

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

División Ciencia Animal



**CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE LA
INFLORESCENCIA DEL MAGUEY (*Agave Salmiana*) CON ADITIVOS**

POR:

IRENE CARRASCO NERI

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

División de Ciencia Animal

**CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE LA
INFLORESCENCIA DEL MAGUEY (*Agave Salmiana*) CON ADITIVOS**

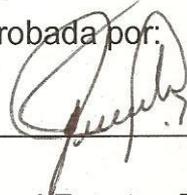
Presentada por:

IRENE CARRASCO NERI

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

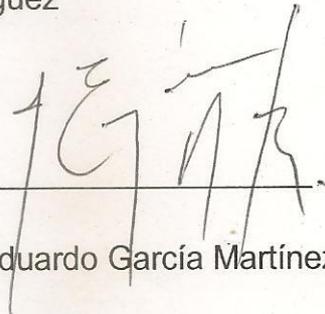


Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

PRESIDENTE

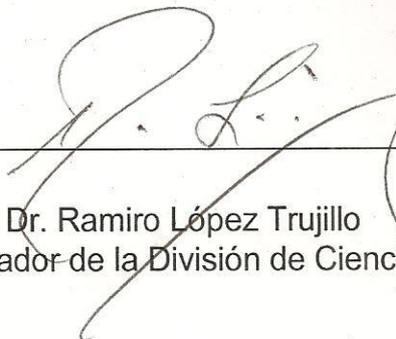


Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez



Dr. José Eduardo García Martínez

VOCAL



Dr. Ramiro López Trujillo
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2013

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

El suscrito, Irene Carrasco Neri, estudiante de la carrera de ingeniero agrónomo zootecnista, con matrícula 293680 y autor de la presente Tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el Plagio académico constituye un delito que esta penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente Tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según mi criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi Comité de Asesoría, está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente Tesis, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

ATENTAMENTE



Irene Carrasco Neri

Tesista de Licenciatura de la UAAAN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2013

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Gracias por concederme la dicha de vivir, guiarme por el buen camino, porque estabas ahí en los momentos más difíciles, por brindarme la fe, esperanza y amor para poder culminar una meta mas de mi vida.

A MIS TÍAS:

Teresa Carrasco Luna y Lourdes Carrasco Luna con respeto y profundo amor: gracias por haberme dado la oportunidad de crecer en una hermosa familia, por ser las madres que no las cambiaría por nada del mundo, gracias por estar siempre ahí cuando más las he necesitado, por sus consejos y esfuerzos, por corregir mi camino y lograr lo que ahora soy. Las palabras no bastaran para decirles cuanto las amo y lo que significan en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro gracias por abirme las puertas y formarme como profesionista, por darme la oportunidad de ser un miembro más de esta gran institución.

A MIS ASESORES:

Al Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez por brindarme su apoyo incondicional y dirigir con paciencia e inteligencia este gran proyecto, porque siempre me apoyo en toda circunstancia, y por su amistad muchas gracias.

Al Dr. J. Eduardo García Martínez por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión en todo momento para la realización de este trabajo, así como sus valiosas enseñanzas para mi formación profesional. Muchas gracias.

A la Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez gracias por toda su ayuda en parte de la realización de este trabajo.

A la Lic. Laura Maricela Lara López muchas gracias por tu paciencia y apoyo incondicional en todo momento en la realización de este trabajo gracias mas que nada por tus buenos consejos y amistad.

DEDICATORIA

A mis padres:

Pedro Carrasco Luna y Martha Neri Carabarin con todo el respeto, gratitud y cariño por haberme dado la vida, la confianza, por sus consejos siempre tan sabios que me permitieron llegar hasta donde hoy me encuentro, por apoyarme en los momentos que más necesite.

A mis tías:

Teresa Carrasco Luna, Lourdes Carrasco Luna gracias por estar en todo momento apoyándome y dándome ánimos cuando todo parecía terminarse y por su amor incondicional que siempre me brindaron las quiero mucho. Gracias por todo.

A la señora **Tomasa Briones Mtz.** gracias por recibirme en su casa y hacerme sentir como parte de su familia y por la sincera amistad y apoyo incondicional cuando lo necesite así como también a la señora **María Estela Soto Briones** gracias por su amistad y por sus consejos y apoyo durante estos años. Gracias.

A mis hermanos Carmen gracias por tu apoyo incondicional porque siempre estas ahí para apoyarme en lo que necesito y escucharme a **Pedro** gracias por tu apoyo a **Candelaria** gracias hermanita por alegrarme en los momentos más difíciles y quererme tanto te quiero mucho Cande.

A mis amigas:

Vianey Castillo Arzate, Nallely Huerta Vargas, Mónica Huerta Mentado Mercedes Santos Ángel, Alejandro Cumplido Ortiz, Julio Silva Vega. Gracias por los buenos y malos momentos que pasamos a lo largo de la carrera porque siempre estuvieron hay para apoyarme incondicionalmente cuando mas necesite de sus consejos y comprensión. A todos los compañeros de la generación CXIV por todos los momentos agradables que pasamos gracias.

Gabriela Reyes Morales gracias por estar siempre ahí apoyándome incondicionalmente, por tus consejos y comprensión cuando más lo necesite, por esos momentos tan buenos y malos que convivimos a lo largo de la carrera muchas gracias amiga.

María Luisa López Cid gracias por estar siempre ahí para escucharme y brindarme todo tu apoyo cuando más lo necesite. Gracias.

José Alberto García Robles gracias por tus consejos y apoyo incondicional en todo momento.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	V
I INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación.....	2
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Tipo de ecosistema donde se encuentra el <i>Agave</i>	6
Importancia y clasificación del genero <i>Agave</i>	7
Descripción botánica del maguey.....	8
Descripción de la planta.....	9
Agaves con alta producción de forraje.....	12
Importancia del agave como forraje.....	12
Calidad forrajera del agave.....	13
Digestibilidad del agave.....	18
Enzimas.....	20
Funciones que desempeñan las enzimas.....	20
Celulosa.....	21
Enzimas implicadas en la degradación de celulosas.....	23
Microorganismos productores de celulasas.....	23
Degradación de celulosa por microorganismos aerobios y anaerobios.....	25
Factores ambientales que determinan la degradación microbiológica de celulosa ...	26
Factores que determinan la actividad enzimática de las celulasas.....	26
Concepto de digestibilidad.....	28
Factores que afectan la digestibilidad.....	29
Composición de los alimentos.....	29
Composición de la ración.....	29
Preparación de los alimentos.....	29

