceae*, en donde se incluye el género *Agave*. Este género incluye, de la nomenclatura tradicional, géneros que pertenecen a la familia *Liliacea* y otros a la *Amaryllidacea* (Lawrence, 1951;

Gómez, 1963). En esta nomenclatura, el subgénero *Agave* lo integran 12 secciones con 82 especies, 21 subespecies y 23 variedades. En total 197 taxas (Gentry, 1982).

Cuadro 8. Taxonomía de la agave propuesta por Tanhktajan (1980).

<b>División</b>	<b>Angiospermae</b>
<b>Clase</b>	Monocotiledoneae
<b>Orden</b>	Liliales
<b>Familia</b>	Agavaceae
<b>Subfamilia</b>	Agavoideae
<b>Genero</b>	Agave
<b>subgénero</b>	Littaea ,agave

### Descripción del género

El género *agave*, cuyo nombre viene del griego y significa “admirable”, fue descrito inicialmente por Linneo en 1753, siendo la primera especie *agave* americana.

Gentry (1982) divide al género en dos subgéneros: *littaea* y *agave*. el subgénero *agave* está formado aproximadamente por 102 especies; en México tienen una distribución más amplia que *littaea*, desde las dunas costeras del mar hasta los bosques de *pinus quercus* a los 2,600 – 2900 metros de altitud, y coloniza un mayor número de ambientes, aunque la variedad de formas que presenta es reducida, la mayoría de las especies 53 especies de *littaea* crece en altitudes superiores a los 1000 metros aunque también se desarrollan al nivel del mar y hasta los 2500 metros, tanto en bosques de *pinus quercus* como en las selvas bajas caducifolias (García, 1995) el subgénero *littaea* está caracterizado por sus inflorescencias de apariencia espigada y el subgénero *agave* posee

inflorescencias paniculadas y flores en grandes agregados umbelados sobre pedúnculos laterales (Eguiarte *et al.*, 2000; García, 1995)

Son plantas perenes, rizomatosas, de tallos acaules, hojas grandes dispuestas en roseta y suculentas – fibrosas que terminan en una espina; los márgenes de la hojas presentan pequeñas hojas espinas ganchudas o rectas; inflorescencia en espiga o panoja con escapo largo semileñoso; las flores son de color amarillo verdoso, protandricas con perianto infundiliforme de tubo de longitud variable y seis segmentos casi iguales; seis estambres filamentosos filiformes con anteras amarillentas; ovario ínfero trilobular, tricarpelar, con placentación axilar, multilobulada; fruto capsular leñoso alargado, dehiscente con tres alas con numerosas semillas aplanadas algo triangulares de testa negra.(Cozatti.1947, Gómez, 1963, Gentry 1978 y 1982)

Los *agaves* son monocarpicos, semelparados, quiere decir que solo tienen una floración tras de la cual muere, aun cuando exista alta cantidad de semilla en la producción sexual, debido a su gran depredación y también a que las condiciones de germinación no son muy adecuadas, su reproducción es principalmente en forma asexual ( por hijuelos).

### **Morfología**

Los *agaves* constan de raíces fibrosas , tallo muy corto y grueso hojas mejor conocidas como pencas de colores verde, amarillo hasta el azulado, con tonalidades grisáceas, cóncavas de una longitud de 1.5 a 2.0 con espinas en sus bordes terminados en planta y rematadas por una púa o espina y estas unidas muy juntas formando una roseta, las hojas son anchas al principio en la base y van reduciendo su anchura hasta terminar en punta o espina; estas

revestidas de una cutícula apergaminada que le sirve para la evaporación (Sánchez, 1965).

Son plantas adaptadas a condiciones de aridez, raíces someras y ramificadas, cutícula gruesa, suculenta, estomas hundidos, metabolismo fotosintético y metabolismo ácido de crasuláceas son algunos atributos que les permiten establecerse en diferentes zonas climáticas (Sánchez, 1965)

La altitud en que se desarrollan va desde los 1230 a 2460 msnm; la precipitación, el agave subiste y prospera en precipitación media anual desde 335 hasta 924 mm (Gómez, 2003).

Temperatura. El agave prospera en condiciones de temperatura que va desde 13.6 hasta los 17.8 ° Centígrados (Gómez, 2003).

Iluminación. La mayoría de los agaves del desierto necesitan luz solar, sino existe se convierten en plantas etioladas, los agaves pulqueros del centro de México requieren iluminación no toleran la sombra (Granados, 1993).

Los *Agaves* son plantas que pueden encontrarse en gran diversidad de hábitats de los valles y planicies hasta cerros y laderas pedregosas, incluyendo lugares montañosos de gran altitud. Se desarrollan mejor, tanto a nivel individual como poblacional, sobre planicies extensas con suelos aluviales, de profundidad y textura medias y pH de neutro a ligeramente alcalino. Conviven también con variados tipos de vegetación, destacando entre otros: la vegetación xerófita, pastizales, matorrales, bosques, etc. Generalmente forma grupos o conglomerados dispersos dentro de la vegetación de pastizal y se le encuentra combinado con nopaleras y matorral micrófilo. (Gentry, 1982).

## **Los agaves dentro de las plantas MAC**

Medina (1987), menciona que la mayoría de las plantas suculentas con metabolismo ácido crasuláceo como en agaves, la morfología y la fisiología de los organismos fotosintéticos desempeñan un papel importante en la productividad. Se han realizado estudios en los que se consideran la orientación de la radiación en agaves, las características especiales de la roseta de estas son: rigidez, opacidad, simetría radial, aproximada, almacenamiento de agua y presencia de metabolismo MAC.

Donde el  $\text{CO}_2$  es absorbido durante la noche por la planta y fijado por la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa en un compuesto de cuatro carbonos que son almacenados en las vacuolas de las células del colenquima deben tener grandes vacuolas para almacenar todo el ácido (Nobel, 1990).

La sobrevivencia de las plantas MAC en condiciones naturales con sequías prolongadas y erráticas, dependen más de la posesión de una cubierta exterior impermeable al agua o la asimilación de carbono, posibilitada por la fijación nocturna de  $\text{CO}_2$  al mismo tiempo, la importancia ecológica de la fijación nocturna de  $\text{CO}_2$  por plantas MAC radica en su contribución a la sobrevivencia de las mismas al proveer un mecanismo de recirculación interna de  $\text{CO}_2$  en condiciones de sequía severa, que evita la inhibición del aparato fotosintético cuando el cierre estomático total impide la absorción del  $\text{CO}_2$  externo ; además la vía MAC contribuye a la producción de materia orgánica y crecimiento de la planta (Medina, 1987).

## **Reproducción**

El género *Agave* se propaga por semilla, vástagos vegetativos y propágulos en la inflorescencia. Dependiendo de la especie, algunos se propagan solamente por semillas, otros por semillas y vástagos vegetativos, mientras que otros pueden propagarse por las tres formas. Al respecto Gómez-Pompa (1963) señala que en este Género los procesos de reproducción sexual están reducidos o no funcionan; sin embargo, Ruvalcaba (1983) señala que cuando se realiza este tipo de reproducción se puede obtener hasta 33 % de germinación. La forma común de propagación de los agaves cultivados es asexual, técnica que consiste en separar los vástagos (hijuelos, retoños o mecuates) que se derivan del rizoma que pronuncia la planta madre después del primer año de plantación, los cuales, dependiendo de su tamaño son plantados en el terreno definitivo, o en el caso de ser pequeños, se mantienen en vivero por un período de 12 meses o más, hasta su plantación definitiva. Existen también otros métodos de propagación asexual (por rizomas, por secciones de tallo y por bulbillos apomícticos de la inflorescencia) (Méndez, 2010).

## **Distribución del agave**

Cabe mencionar que el género agave se encuentra ubicado dentro de la familia *Agavaceae*, la cual tiene origen aproximadamente hace 15 millones de años (Eguiarte, *et al.*, .2000), esta familia se encuentra distribuida en Dakota del norte, Estados Unidos y hacia el sur se extiende a través de los Andes hasta Bolivia y parte de Paraguay, incluyendo Centroamérica y las Antillas, además su riqueza y biodiversidad se encuentra en México. (García – Mendoza, 1995).



Fig.1 Distribución de la familia Agavaceae García y Galván (1995).

Como se comenta anteriormente las especies de la familia *Agavaceae* son nativas de América y se encuentran clasificadas en ocho géneros y las cuales se ubican en nuestro país, pero no se tienen definido el número de especies de la familia *Agavaceae* Eguiarte *et al.*, (2000), sin embargo afirma García-Mendoza y Galván (1995) que hay 288 especies y comentan que un 75% del total se encuentra en el territorio mexicano. De todas especies situadas en México el 55% son endémicas, los estados que guardan mayor número de especies son; Oaxaca, Durango, Puebla, Sonora, Jalisco, Coahuila, Chihuahua, San Luis Potosí, Nuevo León (García- Mendoza y Galvan,1995), los ocho géneros de la familia *Agavaceae* presentan biología reproductivas diferentes, las cuales se dividen en iteróparas (policárpicas), estos se pueden producir cada año, mientras las semélperas (monocárpicas) solo generan una inflorescencia en su vida, para después morir.

- **Protandricas:** Aquel en que los órganos genitales masculinos maduran antes que los femeninos.
- **Semelparo:** Organismo que se reproduce una sola vez durante su vida.
- **Policarpicas:** Planta perenne que florece y fructifica cada año
- **Iteróparas:** Se reproduce más de una vez.