Factores dependientes de los animales.....	30
Nivel de alimentación.....	30
Suplementación de los alimentos con enzimas.....	31
Digestibilidad aparente y real.....	31
Técnicas de digestibilidad	32
Técnica <i>in vivo</i>	32
Técnica <i>in situ</i>	32
Métodos <i>in vitro</i>	33
Método <i>in vitro</i> Daisy.....	34
Factores que afectan la digestibilidad in vitro con el método Daisy	35
Procedimiento descriptivo para el método Daisy	36
Preparación de la mezcla de solución Buffer (para cada frasco digestor).....	36
Preparación del inóculo e incubación.....	37
III MATERIALES Y METODOS.....	40
Localización	40
Caracterización bromatológica de la inflorescencia del maguey (<i>Agave salmiana</i>)..	40
Material orgánico.....	40
Preparación de medio sólido.....	41
Siembras en medio sólido	42
Tinción de Gram.....	43
Fermentación para la producción del extracto enzimático	43
Producción de celulasas.....	44
Preparación de las muestras.....	45
Obtención del líquido ruminal.....	45
Digestibilidad <i>in vitro</i> con el incubador Daisy	46
Diseño experimental	48
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	49
Análisis bromatológico de las inflorescencias del maguey.....	49
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) de los tratamientos.....	50
Calculo de las fracciones.....	56
V CONCLUSIONES	60
VI LITERATURA CITADA.....	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Descripción taxonómica del agave pulquero	8
2	Características de la planta del agave pulquero	9
3	Análisis de los minerales en maguey (<i>A. salmiana</i> Gentry) y necesidades alimenticias y forrajeras (mg/100g base seca)	14
4	Análisis bromatológico del maguey y digestibilidad y total de nutrientes digestibles (%).	15
5	Calidad forrajera del vástago floral.	15
6	Principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica del <i>Agave</i> ssp.	18
7	Bacterias con alta actividad específica de celulasas y su pH óptimo	25
8	Hongos con alta actividad específica de celulasas	25
9	Composición química del medio líquido específico para producir celulasa.	45
10	Dietas que se realizaron para analizar la degradación.	46
11	Análisis bromatológico de las inflorescencias del maguey.	50
12	Digestibilidad invitro de materia seca (DIVMS) de los tratamientos (inflorescencia del maguey).	
13	Diferencia entre tiempos de incubación	53
14	Cálculo de fracciones de degradación de los tratamientos de nopal e inflorescencia del maguey	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura química de la celulasa	23
2	Inflorescencia del maguey (<i>Agavesalmiana</i>) picada	41
3	Preparación del agar Schaedler	42
4	Bote de plástico para favorecer el crecimiento bacteriano	43
5	Incubadora DAISY	48
6	Coeficiente de digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de los tratamientos de <i>Agave</i>	52
7	Digestibilidad de la materia seca de los tratamientos de <i>Agave</i> (%)	54
8	Comparación de la digestibilidad de los valores ajustados para cada tratamiento	59

RESUMEN

En las zonas áridas y semiáridas las opciones para producir forraje son limitadas por la baja disponibilidad de humedad para los cultivos y la baja fertilidad del suelo. En estas condiciones el maguey, y en particular su inflorescencia cobra valor como forraje por su capacidad de establecerse, reproducirse y producir forraje satisfactoriamente en condiciones de baja precipitación y baja fertilidad del suelo, y así suministrar alimento a los animales para su supervivencia. Por tal motivo los objetivos del presente trabajo fueron determinar la calidad nutritiva y caracterizar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la inflorescencia del maguey *Agave Salmiana* a diferentes tiempos de incubación.

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Producción Animal en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, se evaluó nutricionalmente la inflorescencia del maguey en plena floración colectadas en los meses de junio y julio las cuales fueron obtenidas dentro de las instalaciones de la Universidad.

La caracterización bromatológica se realizó siguiendo los procedimientos descritos por la AOAC, para MS, PC, EE y FC. En el caso de FDN y FDA 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 2X7, teniendo dos 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 agave, el t1 agave + urea y el t2 agave + celulosa.

Los resultados obtenidos del análisis bromatológico de la inflorescencia del maguey *Agave salmiana*, para MS 18.50%, PC 5.87%, EE 2.86%, C 5.57%, FC 2.72%, FDA 3.15%, FDN 6.61%.

Para la digestibilidad *in vitro* del tratamiento 2 los valores encontrados muestran un constante incremento de la DIVMS hasta las 48 hrs, seguido por una disminución a las 72 hrs, esto puede deberse probablemente a la falta de sustrato para seguir con la digestibilidad, a diferencia del tratamiento 1 que disminuye su digestibilidad a las 48 hrs y lo aumenta a las 72 hrs siendo estos 84.00% y 89.67% respectivamente para cada tiempo.

En la digestibilidad *in vitro* se observó que para el T2, tiempos 24 y 48 hrs se tuvo una digestibilidad de 88.67% y 91.67% respectivamente siendo estos resultados los de mayor nivel en comparación con el tratamiento 1, esto se deba probablemente al uso de la enzima. En cuanto al tiempo de incubación, el mayor resultado de digestibilidad se alcanzó a las 48 hrs, con el tratamiento 2.

Con esto se puede recomendar que la enzima se utilice en dietas con agave ya que la fibra es más degradada. Para los tratamientos t1 de agave+ urea, no se muestra una alta digestibilidad, sin embargo aportan mayor cantidad de proteína, debido a la adición de urea.

Palabras clave: Análisis bromatológico, Digestibilidad *in vitro*, inflorescencia del agave *salmiana*, celulasa.

ABSTRACT

In arid and semi-arid areas forage options are limited by the low availability of moisture for crops and low soil fertility. Under these conditions the agave inflorescence is of great value as fodder for their ability to establish, reproduce and produce forage successfully under conditions of low rainfall and low soil fertility, and to provide food for animals for survival. Therefore the objectives of this study were to determine the nutritional quality of the agave salmiana inflorescence and its *in vitro* digestibility of dry matter (DIMS) at different incubation times.

Chemical analysis was performed in the laboratory of Animal Production at the Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro". It was assessed in full bloom agave inflorescence collected in the months of June and July at the university premises.

Bromatological characterization was carried out following the procedures described by the AOAC for dry matter, protein, fat and crude fiber. In the case of NDF and ADF the methodology described by Van Soest was used.

In vitro digestibility of dry matter, was analyzed with a completely randomized model with a 2x7 factorial arrangement, with two treatments at different incubation times 0, 3, 6, 12, 48, 24 and 72 hours with three replicates each where treatments consisted of equal amounts of agave, t1 agave+urea and t2 agave+cellulase.

The results of the nutritional analysis of the agave inflorescence showed 18.50% dry matter, 5.87% protein, 2.86% crude fat, 5.57% ash, 2.72% crude fiber, FDA 3.15%, 6.61% NDF.

For the *in vitro* digestibility, treatment 2 showed a steady increase of IVDMD to 48 hr, followed by a decline at 72 hr, this may be likely due to lack of substrate to continue the digestibility, unlike Treatment 1 which reduced its digestibility at 48 hr and 72 hr increases these being 84.00% and 89.67% respectively for each time.

In vitro digestibility observed that for T2 at times 24 and 48 hr had a digestibility of 88.67% and 91.67%, respectively, these results being higher as compared to Treatment 1, this is probably due to the use of the enzyme . The higher result of digestibility was reached at 48 hr, with treatment 2.

With these results, it can be recommended that the enzyme be used in diets with agave as the fiber is degraded. Treatment 1, agave+urea, did not show a high digestibility, however it provided more protein, because of the addition of urea.

I INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que toda explotación animal descansa sobre la base de los recursos forrajeros que tienen y considerando que la alimentación representa el factor económico más importante. Por tal razón la búsqueda para obtener sustitutos alimenticios que cubran los requisitos nutricionales de la especie que se trate, se convierte en una practica elemental en cualquier explotación pecuaria organizada.

Las grandes extensiones áridas y semiáridas se encuentran al norte del país en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas y representan al menos el 66.2 % (130, 041,625 ha), por lo cual muestran una visión desalentadora. Sequias prolongadas, lluvias muy escasas, perdida de suelo, y principalmente pastizales con baja capacidad sustentadora debido al sobrepastoreo y mal manejo de los recursos (Medina *et al.*, 2004, INEGI, 2005).

La región árida y semiárida esta dominada por pastizales que son utilizados para la producción ganadera (bovino, caprino y ovino) mediante sistemas extensivos que se basan en el forraje que produce la vegetación nativa para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales. Aunado a esto, en la mayoría de los casos, los pastizales se utilizan con un número de animales superior a la capacidad de carga del pastizal; como resultado, se tiene que todos los años se presenten épocas en que la disponibilidad de forraje en el pastizal no es suficiente para que los animales cubran los requerimientos nutricionales ni la cantidad de forraje que requieren.

Cuando se presentan las épocas de escasez de forraje en el pastizal, los productores utilizan forrajes cultivados para mantener su productividad.

En las zonas áridas y semiáridas las opciones para producir forraje son limitadas por la baja disponibilidad de humedad para los cultivos y la baja fertilidad del suelo.

En estas condiciones el maguey y en particular su inflorescencia cobra valor como forraje por su capacidad de establecerse, reproducirse y producir forraje satisfactoriamente en condiciones de baja precipitación y baja fertilidad del suelo, y así suministrar alimento a los animales para su supervivencia (de la Rosa y Santana, 1998; Flores y Aranda, 1997).

Justificación

La suplementación con inflorescencias del maguey puede considerarse como una alternativa para los productores pecuarios en épocas críticas del año en que el sistema de pastoreo se ve afectado por la sequía cubriendo algunas de las deficiencias nutricionales del ganado.

Objetivos

- 1.-Determinar la calidad nutritiva de la inflorescencia del maguey *Agave Salmiana*.
- 2.-Caracterizar la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) de la inflorescencia del maguey *Agave Salmiana* con enzima celulasa a diferentes tiempos de incubación.

Hipótesis

H1: El uso de la enzima celulasa VML2 liofilizada mejora la digestibilidad del maguey.

H0: El uso de la enzima celulasa VML2 liofilizada no mejora la digestibilidad del maguey.

II REVISIÓN DE LITERATURA

En México, los agaves han tenido y tienen una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado durante siglos como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos. Los magueyes fueron una de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica para alimentarse, de lo cual se hallan restos en cuevas en el Valle de Oaxaca, el de Tehuacán y en Coahuila en este último sitio, además de restos de fibras mascadas, se recuperaron cordeles de ixtle y sandalias elaboradas con fibras de maguey. El empleo como alimento y fibras pervive en México desde hace por lo menos siete mil años (García, 2002)

El maguey “pulquero” (*Agaveatrovirens, salmiana o americana*), es la planta más característica del altiplano de México y su producto principal, el pulque, forman parte de la tradición cultural del pueblo nacional. Junto al principal vegetal cultivado y modificado por los pueblos americanos, el maíz (*Zea mays*), formaron la dicotomía agrícola básica y la fuente de satisfacción de las necesidades humanas de la región. Desde la época mesoamericana lo cultivaban en la mayoría de los pueblos del centro del México actual, y su aprovechamiento era total. Los productos usados eran el aguamiel como líquido; como alimento sus fibras tiernas; y de las pencas se obtenían tejidos, material de construcción y agujas de sus espinas (Carrasco, 1999).

La mayor parte de las tierras semiáridas y templadas del altiplano central fueron aptas para el cultivo del maguey pulquero; pero dos factores influyeron en la localización de las zonas productoras de pulque: la cercanía de abasto a los grandes centros de consumo y la antigua zona de plantación magueyera.

Esta zona se extendía por el noreste del Estado de México hasta el sureste de Hidalgo y el noroeste de Tlaxcala, formándose una especie de triángulo geográfico, donde tuvieron lugar las haciendas pulqueras más importantes, originadas en el periodo colonial. Estaban situadas en los famosos Llanos de Apan (Rendón, 1990).

En el aspecto agrícola, la característica del cultivo está dada por su necesidad de ser extensivo y fértil en el suelo arcilloso, propio de los suelos pobres en materia orgánica y sin cubierta vegetal permanente. La explotación magueyera impone una continua rotación de los plantíos para asegurar una producción de aguamiel determinada a lo largo de los años, lo cual implica la necesidad de las grandes extensiones de tierras y un número grande de trabajadores. La producción media de una planta se calcula en la actualidad entre 1 500 y 1 800 litros en el tiempo de su explotación.

En cuanto a las representaciones artísticas asociadas con el cultivo del maguey, que datan de la antigüedad mesoamericana, se pueden mencionar las vasijas rituales de cerámica y las representaciones de magueyes en murales y relieves de piedra desde el periodo Posclásico.

En la zona arqueológica de Tecoaque-Zultepec, al noroeste del estado de Tlaxcala, cerca de la ciudad de Calpulalpan, se han encontrado vasijas en forma de maguey que de forma presumible eran utilizadas para ceremonias de libación del líquido embriagante ofreciéndola a alguna divinidad del pulque. Estas representaciones estéticas tenían así un fin ritual (Martínez y Pacheco, 1998).