## Importancia

El agave tiene su origen en la época prehispánica y la cual ha tenido diferentes usos de los emblemáticos como fuente de alimento, además de bebidas, también como material de construcción y como medicina (Ariazga y Escuerra, 2002). Otra manera en la cual se utiliza es en la producción de esteroides, productos para la cosmetología combustibles y jabón (Mc Vaugh, 1989; Nobel, 1988; Piven *et al.*, 2001)

El desarrollo del agave tiene como cuna de nacimiento en las civilizaciones mesoamericanas, en la cual se desarrollaron diferentes especies de *agave* (maguey), utilizada para la producción de licor, cabe mencionar el más representativo el pulque seguido de los adelantos presentados en los últimos dos siglos el mezcal y el tequila según Gentry (1989). Se puede definir que el maguey es una de las especies silvestres de las cuales se destaca su multifuncionalidad y en la cual en México es muy representativa Gómez – Pompa (1963).

La importancia que tienen el maguey en México representa una etapa histórica de su desarrollo, en el aspecto económico, social y agroecológico manifestado históricamente en la época prehispánica, cuando los pueblos indígenas principalmente del centro y del norte del país desarrollaban con el maguey una fuente de alimento y con ello una diversidad enorme de usos (Méndez *et al.*, 2010).

Cuadro 9. Usos que se les da a varias especies de Agave. Centro de Propagación de Agave del Estado de Guanajuato. Citado por García *et al.*, (2010).

Usos	Producto	Parte de la planta
Alimentación	Azúcar	Tallo (piña)
	Guisos	Flores y frutos (cápsulas frescas)
	Dulce	Escapo floral (quiote)
	Envolver barbacoa	Hojas
	Mixiotes	Cutícula del cogollo
	Gusanos blancos, Gusanos rojos (Chinicuiles)	Hojas
	Pan de pulque	Tallo (piña)
	Tortillas	Perianto de flores + nixtamal
Bebidas	Aguamiel, miel, atole de aguamiel, Pulque, Mezcal, Tequila, Sotol, Bacanora, Vinagre, Jarabe.	Tallo (piña)
Agrícola	Cerca viva	Planta completa
	Evitar erosión como formadora de suelo	Planta completa
	Abono orgánico (fertilizante)	Composta de hojas
Forraje	Planta líder de ecosistemas	Planta completa
	Bovinos, caprinos, porcinos	Hojas, escapos florales, flores y parte de la inflorescencia, bagazo.

De los usos de mayor importancia en México es la elaboración de pulque, aguamiel, mezcal. Estas actividades representan económicamente un potencial para las zonas productoras de *Agave*, esto se desarrolla cuando el Maguey alcanza una edad de 7 a 12 años, cuando está en su etapa de madurez, esto también depende de la especie y de las condiciones climáticas, y para detectar su etapa de reproducción se caracteriza por presentar un escapo floral o quiote el cual presenta físicamente cambios en las pencas, estas son más delgadas y erguidas del cogollo y con espinas terminales de color negro, estas con un aspecto brillante y delgadas.

Cuadro 10. Usos que se les da específicamente a las partes de diferentes especies de *Agave*. Centro de Propagación de *Agave* del Estado de Guanajuato. (Méndez *et al.*, 2010).

Construcción	Cercas, casas (jacales), corrales Tejas para cubrir techos de casas Canales para colectar agua de lluvia Materiales compuestos: resinas termoplásticas o termófilas + fibras	Escapo floral (quiote) Hojas Hojas Residuos de fibra
Fibras	Cordelería, jarcería y cestería (lazos, ropa domestica) Escobetillas y cepillos para limpieza con jabón incluido, Estropajos, tejido y vestuario	Fibras de hojas Raíces, fibras de hojas Fibras de hojas
Medicinal	Cura golpes y lesiones internas, falta de movimiento en miembros, prevención de escorbuto, sana heridas (antiinflamatorio) Cura anemia	Hojas Mieles y pulque
Ornamental	Adornos corporales (aretes, collares) Adornos de Navidad Arcos florales En jardines, calles, camellones	Semillas Planta completa Fibras de las hojas Planta completa
Domestico	Jabón o detergente para trastes y ropa, shampoo, Macetas o recipientes para agua, Tapaderas de cazuelas, ollas o barriles Palillos para la extracción de gusanos comestibles Aguja incluyendo hilo para coser	Hojas, tallos y raíces Tallo (piña) Hojas y tallo (piña) Espina terminal de hojas Espina terminal más hebra de hoja
Otros usos	Industria química, farmacéutica, medicamentos y productos esteroides (saponinas) Productos de celulosa para papel Producción de etanol, celulosa y glucósidos	Hojas, raíces, tallo y semilla Hojas (pulpa y residuos de desfibramiento) Hojas (pulpa residuos del desfibramiento, bagazo, jugos)

En épocas pasadas la principal especie para la extracción de fibras fue el *agave Sisalana*, actualmente el agave más utilizado para la extracción de fibra es el agave lechuguilla, la fibra se obtiene de las hojas maduras y del cogollo.

Una de las actividades económicas secundarias que generan los *Agaves* es que en ellos se recolectan más de 1,400 especies de insectos comestibles, y en México se encuentran 389 especies que son recolectadas para consumo y en diferentes etapas de su ciclo biológico esto ya sea comido en larva, huevo, ninfa, pupa o adulto, unas de las especies consumidas son:

- Escamoles (*Liometopum apiculatum* M.). Los escamoles son las larvas de la hormiga *Liometopun apiculatum* y *Liometopum occidentale*, y han sido consumidos desde la época prehispánica por grupos étnicos como los mazahuas, chichimecas, aztecas, otomíes, etc.

- *La hormiga escamolera*. Se distribuye en México en los estados de Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala, Estado de México, Puebla, Guanajuato, Distrito Federal y en el altiplano potosino-zacatecano.
- Gusano Blanco (*Acentrocneme hesperiaris*). Este insecto, tiene un alto valor alimenticio y económico por los ingresos que tienen las familias que se dedican a su recolección. Se distribuye y extrae en los estados de Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Veracruz, Querétaro, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.
- Gusano Rojo (*Hypochoa agavis* B.). Es llamado “chinicuil”, este causa severos daños al maguey (Morales y Esparza, 2002).

Uno de los usos importantes es en la conservación de suelos, debido a que México tiene un territorio muy heterogéneo, y de las regiones donde se presenta mayor problemas es en el sureste del país en cuanto en la erosión del suelo, una de las alternativas es la plantación de *Agave* (magueyes), la cual reduce la erosión en laderas con pendientes desde 10 hasta 40 %, esto se denomina cobertura de *agave* en laderas, la que se han obtenido buenos resultados con la utilización de un *agave* nativo, el cual sea utilizado como línea intermedia para formar terrazas estas permitirán detener la erosión provocada por el viento y por las pendientes tan prolongadas, los resultados obtenidos por esta variedad nativa de maguey han mejorado el pH, manteniendo la retención de micro elementos y aumento de potasio, fosforo entre otros elementos, sobre todo la retención aguas arriba del azolve Olvera *et al.*, (2000)

Es evidente la importancia socioeconómica que tiene el maguey en el desarrollo de nuestro país en la forma en la cual se han adoptado formas de aprovechamiento del agave o de sus especies y las costumbre que se han forjado en las distintas zonas del país, en el caso de la zona norte de México se

ha valorado su uso forrajero como fuente de alimento para el ganado y actualmente constituye parte fundamental de la dieta, debido a su eficiencia en el uso del agua y a la adaptación en zonas semidesérticas, cabe mencionar una forma de administración en la cual se utilizan las hojas e incluso la misma piña del Agave para darlo como suplemento al ganado, el cual le proporciona, energía, minerales, agua y lo más importante de comentar que para su eficiencia es importante suplementar con Nitrógeno, ya que las bacterias necesitan para digerirlo (García *et al.*, 2010).

Las formas de suministro como picarlo en el campo o ya sea en el corral trae beneficios, como la reducción de la tasa de mortalidad de ganado, se reduce el consumo de agua, la compra de forraje además de traer material mineral, contenido de azúcares y fibra, esto se puede obtener gracias a su productividad, la cual es muy buena, solo en una hectárea se pueden obtener 750 plantas y presentando un rendimiento de 55 toneladas y de materia seca 6.1 toneladas (Martínez, 1994) y comparado con el nopal con 1,250 plantas por hectárea y se obtiene en rendimiento 32 toneladas de forraje fresco y 3.5 toneladas de materia seca comenta (Hamilton, 1992).

### **Calidad nutritiva del agave**

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 (Gutiérrez, 2010).

Las hojas de maguey contienen 90 % de humedad, 10 % de materia seca, 5 % proteína cruda, 17.03 % de fibra detergente neutro, 14.39 fibra detergente ácido (FDA), 2.61 lignina, 0.31 nitrógeno ligado a FDA y lo más sobresaliente es el 3.03 % de proteína disponible. El maguey representa un forraje de mejor calidad en comparación al heno de maíz, avena y el nopal. En relación a minerales, se encontró mayoritariamente Ca, P, Zn y Fe y pueden cubrir la cantidad requerida para una vaca en lactancia. Es sobresaliente la presencia de Se (Silos, 2011).

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.

Cuadro 11. Análisis bromatológico del maguey, porciento de digestibilidad y total de nutrientes digestibles. Ruiz (1975).

<b>Nutriente</b>	<b>Total (%)</b>	<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>N.D.T. (%)</b>
<b>Proteína</b>	0.77	98.63	0.750
<b>E. etéreo</b>	1.87	98.26	4.11
<b>E.L.N.</b>	1.48	98.88	1.46
<b>Fibra cruda</b>	16.9	97.75	15.73

Se observa que en el porciento de nutrientes digestibles totales depende principalmente de la cantidad de fibra y presente en el forraje, siendo esta la que aumenta considerablemente dicho porcentaje, no sucediendo así con la proteína, ya que su contenido es muy bajo; 0.77%.