México se considera centro de origen del género *Agave* (Nobel, 1998; García- Mendoza, 1995), del que según Granados (1993) existen 272 especies, mientras que otros autores reportan de 136 a 150 especies (Nobel, 1998; Rzedowski y Calderón, 1990). Las especies de *Agave* se han utilizado para satisfacer y complementar una serie de necesidades básicas como alimento, fibras, forraje, medicamento, construcción y elaboración de bebidas alcohólicas (Ramírez *et al.*, 2000).

El típico maguey pulquero fue descrito por Karwinski (citado por Rzedowski y Calderón, 1990), pero existe una gran diversidad de agaves que producen aguamiel y pulque de calidad diferente.

Berger (1915) propone que México es el centro de origen del género en cuestión y que su distribución se localiza principalmente en las zonas áridas y semiáridas de México y Norteamérica: por el noreste hasta el estado de Utah y al noreste el de Maryland (subgénero *Manfreda*); al sur el límite conocido es Colombia. García (1895), citado por Granados (1993) opina que la distribución del subgénero *Euagavea* se extiende a la cadena isleña del Caribe y norte de Sudamérica.

Standly (1920), realizó expediciones botánicas durante las cuales colectó buena calidad de agaves; en su obra *Arboles y arbustos de México* y hace una revisión de la bibliografía existente hasta la fecha, y con base en ella describe la distribución del género en México y levemente en países cercanos.

Según este autor, las especies del género se encuentran en el continente americano e islas que le rodean, abarcando una zona que va desde los 34° C latitud norte hasta los 60° C latitud sur. Propone como centro de distribución de ese género a la Altiplanicie Mexicana, basado en el hecho de que en las llanuras centrales y la subregión caliente del sur de la meseta central se encuentra una gran riqueza de especies, la cual disminuye hacia el sur del Istmo de Tehuantepec, en tanto que en el norte de México se encuentra notablemente.

Las especies de las cuales se obtiene el pulque son *A. salmiana*. *A. mapisaga* y *A. atrovirens*, que se distribuyen principalmente en el valle de México, en los estados; México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla. En el valle de México se cultivan principalmente *A. americana* L. *A. atrovirens* Karw. *Amapisaga* Trel. *Asalmiana* var. *angustifolia* Berger y sobre todo *A. salmiana* Otto ex Salm. Var *Salmiana* (Rzedowski y Calderón 1990).

Tipo de ecosistema donde se encuentra el *Agave*

En lugares donde las condiciones climáticas y edáficas son extremas, como son las zonas áridas del país, el establecimiento de la agricultura es muy difícil por la escasez de agua. Así, los recursos silvestres adaptados son de importancia mayúscula para los habitantes de estas regiones. (Granados, 1993).

Uno de estos recursos vegetales es el género *Agave*, el cual posee una serie de características biológicas que le permiten crecer exitosamente bajo condiciones de carencia de agua en las que la mayoría de las plantas agrícolas no pueden establecerse. Por tal razón a esta planta se le ha denominado “noble”, debido a la utilidad antropocéntrica que representa (aprovechable de una manera casi íntegra, desde épocas precolombinas) es, en muchos casos, la única fuente de subsistencia para los pobladores de estas zonas (Almaraz, 1984).

Son plantas que se adaptan en donde las condiciones son de aridez, con raíces someras y ramificadas, cutícula gruesa, succulencia, estomas hundidos, metabolismo fotosintético y metabolismo ácido crasuláceo (MAC) son algunos de los atributos que le permiten establecerse en zonas carentes de agua, (Granados, 1993), con una precipitación media anual menor a 700 mm y en amplias extensiones esta comprendida entre 100 y 400 mm. La lluvia, además de ser escasa, suele ser irregular, con fuertes diferencias de un año a otro. Calculando en promedio, el número de meses secos generalmente varía de 7 a 12 por año (Rzedowski, 1978).

El régimen térmico puede ser de templado a semicaldo extremo y la temperatura promedio anual puede ser de 16 a 22 °C. Las temperaturas mínimas en el invierno de hasta -12 °C puede dañar las puntas de sus hojas, de las que puede recuperarse; en el verano o primavera tolera temperaturas promedio de 26 °C o extremas diarias de hasta 35 °C (Aguirre *et al.*, 2001).

Puede crecer en los suelos de valle rocosos, laderas de cerro, bajadas o abanicos aluviales, excepto en lugares propensos a inundación o con problemas de sales o sodio en el suelo.

Principalmente el tipo de suelo xerosol, muestra el mejor sustento a las poblaciones de maguey, estos suelos presenta un espesor de mas de 30 cm., contenidos de moderados a altos de arcilla y general sin impedimentos para el desarrollo de las raíces de las plantas. Los suelos de las laderas son en general de escaso desarrollo (menos de 10 cm. de espesor). En la clasificación de la FAO modificada por el INEGI, corresponden a los litosoles (ahora leptosoles), que de acuerdo con el conocimiento tradicional, son los que producen la materia prima de mejor calidad (por concentración de azúcares) para la industria del mezcal. Es decir biológicamente el óptimo estaría en los suelos de textura mas arcillosa y mayor espesor de los pisos de valle y planicies; pero mas deseable el medio en el que privan condiciones mas restrictivas laderas de lomeríos y cerros, con pendientes de entre 5 y 8%, aunque posiblemente ahí la productividad sea menor (Aguirre *et al.*, 2001).

Importancia y clasificación del genero *Agave*

El género *Agave* ha tenido y sigue teniendo importancia en la economía de diversos grupos de población en nuestro país. Se puede decir que no existe ningún otro tipo de plantas silvestres en México que haya tenido tantas modalidades de utilización como los magueyes (Gómez- Pompa, 1963).

La palabra agave proviene del griego y significa “admirable”. El género *Agave* es originario de América, especialmente de México de donde fue llevado a otros países (Gentry, 1982). Taxonómicamente este género se ubica dentro de las Agaváceas y es el más importante de la familia.

El género *Agave* está constituido por 155 especies de las cuales existen 116 en México cifra que corresponde al 75% del total (García, 1994) y de las aproximadamente 273 especies de los ocho géneros de la familia Agavaceae, 205 (75%) crecen en México, siendo 151 (55%) endémicas (García y Galván, 1994).

Según (Granados, 1993), taxonómicamente el género se ubica en la familia Agavaceae. En el Continente reportan aproximadamente 310 especies, de las cuales existen 272, por ello se considera a este país de origen del género.