Cuadro 12. Calidad forrajera del vástago floral. Espino (1984).

<b>Nutriente</b>	<b>Contenido (vástago floral) (%)</b>
<b>Materia seca</b>	18.0
<b>Proteína cruda</b>	11.0
<b>F.A.D</b>	27.0
<b>Digestibilidad</b>	27.0

De las diferentes partes del vástago floral del maguey, la flor presenta las mejores características bromatológicas tanto en estado natural como ensilado; similar a la de los cultivos forrajeros tradicionales.

### **Agave como forraje**

Actualmente el maguey sigue siendo una planta de la cual se obtienen beneficios aunque la información es escasa. Martínez (1983), indica que entre 2 y 8 mil toneladas de maguey son usadas como forraje en la actualidad. Lo que se le da a los animales es el residuo o bagazo de la elaboración de mezcal, este utilizado por los ganaderos como suplemento adicional en la época de sequía, aunque por su composición solo es un material de relleno en la dieta de los rumiantes.

La estrecha relación establecida entre los mexicanos y el agave permanece hasta hoy. Estas plantas satisfacen varias necesidades de los pobladores de zonas áridas y semiáridas del país, e incluso llegan a ser el soporte de importantes actividades económicas generando las riquezas como la industria tequilera, mezcalería y de fibras naturales. Actualmente, los tallos (piñas), quiotes (inflorescencias inmaduras), base de las hojas y flores son parte de la dieta del ganado en muchas regiones del país (Baena, 2005).

En la zona del altiplano potosino – zacatecano, es muy común la explotación de maguey para obtener forraje fresco para el ganado, las especies más utilizadas son la *mapissaga*, *a. salmiana* (Granados ,1999).

El uso del agave en el valle del mezquital Hidalgo es una zona muy marcada por el aprovechamiento del agave como forraje, las pencas de los magueyes agotados y las pencas tiernas, quiotes y flores, se proporcionan en trozos pequeños a cabras, borregos, burros, reses y cerdos, sobre todo en tiempo de seca, a este forraje se le agrega sal para que sea más consumible. Las especies más utilizadas son maguey blanco (*A. americana*), penca larga (*A. mapisaga var, mapisaga*), maguey verde, manso, chino (*A.salmiana var crassipina*) (Granados, 1999).

Manzano (1989) describe los usos del maguey, las inflorescencias del maguey se colectan tirando el escapo floral que es muy largo, estas se obtienen a partir de marzo hasta julio o junio para consumo humano y del ganado.

La base de las pencas maduras se utilizan como alimento del ganado, las pencas para este fin son las más externas, se les practican cortes perpendiculares para evitar que los animales ingieran fragmentos grandes, ya que se pueden asfixiar (Granados, 1999).

Venero, (2006), comenta que en los Andes del Perú, *Agave americana* es una especie de uso múltiple, utilizada desde épocas prehispánicas. El uso de su escapo como alimento para el ganado vacuno, resulta ser un nuevo tipo de uso para la especie. Se trata de un uso con carácter temporal, es decir, cuando existe la disponibilidad de escapos tiernos, entre los meses de septiembre a noviembre, que coincide con temporada en que también hay escasez de alimento para el ganado. De diez campesinos entrevistados individualmente, nueve (90%) coincidieron en afirmar que se le da de comer al ganado vacuno por que “contiene vitaminas y es buen alimento” mientras que uno sólo (10%), manifestó que cuando se le da de comer, el animal expulsa el “kallutaca” (*Fasciola hepática*).

Estudio realizado por Mellado *et al.*, 2008 fue evaluar el efecto de diferentes niveles de flores de maguey cenizo (*Agave scabra* Ortega) sobre el consumo de alimento (CA), ganancia diaria de peso (GDP), producción de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen y algunos metabolitos y minerales de la sangre en cabras nativas x lecheras en crecimiento. Se utilizaron cuarenta cabras con un peso inicial de  $11.1 \text{ kg} \pm 1.9$  (media  $\pm$  DE) en un diseño completamente al azar con cuatro corrales ( $2 \text{ cabras} \cdot \text{corral}^{-1}$ ) por grupo. La prueba de alimentación duró 84 días. Los tratamientos consistieron en el reemplazo de alfalfa por 0% (testigo; T0), 25% (T25), 50% (T50), 75% (T75), y 100% (T100) por flores de maguey cenizo, en una dieta basada en grano de maíz y harina de soya. Las cabras se alimentaban dos veces por día con una ración completa donde el forraje constituía 30% de la dieta. Los parámetros nutricionales de flores de maguey cenizo fueron: digestibilidad de la materia orgánica,  $493 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; proteína cruda,  $115 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; y energía metabolizable,  $6.29 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MS}$ . Se detectaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en la GDP (rango entre 108 y  $155 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ). El consumo de alimento no fue afectado por los niveles de flores de maguey cenizo (rango de 3.4% a 3.6% del peso vivo). La relación CA/GDP se incrementó ( $P < 0.05$ ) 27% con la sustitución total de alfalfa por flores de maguey cenizo, con relación a T0. Menores valores ( $P < 0.05$ ) de AGV se obtuvieron en T100, en comparación con las otras dietas. El reemplazo total de alfalfa por flores de maguey cenizo disminuyó ( $P < 0.01$ ) la proporción de propionato e incrementó la proporción de acetato en el rumen, comparado con T0. Estos resultados demostraron que el reemplazo total de alfalfa por flores de maguey cenizo no afectó el CA, disminuyó ligeramente la GDP, pero afectó negativamente la relación CA/GDP. Entonces, las flores del maguey cenizo tienen el potencial de reemplazar parcialmente la alfalfa en dietas para cabras en confinamiento.

## Digestibilidad de agave

Mata *et. al.*, (2010), realizaron un estudio para conocer la degradabilidad *in vitro* del maguey *A. mapisaga* (T1), *A. salmiana* var. *Salmiana* (T2) y *A. salmiana* var. *ferox* (T3). Utilizando cinco repeticiones por cada tratamiento, los tiempos de incubación fueron 0, 24, 48 y 72 h. Para cada tiempo, se determinó pH y concentración de ácidos grasos volátiles. Únicamente en el tiempo de incubación 72 h se realizó conteo de bacterias totales. Los resultados fueron analizados utilizando el programa estadístico SAS bajo un diseño Completamente al Azar y las medias entre tratamientos fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey. Los resultados muestran que el contenido de materia seca fue diferente ( $P \leq 0.05$ ) para los tres tratamientos, siendo el T3 el que presentó el mayor contenido (14.04 %), seguido del T2 (11.89 %) y el menor para T1 (11.07 %). Con relación al contenido de proteína total, ésta fue similar entre tratamientos con valores de  $2.55 \pm 0.08$  %. Referente al contenido de fibra detergente neutro, el T3 mostró el valor más bajo (24.47 %), respecto a los demás tratamientos (T1, 28.32 %; T2, 29.23 %); mientras que el contenido de fibra detergente ácido no fue diferente ( $P > 0.05$ ) al evaluar los tratamientos, encontrando valores de 21.51, 23.31 y 18.15 % en T1, T2 y T3, respectivamente. En general, el T3 fue el que presentó el mejor comportamiento con relación a las variables evaluadas, por lo que bajo condiciones de la presente investigación, se concluyó que puede utilizarse como fuente de forraje para la alimentación de animales rumiantes.

Las agaváceas evaluadas tienen potencial de ser un forraje alternativo para rumiantes, que en general presentan buen porcentaje de degradación comparado con otros forrajes fibrosos (paja, rastrojo, etc.) (Gómez, 2003).

Análisis realizados por Pinos-Rodríguez *et al.*, (2006) mostraron que la materia seca varía de 19.5 a 24% para magueyes inmaduros y de dos años, respectivamente. Las cenizas variaron de 12.7 a 9.9% para maguey inmaduro y magueyes de 2 años, respectivamente. En maguey inmaduro, la proteína cruda, FDN y azúcares totales fueron 3.1, 13.1 y 44.4%, respectivamente, mientras que en magueyes de dos años los valores fueron de 2.1, 10.3 y 64.2%, respectivamente. Para magueyes inmaduros y magueyes de 2 años, la digestibilidad *in vitro* a las 72 hrs, fue de 70.8 y 85%, respectivamente. Por los resultados mostrados anteriormente, se deduce que el uso de magueyes inmaduros no es conveniente ya que es bajo en azúcar y alto en saponinas. Las piñas del maguey tienen altos contenidos de carbohidratos totales y bajos porcentajes de FND, características nutritivas importantes. El contenido nutrimental en las hojas de tres especies de agaves (*Agave agustifolia*, *A. karwinskii* y *Agave spp.*) promedió 0.32, 4.47, 3.29 y 2.10% para P, Ca, K y Mg, respectivamente (Velasco-Velasco *et al.*, 2009).

Harrison (1984), encontró que la digestibilidad *in vivo* para bagazo y pulpa de henequén (*Agave fourcroydes*) fue superior al 62%, demostrando que es un forraje con alto potencial nutritivo. En *Agave salmiana*, la digestibilidad *in situ* de maguey maduro mostró una alta tasa de digestibilidad, comparado con pencas de desvirado (López *et al.*, 2001). El consumo de forrajes puede ser incrementado reduciendo el tamaño de partícula para incrementar la densidad y la tasa de pasaje en el tracto digestivo (Van Soest, 1994). Corderos alimentados con bagazo completo no mostraron problemas digestivos e incrementaron 99 g día<sup>-1</sup> de peso corporal, sin embargo, corderos alimentados con bagazo picado tuvieron mayores ganancias de peso (157 g día<sup>-1</sup>; Pinos-Rodríguez, 2006). Mezclas de silos de agave y alfalfa sobre la fermentación ruminal y el crecimiento de cabras fueron evaluados por Zamudio *et al.*, (2009), encontrando que el ensilado mejora la calidad nutricional, la digestibilidad ruminal y el consumo del silo de agave, al incrementar el nivel de alfalfa. Lo anterior muestra que el maguey es un ingrediente con buena digestibilidad en la alimentación de rumiantes, sin embargo, es difícil satisfacer los requerimientos

de mantenimiento usando solo este ingrediente, por lo que debe de mezclarse con otros alimentos de mayor calidad (Arizpe, 1975).