Descripción Botánica del maguey

Cuadro.1 Descripción taxonómica del agave pulquero

Reino	Vegetal
Sub-reino	Fanerógamas
Tipo	Angiospermas
Clase	Monocotiledóneae
Orden	Liliales
Familia	Agaváceae
Sub-familia	Agavoideae
Género	<i>Agave</i>
Especie	<i>salmiana</i>

Fuente: Cronquist 1981

Descripción de la planta

Cuadro 2. Características de la planta de agave pulquero.

Parte de la planta:	Características
Raíz	Rizomas subterráneos
Tallo	Tallos cortos a grandes
Hojas	Angostas, gruesas y carnosas, que nacen del tallo y rematan en una espina fuerte y oscura
Flor	Inflorescencias paniculadas con flores hermafroditas
Frutos	Cápsulas o bayas que contiene numerosas semillas comprimidas

Fuente: Torres 1995

La planta de maguey consta de raíz; con tallo muy corto y grueso, hojas mejor conocidas como pencas, en número de 30 a 50 de color verde obscuro, cóncavas, de longitud de 1 a 1.5 mts. De largo, con espinas, las hojas están muy juntas alrededor del tallo formando una roseta; las hojas a la mitad de su longitud son más delgadas y más anchas que en su base, están revestidas de una cutícula apergamada que sirve para evitar la evaporación (Ortegón, 1959. citado por Torres, 1995).

El maguey florece solo una vez, a lo largo de su vida, ya que poco después muere. Cuando va a florecer sale del “cogollo” un tallo floral llamado “quiote” que se desarrolla rápidamente tomando en cuenta el lento crecimiento con respecto a la planta, el quiote alcanza una longitud de 3 a 5 mts de altura y en su extremo superior se desarrolla la inflorescencia en forma de racimo de color amarillento en las que las sigue el fruto capsular. La época de floración depende de la variedad, suelo, clima y cultivo.

El mismo autor argumenta que los magueyes cultivados florecen a los 8 o 10 años de vida y los que no se cultivan o crecen en forma natural mucho más tiempo. El agave se reproduce por semilla y también vegetativamente por renuevos laterales y por apomixis.

El maguey manso es el mayor productor de aguamiel; tiene pencas largas y anchas y su mesontente (piña) es voluminoso y llega a dar hasta cuatro litros de aguamiel por "alzada"; hay lugares que debido a la excepcional calidad de la planta y las tierras se llegan a dar tres pasadas. La cantidad de pencas de maguey manso es de aproximadamente 150 durante su vida y como éstas son el almacén del líquido, la cantidad producida está en relación al número de hojas presentes. (González, 1966. citado por Torres, 1995).

Menciona Torres (1995) que el maguey manso o pulquero llega a medir hasta dos metros de altura, su tallo es corto; la base del tallo o corazón del maguey se le conoce como "meyolote". Alrededor del tallo salen las hojas o pencas que alcanzan a medir de 2 a 2.5 mts., de largo. El tallo floral o quiote aparece a los 10 a 12 años y mide de 5 a 6 mts., de alto.

Agave Salmiana

Agave Salmiana Otto ha sido cultivado por más de 5000 años, y en muchas de sus características probablemente han sido moldeadas por esta larga asociación con el hombre (Martínez del Río y Eguiarte, 1987).

Es una de las especies que más se utilizan en la producción de pulque en México. Pertenece al subgénero *Agave* y se encuentra dentro del grupo *Salmianae*, que tiene un número total de cinco especies de las cuales tres son endémicas de nuestro país (García-Mendoza, 1995) en condiciones de cultivo alcanza la edad reproductiva alrededor de los ocho años (Eguiarte *et al.*, 2000).

Es una especie robusta, monocotiledonea, mediana a grande, presenta un tallo pequeño a grueso, con raíz fibrosa revestida de escamas, en general forma rosetas macizas de 1.5-2 metros de alto y con el doble de ancho, son carnosas y macizas, verdes a grisáceas, profundamente convexas en la base, cóncavas hacia arriba, con espina terminal pungente de aproximadamente 5 a 8.5 cm de largo y con abundantes espinas marginales; son largas, acanaladas, simples, enteras, mas o menos lanceoladas, con el ápice agudo de color verde oscuro: la longitud de las hojas es según las variedades: la prefoliación es central, la yema central alcanza casi toda la longitud de la planta: las yemas laterales nacen cerca del suelo: la inflorescencia es paniculada, robusta, de seis u ocho metros de altura, con 15 a 24 pedúnculos laterales; el escapo floral con brácteas carnosas y suculentas. Las flores son hermafroditas, tienen ovario ínfero, perianto de seis piezas, androceo de seis estambres largos, gineceo constituido por un ovario oblongo y cilíndrico, trilobular, multiovalado, estilo central y con frutos superpuestos. El futuro es una capsula oblonga, con seis casillas longitudinales y tres lóbulos. Las semillas son negras, triangulares, con el embrión recto y el endospermo carnosos (Granados, 1993; Rangel y Galván, 1992; Martínez del Rio y Eguiarte, 1987).

De acuerdo con Martínez y Eguiarte (1987), el periodo de floración de *A. salmiana* ocurre desde final de la época seca hasta el comienzo de la época lluviosa, a partir del más de mayo hasta julio.

La biología de la polinización de *A. salmiana* es poco conocida; se sabe que las visitas de aves son probablemente un fenómeno de origen reciente y que la mayoría de los agaves polinizados por murciélagos tienen una reducida producción diurna de néctar (Schaffer y Schaffer, 1997).

Agaves con alta producción de forraje

Nobel (1990) reportó la influencia del medio ambiente en la captación de dióxido de carbono por Agaves, plantas CAM con altas producciones, siendo 25 ton de materia seca/ha/año factible por *A. mapisaga*, *A. salmiana* y *A. tequilana* excediendo la productividad de las mejores cosechas agrícolas anuales, las plantas crasuláceas Ácido Metabólicas (CAM), Agaves pueden tener altas productividades en regiones de moderado aguacero y gran índice de productividad medioambiental (EPI), tal productividad puede ser predicha, la cual augura un aumento en los pozos, manantiales, ojos de agua, etc. por la cultivación de Agaves.

Importancia del agave como forraje

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

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

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

Calidad forrajera del agave

La calidad va depender de la parte que sea utilizada, aunque el uso más común son las hojas. En hojas de *Agave salmiana* se determino 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 optima 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.