## Celulosa

La celulosa es uno de los componentes más abundantes de la biomasa vegetal que es degradada por una serie de microorganismos mediante la acción de varias enzimas no asociadas en complejos, como en los hongos filamentosos y en algunos actinomicetos o formando un complejo denominado “celulosama”, como en los clostridios y en las bacterias del rumen (Lind *et al.*, 2002).

Estructuralmente la celulosa es un carbohidrato compuesto de unidades de glucosa unidas en una cadena larga lineal por enlaces  $\beta$  en los átomos de carbono 1-4 de la molécula de azúcar (Alexander, 1980).

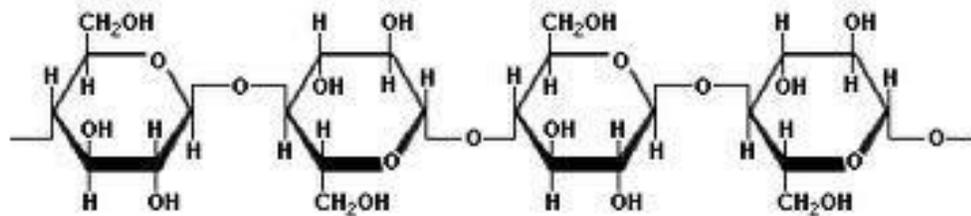


Figura 2. Estructura de la celulosa. (Zabala, 2005).

La celulosa tiene una estructura lineal fibrosa, en que se establecen múltiples puentes de hidrogeno entre los grupos de hidróxido de distintas de distintas cadenas de glucosa, haciendo impenetrables al agua, lo que la hace insoluble al agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de los vegetales (Sarli, 2004)

## **Función de la Celulasa**

La celulosa es un polisacárido formado por unidades de anhidro glucosa, las cuales se mantienen unidas mediante enlaces  $\beta$ -1-4 glucosídicos. Pero además, la configuración  $\beta$  le permite a la celulosa formar cadenas largas y lineales, las cuales no se presentan aisladas sino unidas mediante enlaces de hidrógeno intermolecular formado por una estructura supramolecular cristalina y organizada, resistente a la hidrólisis (Chacón y Waliszewski, 2005).

La aplicación de enzimas de interés es la aplicación de enzimas celulasas o preparados con actividad enzimática múltiple (celulasa, hemicelulasa, y pectinasa) debido a su efecto, por el potencial que tiene sobre la hidrólisis de los componentes estructurales de la pared celular de los vegetales (Chacón y Waliszewski, 2005).

La celulosa es rápidamente hidrolizada en la naturaleza por organismos aeróbicos del suelo, particularmente por los hongos que degradan la madera. Los organismos anaeróbicos del rumen y del intestino son responsables de la digestibilidad de la celulosa en los animales rumiantes y en los herbívoros (Carrera, 2002).

En relación a su estructura la celulosa está constituida por microfibrillas cristalinas, lineales y de alto peso molecular, formando polímeros de moléculas de D-Glucosa, cuya digestibilidad puede ser muy alta (cerca del 90 %) dependiendo de su grado de lignificación. La disponibilidad de la celulosa para los organismos celulolíticos varía de acuerdo al nivel de lignificación y el ambiente ruminal generado por la dieta, siendo el rumen el principal sitio de digestión con un 80-85% de la cantidad degradada en todo el tracto. La celulosa digestible que puede ser fermentada en el ciego y colon varía de un mínimo de un 5 % a un máximo de un 29 % dependiendo del tipo de forraje, procesamiento, nivel de consumo, y tipo y nivel de suplementación. La

fermentación de este compuesto químico lleva a la formación de ácidos grasos volátiles (Dehority ,1973).

Las celulasas son un sistema complejo de enzimas que hidrolizan las uniones  $\beta$ -(1-4) de los glucanos y se encuentran en la naturaleza en microorganismos que atacan a las plantas, así como en el sistema digestivo de animales herbívoros. Las preparaciones comerciales provienen principalmente de *Trichoderma reesei* y de *A. niger* (Badui, 2006).

### **Modo de acción de las celulasas**

Las celulasas son proteínas derivadas de procesos naturales de fermentación, capaces de degradar la celulosa. En realidad, una enzima de celulosa es una mezcla de diferentes componentes enzimáticos, formando lo que se denomina un “complejo enzimático”, que actúa de forma sinérgica en la degradación de la celulosa. Este complejo enzimático está formado por tres tipos de enzimas: endoglucanasas (EGs) o endocelulasas ( $\beta$ -1,4-D-glucan 4-glucanohidrolasa), celobiohidrolasas (CBHs) o exocelulasas (1,4-  $\beta$ -D-glucan celobiohidrolasa) y  $\beta$ -glucosidasa (BGs) o celobiasa ( $\beta$ -D-glucósido glucohidrolasa) (Enari, 1987).

Otro mecanismo propuesto por la literatura para la degradación de la celulosa puede resumirse en tres etapas; primero la endo  $\beta$ -1,4-glucanasa actúa al azar sobre los enlaces  $\beta$ -1,4 glucosídicos internos presentes entre las unidades de glucosa que forman las moléculas de celulosa y las convierte en cadenas largas de oligosacáridos, los cuales mantienen la configuración  $\beta$  de la estructura. La acción de esta enzima es sobre las regiones amorfas de la molécula de celulosa o sobre la superficie de las microfibrillas, y tiene como resultado la disminución de la longitud de la cadena de celulosa y la creación de nuevos extremos reactivos que sirven de sustrato para la posterior acción de

C1. En la segunda etapa actúa exo  $\beta$ -1,4-glucanasa, la cual es una enzima que corta la cadena 1,4  $\beta$ -D glucano a partir del extremo no reductor de la molécula de celulosa y de las celodextrinas, lo que provoca la remoción de unidades de celobiosa o glucosa. Ambas enzimas endoglucanasa y exoglucanasa son inhibidas por uno de los productos de hidrólisis enzimática, la celobiosa, lo que disminuye la eficiencia de la hidrólisis una vez degradada las zonas amorfas de la celulosa, tiene lugar la tercera etapa de hidrólisis en donde la región cristalina comienza a ser hidrolizada, como resultado de la acción sinérgica de la endoglucanasa y la exoglucanasa. Finalmente, una etapa que limita la degradación de la celulosa es la hidrólisis de la celobiosa a glucosa mediante la acción de la  $\beta$ -1,4-glucosidasa, porque las glucanasas son inhibidas por celobiosa (Chacón y Waliszewski, 2005).

La bromatología estudia los alimentos, su composición química, su acción en el organismo, su valor alimenticio y calórico así como sus propiedades físicas, químicas, toxicológicas y también adulterantes, contaminantes, etc. El análisis de los alimentos es un punto clave en todas las ciencias que estudian los alimentos, puesto que actúa en varios segmentos del control de calidad como el procesamiento y almacenamiento de los alimentos procesados

Los análisis también conocidos como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Estos análisis nos indicarán el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra (Olvera et al., 1993).

### **III MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Localización del área de estudio.**

El trabajo fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, la cual se encuentra en las coordenadas, 25°22' latitud norte y 101° 00' latitud oeste. Con una altitud de 1742 msnm. Con una temperatura media anual de 20.7° y con una precipitación total media anual de 298.5 mm. El clima que prevalece es designado BWhw (x') (e); clima seco, semicálido, con invierno fresco y extremo con lluvias en verano y precipitación invernal superior de 10% de total anual, generalmente presenta una humedad relativa que alcanza el 80% en los meses lluviosos y el 30% en los periodos más secos. (INEGI, 2010)

Se realizaron los análisis bromatológico de nopal *Opuntia streptacantha* y de las inflorescencias de maguey (*Agave spp.*), después la degradación in vitro de las dietas de los caprinos.

Estos análisis se realizaron de acuerdo a la A.O.A.C (1980), se evaluó la variedad de nopal *Opuntia streptacantha*, la cual se recolectó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. Para determinar la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se utilizó la metodología descrita por Van Soest (1964).

#### **Preparación de la enzima celulasa**

Para la preparación de Agar Schaedler se pesaron 25.14 gramos de agar y se agregaron 600 ml de agua destilada a un matraz Erlenmeyer, se disolvió empleando un mechero hasta que tomó una tonalidad de turbio a cristalino.

Se utilizaron 60 tubos de ensaye los cuales se les agrego 20 ml de agar y se colocaron de manera de pico de flauta para la siembra de la cepa, se dejaron enfriar y se metieron al refrigerador en una canastilla.

Los tubos se metieron a esterilizar a una temperatura de 15 atmosferas ,121°C por 15 minutos.

### **Siembra de la cepa para obtener el cultivo**

La siembra se realizó en el laboratorio de microbiobiología. Se utilizaron muestras de cepa liofilizada pura, se tomo una parte con el asa bacteriológica y se sembró de una forma de zigzag como en la fig.3, se cerraron los tubos y se colocaron en bote para realizar la anaerobiosis esto con fin de eliminar todo el oxígeno, estos consistió poner todos los tubos en un bote de plástico y se colocó papel aluminio para cubrirlos, después se puso una vela encendida, se cerró muy bien y se esperó hasta que se apagara la vela, después se metió incubar a 37 °C por 24 horas para observar el crecimiento.