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

En estudios recientes mencionan que la combinación de agave-alfalfa mejora la calidad nutricional, la digestibilidad ruminal permitiendo el ensilado de agave; la inclusión de alfalfa mejora las características nutricionales del ensilado de agave para rumiantes (Zamudio *et al.*, 2009).

Silos (2010), menciona que las hojas de maguey contienen el 89 % de humedad 10% de materia seca, 5% de proteína cruda, 17.03 % de fibra detergente neutro, 14.39 % fibra detergente ácido (FDA), 2.61% lignina, 0.31 de nitrógeno ligado a FDA y menciona que lo más sobresaliente es el 3.03 % de proteína disponible. Además considera que el maguey representa un forraje de mejor calidad en comparación al heno de maíz, avena y el nopal.

Etgen *et al.*, (1990), en relación a minerales encontraron mayoritariamente Ca, P, Zn y Fe y pueden cubrir la cantidad requerida para una vaca de lactancia. Además menciona que se ha demostrado que al utilizar hojas de maguey como complemento en la ración, induce un incremento de la producción de leche (por el alto contenido de agua), así como también mejora la digestión (contenido de fibra), además incrementa el número de calorías (por el contenido de carbohidratos) y se incrementa el peso del animal.

Cuadro 3 Análisis de minerales en maguey (*A. salmiana* Gentry) y necesidades alimenticias y forrajeras (mg/100 g base seca).

Nutrimento	Aguamiel	Hojas	Leche	Requerimiento en dietas bovinos (mg día ⁻¹)
N	110	780		
Ca	20	5870	113	50-125
P	20	220	90	40-80
Mg	10	570	14	4000
Zn	1.41	16.9		40
Fe	2.15	33.2	0.032	2000
Cu	0.74	4.28		6-8
Bo	1.99	31.0		
Se		5.95		0.10

Fuente: Etgen, *et al.*, 1990

En estudios realizados se reportaron 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 materia seca 12.22%, proteína cruda 5.43%, carbohidratos 57.77%, E. etéreo 1.58%. Fibra cruda 16.39% y cenizas 18.83%, estos resultados muy parecidos en porcentajes de contenido nutricional. Martínez (1994).

Cuadro 4. Análisis bromatológico del maguey, porciento de digestibilidad y total de nutrientes digestibles

Nutriente	% total	% digestibilidad	N.D.T
Proteína	0.77	98.63	0.750
Extracto etéreo	1.87	98.26	4.11
E.L.N	1.48	98.88	1.46
Fibra cruda	16.10	97.75	15.73

Fuente: Ruiz, 1975).

Se puede apreciar que el porciento de nutrientes digestibles totales depende principalmente de la cantidad de fibra presente en el forraje, siendo, esta la que aumenta considerablemente dicho porcentaje, todo lo contrario sucede con la proteína ya que su contenido es demasiado bajo; 0.77%.

Aun cuando las digestibilidades para todos los nutrientes son altas, el forraje en si es pobre, considerando que la humedad es alta, el contenido de materia seca que aporta es escasamente un 15 %.

Cuadro 5. Calidad forrajera del vástago floral.

Nutriente	Contenido (vástago floral) (%)
Materia seca	18.0
Proteína cruda	11.0
F.A.D	27.0
digestibilidad	27.0

Espino (1984)

La flor del maguey presenta la mejor caracterización nutricional tanto en estado natural como en ensilado, similar al de los cultivos forrajeros tradicionales.

Mellado *et al.*, (2007), evaluaron 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. 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. Concluyeron que la utilización de flores de *A.scabra* son un recurso en la alimentación para cabras, ya que se demostró gran viabilidad en el uso de estas flores en la dieta para caprinos, debido a que al sustituir la alfalfa hasta en un 75%, no afectó el consumo de materia seca ni el promedio de la ganancia diaria ni las características de fermentación ruminal. El consumo del alimento no disminuyó con el aumento de la inclusión de las flores del *A. scabra*, sugiriendo que las defensas químicas de este forraje no alteraron la palatabilidad.

Principales usos del agave

En el cuadro 6 se mencionan los principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica del *Agave* spp. 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 costumbres 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 (Hamilton, 1992).

Cuadro 6 Principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica del *Agave* spp.

USOS	PRODUCTO	PARTE DE LA PLANTA
Alimentación	Azúcar	Tallo (piña)
	Guisos	Flores y frutos(capsulas frescas)
	Dulce	Escapo floral (quiote)
	Envolver barbacoa	Hojas
	Mixiotes	Cutícula del cogollo
	Guisos	Hojas
	Gusanos blancos	Tallo(piña)
	Gusanos rojos (chinicuales)	Perianto de flores + piña
	Pan de pulque	piña
	Tortillas	
Bebidas	Aguamiel, miel, atole de aguamiel pulque, mezcal, tequila, sotol. Bacanora, vinagre, jarabe	Tallo(piña)
Agrícola	Cerca viva, evitar la erosión como formadora de suelo, abono orgánico(fertilizante) planta líder de ecosistemas	Planta completa Planta completa Composta de hojas Planta completa
Forraje	Bovinos, caprinos, porcinos	Hojas, escapos florales, flores y parte de la inflorescencia, bagazo

Fuente: Ramírez (1982).

Digestibilidad del agave

El bagazo del maguey está compuesto de fibras largas y los productores mencionan que tamaños de fibras mayores a 15 cm. causan problemas digestivos y aun la muerte en bovinos y ovinos. Los bovinos, ovinos y caprinos muestran una diarrea severa cuando son alimentados completamente con maguey o pencas de desvirado por lo cual análisis realizados mostraron que la materia seca varía de 19.5 a 24% para magueyes menores a un año y de dos años, respectivamente. Las cenizas variaron de 12.7 a 9.9% para magueyes menores a un año y magueyes de 2 años, respectivamente. En maguey menores a un año, 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 menores a un año y magueyes de 2 años, la digestibilidad *in vitro* a las 72 hrs, fue de 70.8 y 85%, respectivamente (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006).

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).

Velázquez (2004) realizó una valoración nutrimental *in vitro* de la planta completa y hojas de desvirado en *A. salmiana* en diferentes estados de madurez y reportó una desaparición de 77.7 % de la materia seca, en las hojas de desvirado de un maguey quietillo.

Ramos (2005), quien evaluó dietas integrales con ensilado de *A. salmiana* y alfalfa en cabritas, presentando un valor de desaparición *in situ* del maguey ensilado sin alfalfa, de 82.59 % de la materia seca. Por otro lado Pinos (2006) encontró una desaparición de hasta 94 % de la materia seca en la base de las hojas de *A. salmiana* castrado de nueve meses.

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).

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).