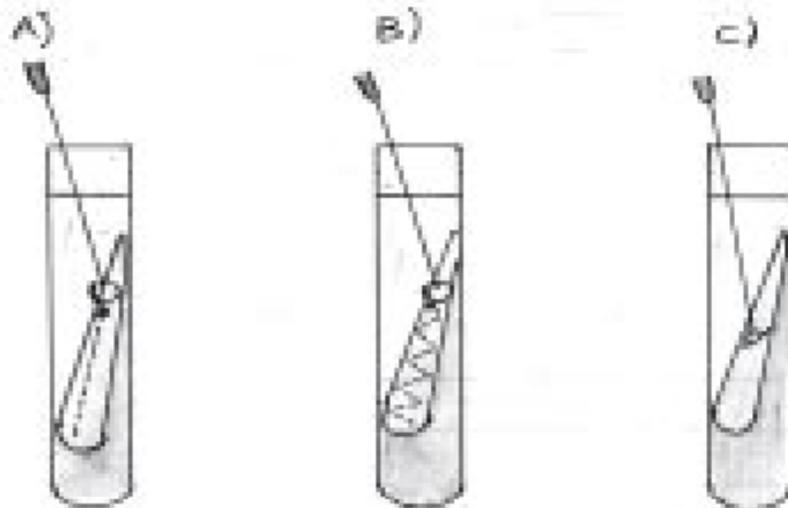


Fig. 3 Siembra de la cepa en zigzag. Gonzales, (2004)

### **Tinción Gram**

Se realizó la técnica de tinción de Gram para observar las características del microorganismo y corroborar que no se hayan contaminado.

Se tomó unos de los tubos de ensaye y con una asa bacteriológica una pequeña parte de cultivo sembrado y se colocó en un portaobjetos con una gota de agua destilada y se homogenizo la suspensión, después se fijó la muestra con el calor de un mechero, luego se agregó una gota de cristal violeta durante un minuto y se retiró con un chorro de agua destilada; se agregó a la superficie una gota de solución de yodo (Lugol) , se dejó pasar un minuto, se enjuago con agua destilada ,después se decoloro con alcohol – acetona por cinco segundos y se enjuago con un chorro de agua; ya por último se agregó una solución de safranina durante un minuto , se enjuago muy bien con agua destilada .Se le puso una gotita de aceite de inmersión para verlo a 100X y tener una mejor visibilidad

**Fermentación para el crecimiento del microorganismo que es quien produce el organismo celulasa**

**Preparar del medio líquido específico para producir Celulasa**

Cuadro 13. Composición química del medio específico para producir celulasa (Mata, 2011).

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
<b>NaCl</b>	.5
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	.3
<b>KCl</b>	.5
<b>Fuente de C (celulosa) papel periódico</b>	1
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	.2
<b>MgSO<sub>4</sub></b>	.01

Para la preparación de la solución mineral se pesaron todos los minerales mencionadas en el cuadro 13, el papel periódico se cortó en trozos de un cm de ancho por 5 de largo, evitando los que tenían colores para que no se presentara algún color indeseable, se metió al esterilizar con rayos ultravioleta para eliminar microorganismos

Primero se agrego la solución mineral, después el papel periódico y la suspensión microbiana, este se metió a encubar por 96 horas en la incubadora Daisy a 39 °C.

Ya obtenido el crecimiento microbiano esperado se realizo el barrido de la suspensión microbiana, mando un tubo y aplicándole un 1 ml de agua destilada, con una micropipeta de 100- 1000  $\mu$ , con pipetas de un ml.

Se llevo a centrifugar en tubos de ensaye a 5000 revoluciones durante 10 minutos, con el propósito de separar el extracto enzimático de la biomasa, el extracto libre de sedimentos se recolecto en botellas de plástico y se refrigero.

### **Degradación in vitro**

La degradación *in vitro* se determinó según Tilley y Terry (1963), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) la cual se ajustó en los siguientes tiempos de incubación (0, 3, 6, 12, 24,48, y 72 horas) ajustes de ANKOM DAISY<sup>II</sup> (1998).

Este método tiene como fundamento establecer las condiciones de incubación que semejan a las condiciones *in vivo*, el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a la anaerobiosis del proceso de una forma semejante (Giraldo *et al.*, 2007).

### Preparación de la solución buffer

Reactivos de la soluciones A y B que sirvieron como amortiguador que semeja la saliva del animal en rumen.

a) Solución buffer A:

<b>Solución</b>	<b>g/litro</b>
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	55
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.75
Na Cl	2.75
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	.55
Urea ( reactivo de marca)	2.75

b) Solución buffer B:

<b>Solución</b>	<b>g/litro</b>
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	18
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	1.02

Estas se mezclaron en una proporción de 1:5 combinando a si una parte de solución buffer B 266.7 ml y 5 partes de solución A 1330 ml teniendo aproximadamente 1600 ml de la mezcla final que a la cual se le añadió 400 ml de fluido del rumen; se utilizaron 4 cuatro frascos de vidrio

## **Proceso de incubación de las muestras**

El líquido ruminal fue facilitado en el rastro municipal, el cual se añadió a los frascos de las soluciones A y B previamente calentado a una temperatura de 39 °C para no tener choques de temperatura y como consecuencia muerte de microorganismos, luego se metieron las bolsas de los blancos, se purgo con gas CO<sub>2</sub> y revolvió cuidadosamente. Los frascos se introdujeron a la incubadora DAISY durante (72, 48, 24, 12, 6, 3 y 0 horas), bajo una rotación lenta y temperatura constante de 39 °C. Al término de cada tiempo se sacaron las bolsas se enjuagaron cuidadosamente y se metieron a la estufa a una temperatura de 50 °C durante 24 horas y se pesaron.

## **Preparación de muestras y tratamientos**

A continuación se mencionan los tratamientos que se utilizaron para analizar la degradación. A diferentes porcentajes de nopal, agave y enzima celulosa.

t1= 20%Nopal +5% urea + 10% melaza + 10 %alfalfa + 5% sorgo.

t2= 20% agave + 5% urea +10% melaza +10% alfalfa + 5% sorgo.

t3= 20% Nopal + 10% melaza + 12% alfalfa + 8 % sorgo +1% enzimas.

t4= 20% Nopal + 10% melaza + 12 % alfalfa +8% sorgo + 1% enzimas.

Los alimentos (nopal, agave, alfalfa, y sorgo) se secaron perfectamente y se molieron a un tamaño requerido para la digestibilidad.

Ya teniendo los ingredientes listos se incorporaron todos los alimentos cuidando que todo quedara de una manera homogénea se procedió al llenado de bolsas.

Las bolsas de nylon, se lavaron, se dejaron escurrir por 6 horas y se llevaron a secar la estufa a 40 °C durante 24 horas, estas se marcaron y pesaron con una báscula analítica; se peso 0.5 gramos de la muestra, se utilizaron 21 muestras y dos blancos (testigos) por cada tratamiento, las bolsas fueron selladas a calor

### **Diseño experimental**

El análisis bromatológico se realizo de acuerdo a la A.O.A.C (1980), para determinar la fibra detergente neutro y fibra detergente acido se utilizó la metodología descrita por Van Soest (1964).

Para este trabajo 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:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijk}$$

Donde

i =1, 2, 3, 4 .tratamientos

j = 1, 2, 3, 5, 6, 7. Tiempos

K= 1, 2, 3. Repeticiones

Para la determinación de la correlación que pudiera existir entre el tiempo y la digestibilidad, se realizo el análisis respectivo para encontrar una respuesta entre el tiempo y la cantidad de materia degradada, en cada tiempo de incubación.

Los análisis se realizaron con el PROC ANOVA y la prueba de tukey (p<0.05), del (SAS Institute, 1994).

## **IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis bromatológico de nopal**

Los resultados del análisis bromatológico del nopal *Opuntia streptacantha* se presentan en el cuadro 14, encontrando los siguientes valores para los diferentes componentes: (MS) 14.10%, (PC) 5.47%,(EE) 2.17%, (CZ) 26.54%,(FC) 13.10%,(FDA) 13.10 y (FDN) 10.415%. Estos resultados coinciden con otros estudios y se encontró que no había diferencia significativa ( $P>0.05$ ) para los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), ceniza (CZ), fibra cruda (FC), fibra ácido detergente (FAD) y fibra ácido detergente neutro (FDN).

Estudio realizado por Gopar (2001) encontró diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en los contenidos de MS, CZ, EE, PC, ELN y MO, la única que no difirió fue la FC pero Espinosa (2011) y Montes (2003) indican que no encontraron diferencia significativa ( $P>0.05$ ) en ningún componente del análisis bromatológico de la *Opuntia*. Estas diferencias pudieran ser debido a la época del año, edad de la penca, características de suelo donde crece la planta.

Cuadro 14. Análisis bromatológico de *Opuntia streptacantha*

COMPONENTE	(%)
Materia seca	<b>14.10</b>
Materia orgánica	<b>73.46</b>
Proteína	<b>5.47</b>
Extracto etéreo	<b>2.17</b>
Fibra cruda	<b>13.10</b>
Cenizas	<b>26.54</b>
ELN	<b>52.41</b>
FDA	<b>13.10</b>
FDN	<b>10.41</b>

ELN: extracto libre de nitrógeno.FDA: fibra detergente ácido. FDN: fibra detergente neutro.

Los resultados del análisis bromatológico de flores de maguey, se presentan el cuadro 15, encontrando los siguientes valores para proteína 5.44%, extracto etéreo 2.86%, cenizas 5.57%, fibra cruda 2.72% FDA 3.15% y FDN 6.61%, lo

cual coincide con reportes de Martínez (1994), realizo un trabajo con diferentes variedades de agave, con las que reporto los siguientes valores: materia seca 11.12%, proteína cruda 4.96 %, extracto etéreo 1.64%, fibra cruda 18.89% y cenizas 16.89%; Así mismo Gonzales (1994) reporta datos del análisis con diferencia significativa ( $P>0.05$ ).