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 hrs. Y presentaron una degradación in vitro de materia seca para (T1) 75.01% (T2) 67.43% y (T3) 82.74% siendo en T3 *A. salmiana* var, *ferox* el mayor y menor en T2 *A salmiana* var, *salmiana*. ($P \leq 0.05$).

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 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 ± 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, puede utilizarse como fuente de forraje para la alimentación de animales rumiantes.

Enzimas

Las enzimas son compuestos orgánicos de origen proteico que actúan como catalizadores biológicos de los procesos digestivos y metabólicos del organismo, incluyendo las reacciones de síntesis y digestión–degradación que ocurren en el intestino y rumen del animal, teniendo las enzimas la función del motor que mueve la actividad en todas las células del organismo, y en consecuencia controlando las funciones de mantenimiento, crecimiento y reproducción de los animales (Cotta, 1998).

Funciones que desempeñan las enzimas

- Funciones de metabolismo endógeno, es decir la degradación de sustancias del propio organismo.
- Síntesis de óxido nítrico gaseoso simple, usado entre otras funciones como toxina–anti patógeno.
- Son un fuerte mecanismo de defensa ante el ataque de alcaloides tóxicos de plantas.
- Eliminación de sustancias exógenas que no son sintetizadas en el propio organismo.
- Liberación del fósforo encapsulado por el ácido fitico.
- Mejora la digestibilidad de proteínas no aprovechables en los alimentos.
- Acelera reacciones químicas que al animal le llevaría demasiado tiempo para realizarlas.

- Las enzimas aceleran la ruptura de las moléculas grandes en moléculas más pequeñas, las cuales son absorbidas a través de la membrana del intestino para ser utilizadas en funciones de crecimiento y engorde.
- La digestión es una reacción química en la cual diferentes enzimas se unen a la molécula de alimento de alto peso molecular (substrato) para formar compuestos enzimáticos y de esta manera actuar para producir energía.

Las enzimas son producidas de forma natural por el organismo en los seres vivos por lo que solo se tiene un interés específico en la utilización de enzimas exógenas que el organismo no segregue o que lo haga en pocas cantidades, como tal es el caso de celulasa, fitasa, B-glucanasas, etc. Siendo el propósito general de estas el mejorar la digestibilidad de los componentes poco o nada digestibles (Shugart, 1996).

Celulosa

La celulosa es un importante constituyente de las plantas superiores y probablemente el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. Debido a que gran parte de la vegetación que pasa a formar parte del suelo es celulósica, la descomposición de este carbohidrato tiene una importancia muy especial en el ciclo biológico del carbono, consecuentemente los microorganismos del suelo que catalizan la hidrólisis de la materia vegetal (40-60% de residuos de las plantas) influyen en el flujo de energía de este hasta la formación de CO₂ y su liberación a la atmósfera. Como las bacterias y hongos del suelo son los microorganismos mayormente involucrados en el ciclaje de la materia vegetal, cambios en el número de ellos pueden indicar modificaciones en el contenido de materia orgánica del suelo (Alexander, 1980).

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

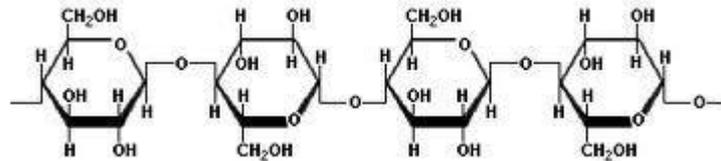


Figura.1 Estructura química de la celulosa.

Fuente: Zabala, (2005).

La celulosa existe en las plantas superiores, en las algas, en muchos tipos de hongos y en los quistes de algunos protozoarios. El polisacárido está localizado en la pared celular donde se encuentra como unidades submicroscópicas de forma alargada conocidas como micelas. A su vez, estas micelas se arreglan en estructuras más grandes, las microfibrillas, las cuales están suficientemente empaquetadas para prevenir la penetración no solo de enzimas si no de pequeñas moléculas semejantes al agua (Chacón y Waliszewski, 2005).

La extracción 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 tienen sobre la hidrólisis de los componentes estructurales de la pared celular de los vegetales (Chacón y Waliszewski, 2005).

Enzimas implicadas en la degradación de celulosas

La acción enzimática para llevar a cabo la hidrólisis de la celulosa implica la operación secuencial y la acción sinérgica de un grupo de celulasas, que presentan diferentes sitios de enlace, debido a la naturaleza compleja de la molécula de celulosa. El sistema de celulasa típico incluye tres tipos de enzimas: la endo- β -1,4-glucanasa (1,4- β -D-glucanoglucanohidrolasa, la exo- β -1,4-celobiohidrolasa y la β -1,4-glucosidasa (Gaitán y Pérez, 2005).

Microorganismos productores de celulasas

Las enzimas celulasas producidas por una variedad de bacterias y hongos aerobios o anaerobios, mesófilos o termófilos. Sin embargo, solo algunos de ellos producen la enzima celulasa extracelular capaz de hidrolizar la celulosa y pueden ocupar una gran variedad de hábitats.

Entre los hongos celulolíticos destacan: *Trichoderma reesei*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Fusarium solani*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma koningii*, *Sporotrichum* spp, *Alternaria* spp, *Geotrichum* spp, *Rhizoctonia* spp, *Trametes* spp, *Paecilomyces* spp, *Mucor* spp, *Cladosporium* spp, *Bulgaria* spp, *Chaetomium* spp, *Helotium* spp, *Aspergillus* spp.

Las bacterias degradadoras de celulosa más abundantes y conocidas son las aerobias entre las cuales se pueden citar: *Cellulomonas* spp, *Microbispora bispora*, *Thermomonospora* spp, *Cytophaga* spp, *Corynebacterium* spp, *Vibrio* spp, *Bacillus* spp, *Pseudomonas* spp, *Cytophaga* spp, *Corynebacterium* spp, *Vibrio* spp, *Bacillus* spp, *Pseudomonas* spp, *Thermobifida* spp, además de algunos anaerobios como : *Acetivibrio Cellulolyticus*, *Butivibrio* spp, *Bacteroides Cellulosolvens*, *Bacteroides succinogenes*, *Clostridium cellulovorans*, *Clostridium Thermocellum*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* (Gaitán y Pérez, 2005)

Entre los Actinomicetes destacan *Streptomyces drozdowiczii*, *Streptomyces cellulotycus*, *Thermomonospora curvata*, *Thermomonospora alba* y *Thermobifida fusca* (Ramírez y Cocha, 2003).