Espinoza y Martínez, (2011) reportan los siguientes valores para el agave: materia seca, 8.6%, proteína cruda.5.8% extracto libre de nitrógeno, 58.8%, extracto etéreo 2.4, fibra cruda. 18.9, cenizas. 13.7. En cuanto la FDA 14.39 % y FDN17.03 % (Silos, 2011).

Gómez (2003) reporta resultados muy similares en cuanto a proteína con una diferencia de ( $P >0.05$ ) de *A. salmiana* y *A. americana* con un 5.26 -8.41, en lo que difiere en cantidad de fibra cruda 2.72%, que resulto ser menor esto debido a que se uso las flores de la planta no están tan lignificadas como las hojas de agave, así como su edad y estado fisiológico. Espino (1984) comenta que de las diferentes partes del vástago floral de maguey, la flor presenta las mejores características bromatológicas.

Cuadro 15. Análisis bromatológico de inflorescencias de maguey

COMPONENTE	(%)
Materia seca	<b>18.56</b>
Materia orgánica	<b>76.46</b>
Proteína	<b>5.44</b>
Extracto etéreo	<b>2.86</b>
Fibra cruda	<b>2.72</b>
Cenizas	<b>5.57</b>
ELN	<b>82.75</b>
FDA	<b>3.15</b>
FDN	<b>6.61</b>

ELN: extracto libre de nitrógeno.FDA: fibra detergente acido. FDN: fibra detergente neutro.

Los resultados de los valores de digestibilidad de la materia seca *in vitro* mediante el método DAYSI, se describen en el cuadro 16, en el cual se puede observar las diferencias significativas ( $P>0.05$ ) del t1 que muestra un comportamiento diferente a los demás, así como el t4 que presenta mayor digestibilidad, los tratamientos t2 y t3 presentan un comportamiento similar, a pesar de ser tratamientos diferentes.

Cuadro 16 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los tratamientos (de nopal e inflorescencias de agave).

Tratamiento	% de digestibilidad
1	67.56 <sup>b</sup>
2	63.15 <sup>ab</sup>
3	67.18 <sup>ab</sup>
4	74.28 <sup>a</sup>

a, b, : letras muestran diferencias significativas ( $P.0.05$ ).

El comportamiento de la degradación de las dietas de nopal y agave, se observa en la gráfica 4 e indica que el tratamiento t1, con el 20 % de nopal con urea, tuvo un buen valor de digestibilidad con 67.56% y cuando se aplica la enzima celulasa en el tratamiento t3 no presento diferencia significativa ( $P>0.05$ ), esto pudo haberse debido a la cantidad de fibra en la dieta ya que el t 1 tenía mayor cantidad fibra. También se observa que el tratamiento t2 de agave con urea presentó una alta digestibilidad con un valor de 63.15%, sin embargo cuando se aplica enzima celulasa en el tratamiento t4 se observa un incremento mayor en la digestibilidad *in vitro* con 74.28% lo cuál fue diferente ( $P< 0.05$ ), esto pudo haber ocurrido porque el agave tiene mayor cantidad de azucares y las dietas contenían diferentes cantidades de proteína como de fibra, además de que la enzimas degrada rápidamente azucares y fibra, en cambio la urea en las dietas solo aporta proteína.

Los valores de digestibilidad del agave fueron superiores a los resultados obtenidos por Martínez (1994), que 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.

Gonzales (1964), 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 observo que la ración de nopal + harinolina fue superior a las de nopal y nopal + sorgo, al tener el coeficiente de digestibilidad de 93.4%, 75.7% y 71.9% respectivamente ; concluyendo que al aumentar la proteína cruda de la ración se aumenta el coeficiente de digestibilidad de esta

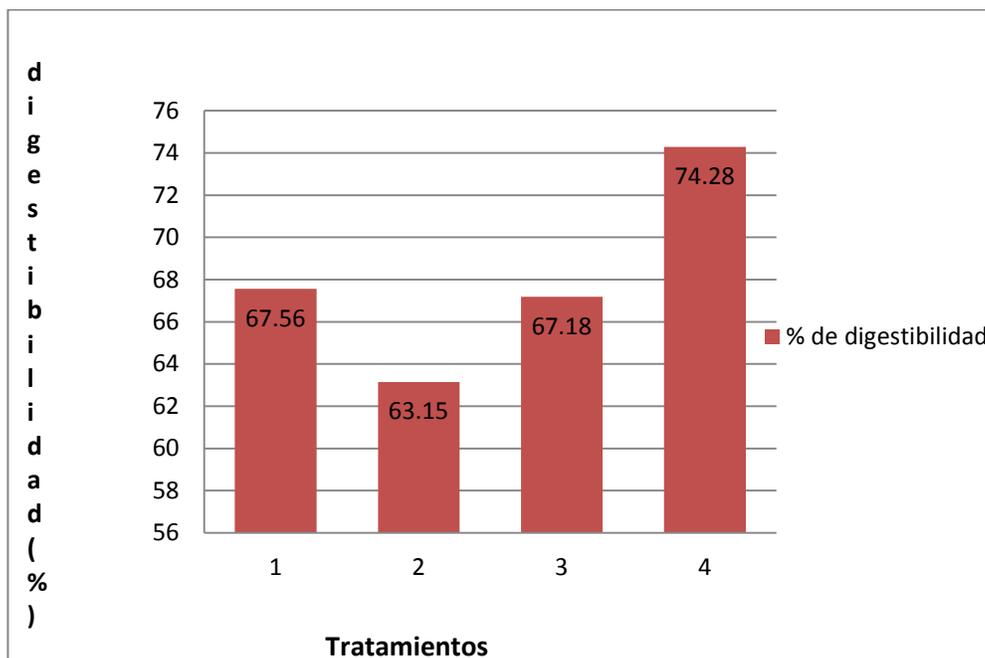


Fig.4 Coeficiente de digestibilidad in vitro de la materia seca de los tratamientos de nopal y agave. Tratamientos: 1 y 2 sin enzima, con urea. Tratamientos: 3 y 4 con enzima, no urea

El cuadro 17 muestra cuales fueron los mejores tiempos entre los tratamientos, estos son tiempo 24, 48 y 12 hrs. Estos son los tiempos donde la degradación

es muy elevada en un rango de 81.38 a 88.82 % de degradación de las dietas de nopal y agave.

Se presenta en los tiempos 0 y 3, una menor degradación con diferencia significativa ( $P>0.05$ ), los tiempos 12, 24, 48 horas presentan alto porcentaje de digestibilidad, debido a mayor tiempo de incubación y la aplicación de la enzima se hace más rápida la degradación, en el tiempo 72 baja la digestibilidad debido a la falta de sustrato.

Cuadro 17 Diferencia entre los tiempos de incubación (%)

Tiempo ( horas)	Media
24	88.816 <sup>a</sup>
48	88.537 <sup>a</sup>
12	81.375 <sup>a</sup>
72	66.258 <sup>b</sup>
6	63.848 <sup>b</sup>
0	44.415 <sup>c</sup>
3	43.083 <sup>c</sup>

a, b, c: letras muestran diferencias significativas ( $P.0.05$ ).

En la figura 5 se muestran los resultados que se obtuvieron de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a diferentes tiempos; en el tiempo (0 horas), los tratamientos 1, 2 y 4, se mantuvieron sin diferencia, pero en el t3 si hubo diferencia significativa ( $P<0.05$ ); en el tiempo de (3 horas) no hubo diferencias entre los tratamientos todos se mantuvieron constantes; en el tiempo (6 horas), no hubo diferencia alguna se mantuvieron; en el tiempo (12 horas) se presento una diferencia significativa ( $P<0.05$ ) el t4 mostrando alta digestibilidad; en el tiempo (24 horas) los tratamientos 1, 2 y 3 se mantuvieron constantes, en el t4 se mantuvo igual como en el tiempo (12 horas); en el tiempo (48 horas) se observo el descenso del t3 ,en el t1 y t2 se elevo significativamente y en el t4 bajo de donde se mantenía constante; en el tiempo (72 horas) bajaron

significativamente los tratamientos t2, t3 y t4 ,pero el que mostro mas descenso fue el t1.

La figura 5 muestra que la degradación comienza a elevarse en las primeras 6 horas hasta las 48 horas y pasando el tiempo baja, esto puede deberse por la falta de sustrato y por muerte de microorganismos por la misma causa.

Espinoza (2011) obtuvo resultados de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del nopal a diferentes intervalos de tiempo; tratamiento 1 (0 hrs), tratamiento 2 (3hr), tratamiento 3 (6 hrs), tratamiento 4 (12hr), tratamiento 5 (24hr), tratamiento 6 (48hr) y tratamiento 7 (72 hrs), en los que se encontró diferencia significativa ( $P<0.05$ ). Los valores encontrados muestran un constante incremento de la DIVMS hasta las 48 horas, seguido por una disminución las 72 horas. Estos resultados son muy semejantes a los encontrados en este estudio como se observa en la figura 5 pero con una mayor de digestibilidad de 88.81%.

Los cladodios de opuntia son altamente digestibles. Los valores *in vitro* obtenidos con ovinos variaron de 60 a 65 por ciento, 60 a 70 por ciento, 35 a 70 por ciento, para MS, MO y PC y FC, respectivamente. Un ejemplo de los datos de digestibilidad obtenidos se presenta en la figura 5 Estos coeficientes son similares a los obtenidos con forrajes comunes. La digestibilidad se calcula por diferencia, asumiendo que no hay interacción entre los componentes.

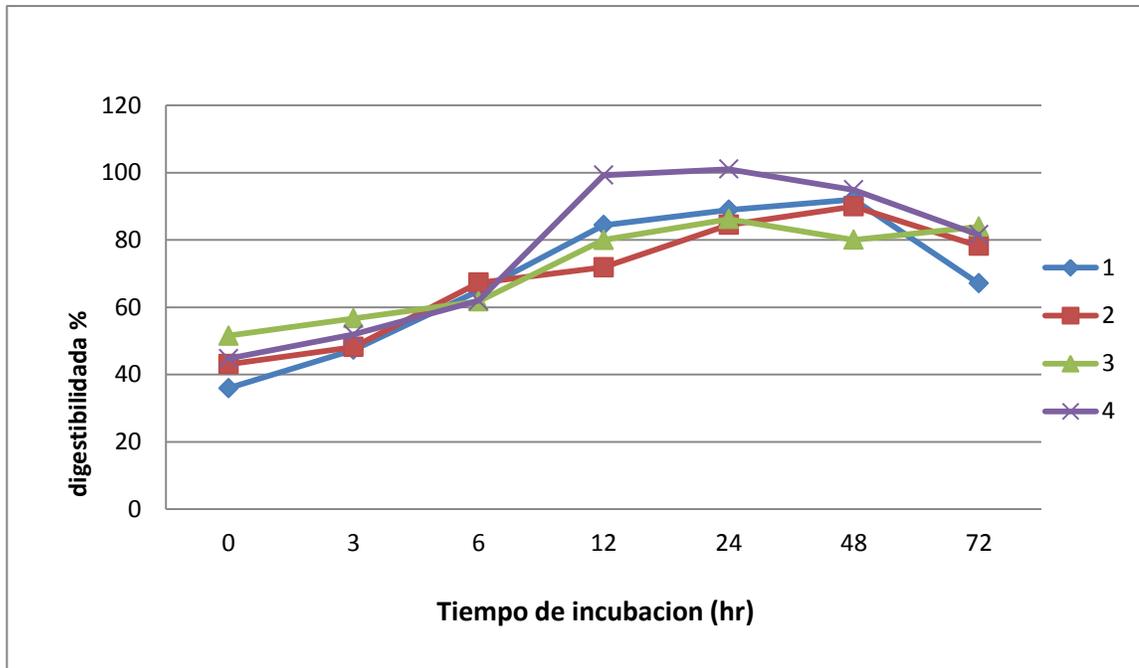


Fig. 5 Digestibilidad de materia seca de los tratamientos de nopal y agave (%)

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). Con esto se puede decir que el nopal se degrada rápidamente y más cuando se le aplica la enzima celulasa y es por eso que pasando el tiempo ya no muestra mayores valores de digestibilidad. De acuerdo a Shoop et al., (1977), 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 como se muestra en la Fig. 5.

La comparación de degradación de la materia seca (MS), valores reales y ajustados, se muestra en cuadro 18, la degradación va aumentando desde la hora 3 hasta las 48 hrs pero en los valores ajustados la máxima degradación es hasta la hora 48 hrs. y después desciende la degradación de ambas debido a la falta de sustrato para digerir. Entonces se afirma que entre más tiempo pasen las muestras de alimento mas 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 alimento (sustrato).

Cuadro 18 Regresión entre tiempo y digestibilidad de los tratamientos de los tratamientos de nopal y agave.

<b>Tiempo (hrs.)</b>	<b>X(real)</b>	<b>Y( ajustado)</b>
<b>0</b>	44.41	45.34
<b>3</b>	43.08	52.76
<b>6</b>	63.86	59.60
<b>12</b>	81.37	71.55
<b>24</b>	88.81	88.51
<b>48</b>	88.53	94.67
<b>72</b>	66.25	63.83

X valor ajustado, y valor real.

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

Enríquez *et al.*, (2008), de la Universidad Austral de Chile, realizaron una investigación sobre la degradación de maíz con diferentes tratamientos físicos (grano de maíz crudo molido, maíz rolado y maíz extruido) obteniendo los

siguientes resultados en los que aprecian que el maíz roado y el maíz extruido obtuvieron una mayor fracción soluble o rápidamente degradable (a) y una menor fracción lentamente degradable (b) en comparación al maíz crudo molido, siendo más claras las diferencias respecto del maíz extruido. En el caso del maíz extruido la tasa de degradación de la materia seca c) fue mayor en comparación a la obtenida con maíz crudo y roado. Para el caso de la degradabilidad potencial (a + b) esta fue relativamente similar para todos los tratamientos, para el caso de los dos granos de maíz procesados térmicamente, aumentó la fracción soluble y disminuyó la fracción insoluble. También se aprecia que la tasa de degradación de la fracción b en el caso del maíz extruido fue superior.

Gómez (2003), comenta que tuvo mayor digestibilidad 90.74- 90.33% en el tiempo 72 y 48 en *agave salmiana* y *agave americana*, y considera que un determinado tipo de alimento puede alcanzar el mismo valor de digestibilidad que otro.

En otro trabajo 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, comparado con los tratamientos de agave + enzimas que alcanzo valores de 88.81%

Se presenta la interacción de los tratamientos por los tiempos de incubación, en el cuadro 19, en el tiempo 0 se puede ver que no hay diferencia significativa estadísticamente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, al igual que en los demás tratamientos, pero se observa que al comparar la digestibilidad de t1 con el t2 que contienen los mismos ingredientes, en lo único que difieren es que uno contiene nopal y otro agave la mayor digestibilidad del t1 se presenta en el tiempo 48 con 94.6% y en el t2 se presenta en tiempo 24 con 82.6%, esto debido a que el nopal contiene fibra de mejor calidad a la del agave, si se compara con t3 que contiene la misma cantidad de nopal + enzimas la mayor digestibilidad se presenta el tiempo 24 con 90.3 % de digestibilidad , esto pudo ocurrir por las diferentes cantidades de ingredientes que cambiaron, como es la

cantidad de fibra , nitrógeno, energía y carbohidratos. Beauchemin et al., (2003) mencionan que el efecto principal de las enzimas fibrolíticas es un aumento en la energía digestible, mediante el incremento en la degradabilidad de las paredes celulares, en dietas cuya principal limitante es la energía, pero este efecto se reduce o no se observa, si el nivel de energía en la dieta es adecuado o suficiente para cubrir los requerimientos del animal.

En el t4 de agave + enzimas comparado con el t3 de nopal + enzimas se comportaron de manera similar su mayor digestibilidad fue las 24 horas el t3 con 90.3% y el t4 con 100.3%, se muestra que la enzimas es más efectiva en dietas de agave ya que se presenta mayor degradación. las enzimas fibrolíticas generalmente aumentan la degradación de la pared celular, al liberar compuestos fenólicos que producen una barrera a la degradación bacteriana, observándose este efecto más en la velocidad que en el potencial de degradación del forraje (Wang et al., 2004) citado por (Barcena-Gama,2002), con esto se confirma que el t2 de agave + urea presenta digestibilidad de 82.6% en tiempo 24 menor que cuando se aplica enzimas y por las diferentes cantidades de componentes en la dieta. En la literatura, se menciona que la actividad enzimática y la digestibilidad dependen del tipo y origen de la propia enzima, del sustrato en que actúe (Nsereko et al., 2000; Ramírez-Cancino et al., 2005), y del pH, reportándose que la máxima actividad de xilanasas y celulasas se observa a un pH de 6 a 6,5 (Morgavi et al., 2000), aunque pH bajos pueden no afectar su actividad (Rode et al., 1999), y la digestibilidad puede ser reflejo del sinergismo entre las enzimas exógenas y los tipos de microorganismos ruminales presentes (Barcena-gama,2002)

Cuadro. 19 Interacción de tratamientos por tiempos

TRATAMIENTO	Tiempo (h)						
	0	3	6	12	24	48	72
1	38.1 <sub>a</sub>	30.5 <sub>a</sub>	64.3 <sub>a</sub>	86.9 <sub>a</sub>	82.6 <sup>a</sup>	94.6 <sub>a</sub>	53.8 <sup>a</sup>
2	42.0 <sub>a</sub>	43.4 <sub>a</sub>	70.3 <sub>a</sub>	74.7 <sub>a</sub>	82.6 <sup>a</sup>	72.3 <sub>a</sub>	57.3 <sup>a</sup>
3	48.6 <sub>a</sub>	43.7 <sub>a</sub>	58.9 <sub>a</sub>	67.4 <sub>a</sub>	90.3 <sub>a</sub>	80.8 <sub>a</sub>	80.3 <sub>a</sub>
4	48.9 <sub>a</sub>	54.7 <sub>a</sub>	62.0 <sub>a</sub>	96.5 <sub>a</sub>	100.3 <sub>a</sub>	84.2 <sub>a</sub>	73.7 <sub>a</sub>

<sup>a</sup>: muestran diferencias significativas (P.0.05)

Los resultados anteriores de la digestibilidad de las dietas de nopal y agave indican que la digestibilidad aumenta cuando al tratamiento de agave se le aplica enzima celulasa esto posiblemente debido al contenido de azúcares en las flores, y el tratamiento de nopal no mejora notablemente. Los resultados de esta investigación tienden a ser elevados esto probablemente por múltiples factores que intervienen y que pueden alterar los datos, uno de ellos puede ser la procedencia del líquido ruminal, pues este factor se considera como la mayor fuente de variación de la digestibilidad in vitro (Martes y Barnes, 1980). Así mismo la actividad de los microorganismos ruminales sobre los alimentos que también puede ser otro factor importante, además de la cantidad de proteína, fibra y deficiencias en la dieta y que pueden provocar un medio óptimo para la digestibilidad.

## CONCLUSIONES

Conforme a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente.

De acuerdo al análisis bromatológico realizado para determinar el contenido nutricional del nopal así como del agave se pudo observar que hay una gran diferencia en cuanto a la calidad nutricional de cada uno, ya que el agave presenta una mayor cantidad de materia seca así como de proteína, muy similar en los registros encontrados anteriormente. Esto tal vez dependa de las condiciones en las que fueron recolectadas las muestras ya que se realizaron en los meses de junio-julio en época de estiaje.

En cuanto a la digestibilidad de los tratamientos de nopal + urea, agave + urea hay un grado de digestibilidad menor comparado con los tratamientos a los cuales se les aplicó la enzima celulasa que fueron, en los que más se observa un mayor porcentaje de digestibilidad, ya que las enzimas de celulasa actúan mejor en fibras difíciles de degradar.

## BIBLIOGRAFÍA

Adame, D.J.L.1965. Aspersión de urea en nopal (opuntia Spp.) y su influencia la producción de leche. Tesis profesional. I.T.E.S.M. Monterey, N.L. México.

Alexander.1980. Introducción a la microbiología del suelo.AGT Editor, S.A México. Pp. 162- 167

Anaya-Pérez .A.M y Bautista. Z.R. 2008. El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. Universidad Autónoma Chapingo. México.pp.168-179.

AOAC.1990 Official methods of analysis of the Association of official methods chemists 15<sup>th</sup> Ed. Assoc off. Anal chem. Arlington, USA

Autónoma De México. Ciudad Universitaria. México, D. F. pp 67-71, 147, 334

Bárcena- Gama.R, 2002. Respuesta productiva y fermentación ruminal en borregos alimentados con grano de sorgo tratado con amilasas. Agrociencia 36:31-39.colegio de posgraduados montecillo estado de México.

Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Tomo I. Universidad Nacional Cervantes, R. M. C. 2005.Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México, Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina 3388 – 3407 pág. – 20 a 26 de março de 2005 – Universidad de São Paulo.

Chacón, S.L., y Waliszewsky, K.N, 2005. Preparativos de la celulosa comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. Vol. 21. N°042. Universidad Juárez autónoma de tabasco. Pp. 113 – 122.

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.

Esteva B., M.1963. Estudio de la hidratación del nopal (*opuntia spp*) con el propósito de usarlo como forraje seco. Tesis profesional. ITESM. Monterey N.L. México.

Flores O. M. A, Reveles H. M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación, VIII Simposium-taller nacional y 1er internacional “producción y aprovechamiento del nopal” respyn revista salud pública y nutrición, edición especial no. 5-2010. Campo Experimental Zacatecas-INIFAP, Km 24.5 carretera Zacatecas-Fresnillo.

Flores, V. C. A., y J. R. Aguirre R. 1979. El nopal como forraje. Universidad Autónoma Chapingo, México. 91.

García-Herrera, J, S. de Jesús Méndez-Gallegos, Daniel Talavera-Magaña, Elizondo. J. L., J. J. López, G. y J. Dueñez. A. 1987. El género *opuntia* (Tournefort) Miller y su distribución en el estado de Coahuila. 2º Reunión Nacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jardín Botánico del Instituto de Biología. UNAM. México. pp. 35.

García M. A. J. 2007. Jardín Botánico. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Julio - Septiembre 2007.

García, A.A.2009. Evaluación bromatológica y digestibilidad in vitro de nopal (*Opuntia ficus- indica*) adicionado con subproductos de cervecera. Tesis. Lic.UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.

Gentry .H.S.1982. Agaves of continental North America. University of Arizona press. Tucson, Az, USA.

Giraldo, L .A.A, Gutiérrez L.y C. Rúa. 2007. Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Rev. Col pp. 20:269 – 279

Gómez –Pompa, A. 1960. El género agave. En: órgano de la sociedad mexicana de cactología .vol III .Nº 1. México.

Gómez-Pompa, M. 1963. El género Agave: Cactáceas y suculentas mexicanas, 8 (1):3-28, México.

González, M.J. 1964. Digestibilidad del nopal (*opuntia chrysacantha berg*). Tesis Lic. .I.T.E.S. M. Monterey, N.L. México.

Gonzatti, C.1946. Flora taxonómica mexicana. Tomo 2.Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F

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.

Granados, S. D.1999. Los agaves de México. Universidad Autónoma Chapingo. México Texcoco.México.pp.11-125

Gutiérrez, E O, Martínez. L.J.R, Elías I.A. 2010, Uso integral de nopal y maguey en ranchos ganaderos VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal”colegio de posgraduados, San Luis Potosí. México.

Gutiérrez, R., 1994. Incremento de proteína y digestibilidad in vitro de 2 genotipos de nopal (*opuntia ficus indica*) bajo condiciones de laboratorio. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.1994.pp.7-10.

Hamilton, J.R. 1992. Planting and cultivating native cactus for cattle feed and wildlife

Herrera, G.J.E. Méndez, G, J. Magaña, T.D. 2010. El género *agave* spp. En México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5-2010. Colegio de posgraduados. San Luis potosí .VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal"

Lastra, E.J. y P.P. Samuel. 1978. Digestibilidad in vivo e in vitro de ensilaje de nopal (*opuntia ficus indica*). Tesis LICENCIATURA. E.N.A. Chapingo.

López G.J.J. 2010. Uso y manejo del nopal forrajero en el noreste de México, VIII Simposium-Taller Nacional y II Internacional "Producción del Nopal y Maguey, celebrado en Escobedo, N. L., México; 12 y 13 de Noviembre del 2010.

López, G J. L. 2011. Uso y manejo del nopal forrajero en el noreste de México, Memorias del Simposium- Taller Nacional y la II Reunión internacional sobre la producción del nopal y Maguey. Escobedo, Nuevo León, México. Pp 121-134

Lozano, E. y H. M. Ferreiro. 1991. Efecto del nivel de alcohol y glicerol sobre el consumo voluntario y digestibilidad in vitro en ovinos alimentados con urea y melaza/ urea a voluntad. Producción animal en zonas áridas. 9(1):21-23

Manzano, M, J. 1989. Estudio etnobiológico del gusano del maguey (*Aegiale (acentrocne) hesperia* k, *cossus redtenbachi* HAMM y *scyphophorus acupunctastus* (GYLL) en el municipio de Apan, Hidalgo. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Centro Universitario Iberoamericano S. C. México, D.F.

Martínez J.L.1994. Valor nutricional de dos especies de maguey (agave atrovirens karw) y (agave salmiana). Tesis Licenciatura. UAAAN. 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.

Maymone, B. y F. Malossini. 1960. Influencia ejercida por unos factores sobre la perspectiva de lactancia en el ganado. Ann. Sper. agr.vol 14

Medina T., J. G.; M. E. Acuña M.; J. J. López G.; O. E. Cavazos C. 1990. Variables Críticas Ambientales para el Establecimiento de Nopal Forrajero en el Árido del Norte de México. Coahuila. México. Memorias de la 3a. Reunión Nacional y la 1a. Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 359 p.

Mellado, M, J. E. García, y P. Wolfgang. 2008. Flores Rough Agave como un recurso potencial de alimentación para cabras en crecimiento. Ecología y Manejo de Pastizales: Noviembre 2008, vol. 61.No.6, pp 640-646.

Morales Carrillo N. y G. Esparza Frausto. 2002. Plan Estratégico de Desarrollo para la Región agavera del Sureste de Zacatecas. Secretaría de Economía. Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Zacatecas. Secretaría de Desarrollo Económico de Zacatecas. Centro Regional Universitario Norte.

Nobel, D. S. y Meyer S. E. 1986. Field productivity of a CAM plant, Agave salmiana estimated using daily acidity changes under various environmental conditions. Physiology Plant. 65:397-404.

Overa, N.A. M. 1993. Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos .FAO. México. DF. pp16.

Pinos, Rodríguez, J.M., M. Zamudio and S.S. González. 2008. The effect of planta age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves.

Resquero, P.E.2001. Determinación de minerales en nopal forrajero. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.pp.43

Ríos, R. J, M. Quintana. 2004. Manual del participante, manejo general del cultivo del nopal, Fondo de tierras e instalación del joven emprendedor rural, SRA: Secretaria de la Reforma Agraria (2004). Colegio de Posgraduados, México-Puebla-San luís Potosí-Tabasco-Veracruz-Córdoba.

Rzedolcaba, M.J. 1973. Vegetación de México. Ed. Limusa, Mexico.

Tanhtajan, A.I. 1980.Outline of the classification of flowering plants (magnoliophyta). In: the botanical review. 46 (3):225-359.

Tilley, J.M. y R. A. Terry. 1963. A two- stage technique for in vitro digestion of forages Cros. J.Br. Glassl. Soc. 18:104-111.

Urrutia, C.S.P. 1986. Etnobotanica de los agaves en los valles centrales de Oaxaca. Tesis. Licenciatura UNAM- E.N.E.P. Iztacala . México.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition, Comstock, cornel university press. Ithaca, New York, 475 pp.

Vásquez, G.A.2003. Digestibilidad in vitro de dos variedades de maguey (agave salmiana y agave americana). Tesis Licenciatura UAAAN Saltillo, Coahuila, México

Velasquez.L.L.A.2011. Degradación de opuntia ficus indica var.ANV1 y opuntia phaeacantha mediante una celulasa aislada del rumen bovino. UAAAN Saltillo, Coahuila, México.

Villarreal, A. 1958. El nopal como forraje para el ganado. En: primer Congreso de Investigación Agrícola en México.. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México pp.210-220.

Zabala, C.J.2005. Materiales de estudio para la asignatura química II biblioteca virtual. Colegio de Bachilleres del Estado de Michoacán .pp. 7