El pH óptimo para la actividad de las celulasas producidas por bacterias abarca un amplio rango, el cual incluye condiciones acidas y alcalinas (cuadro 7).

Cuadro.7 Bacterias con alta actividad específica de celulasas y su pH óptimo.

microorganismo	Actividad específica ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$)	pH optimo
<i>Bcillusubtilis</i>	514	5-7
<i>Clostridium thermocellum</i>	428	7
<i>Streptomycesmurinus</i>	6.7	6
<i>Bacilusmacerans</i>	5030	6
<i>Bacillus</i> sp	369.6	9

Fuente: Gaitán y Pérez (2005)

El cuadro 8 muestra la actividad específica de celulasas producida por hongos y el pH óptimo para su crecimiento

Cuadro 8. Hongos con alta actividad específica de celulasas

Microorganismo	Actividad específica ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$)	pH optimo
<i>Selerotiumrolfsil</i>	475	3.3
<i>Aspergillus niger</i>	194	5
<i>Achalyabisexualis</i>	7840	6
<i>Orpinomycessp</i>	3659	5.8
<i>Rhizopueschinensis</i>	4800	-
<i>Penicilliumbrefeldianum</i>	405	4.2

Fuente: Gaitán y Pérez (2005)

Degradación de celulosa por microorganismos aerobios y anaerobios

La degradación de la celulosa por microorganismos depende de la naturaleza de los organismos colonizadores y de las condiciones de descomposición. Entre los factores ambientales que influyen en la naturaleza de los microorganismos involucrados, los más importantes son humedad, temperatura, aireación, y suficiente suministro de nitrógeno y otros nutrientes (Fogar *et al.*, 2003)

Para la degradación de celulosa han sido estudiados muchos géneros de hongos por sus enzimas capaces de degradar celulosa y entre las bacterias, los actinomicetos se destacan por su capacidad degradadora de este sustrato (Castellanos *et al.*, 2009).

Existe una diferencia fundamental en el mecanismo de hidrólisis de la celulosa entre bacterias y hongos aerobios y anaerobios los hongos y bacterias aeróbicas característicamente cuentan con un sistema de celulasas no complejo, lo cual lleva a la secreción de enzimas hidrolíticas de celulosa en el medio de cultivo. Sin embargo, bacterias anaeróbicas especialmente *Clostridium*spp. y hongos del genero *Neocallimastix*, *Piromonas* y *Sphaeromonas* contienen un sistema de celulasas que forman un complejo donde las enzimas que degradan la celulosa están contenidas en una membrana llamada celulosoma. Esta fundamental diferencia tiene implicaciones en el uso biotecnológico de estos microorganismos, pues las basadas en bacterias y hongos anaerobios pueden tener ventajas sobre los sistemas aerobios en términos de eficiencia hidrolítica. El sistema de celulasas dispuestas en un complejo permite un alto grado de coordinación entre las enzimas involucradas en la hidrólisis de la celulosa que permite evitar la pérdida de intermediarios durante la degradación por los cambios en las condiciones ambientales (Castellanos *et al.*, 2009).

Factores ambientales que determinan la degradación microbiológica de celulosa

La degradación de la celulosa está dada por varios factores del medio ambiente, los principales son temperatura, aireación, pH, presencia de otros carbohidratos y proporción de otros vegetales (Carrillo, 2003).

Factores que determinan la actividad enzimática de las celulasas

Son diversos los factores asociados con la naturaleza del sistema enzimático de las celulasas ha sido sugerido por influenciar el proceso hidrolítico. Estos incluyen inhibición del complejo de celulasas por el producto final, inactivación térmica, sinergismo e irreversible absorción de las enzimas, teniendo estos últimos la mayor influencia en la degradación del polisacárido (Alexander, 1980).

Sinergismo: Ocurre cuando la acción combinada de dos o más enzimas aumenta la tasa de acción sobre el sustrato respecto a la acción individual, se han hecho estudios en los que se ha observado una actividad cooperada de las celulasas de *Trichoderma reesei* en las que las endoglucanasas actúan al azar a lo largo de las cadenas de celulosa generando sitios donde actúan las exoglucanasas las cuales liberan la celobiosa como producto principal, una tercera enzima, la β -glucosidasa es necesaria para hidrolizar la celobiosa previniendo de esta manera la inhibición de las exoglucanasas por acumulación de producto y por tanto generando un aumento en la tasa hidrolítica (Alexander, 1980).

Adsorción: La hidrólisis de la celulosa difiere de otras reacciones enzimáticas en que el sustrato es insoluble y requiere una previa adsorción de la enzima al sustrato. La adsorción de las celulasas es facilitada por la presencia de dominios en el sustrato los cuales son susceptibles al clivaje proteolítico mediante uniones por fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno.

Además dichos dominios cuentan con aminoácidos aromáticos que confieren una especificidad adicional y estabilidad al complejo enzima – sustrato (Alexander, 1980)

Digestibilidad

No todas las especies forrajeras ofrecen un forraje igualmente digestible, ya que su grado de digestibilidad va depender de la especie así como también del estado fisiológico de la planta al momento de ser cortada, como también si es consumido verde, henificado, deshidratado o ensilado. También hay que hacer mención en cuanto al poder digestible ya que tampoco es igual entre rumiantes y no rumiantes.

Un alimento ingerido y que por lo tanto penetra en el tubo digestivo, no es retenido al final totalmente por el organismo. Ya que parte del mismo que no ha sufrido la acción de los jugos digestivos o ataques microbianos y que en definitiva no ha podido ser absorbida aparece en el excremento. El rendimiento de las acciones digestivas se caracteriza por el llamado coeficiente de digestibilidad o coeficiente de utilización digestiva (Besse, 1997 y Crampton *et al.*, 1974)

McDonald (1969), menciona que la digestibilidad de un alimento se define con más exactitud como la proporción del alimento que no excreta con las heces y que por lo tanto, a sido absorbida. La digestibilidad de los forrajes y pajas por parte del animal depende de su contenido de fibra bruta, que aumenta paralelamente al desarrollo de la planta por contener los tallos de las especies gramíneas de prado, y ciertas leguminosas como la alfalfa en particular, una mayor impregnación de lignina y cutina, haciéndolos menos digestibles.

Cuanto mas digestible es un forraje, menos necesidad tendrá el animal de completar su ración a base de concentrados y sus requerimientos alimenticios.

Concepto de digestibilidad

McDonald *et al.*, (1999) la definen como la cantidad de alimento que no se excreta en las heces y que, por lo tanto, se considera absorbida por el animal. Mientras que Crurch *et al.*, (2002) la define como la preparación de los alimentos para que sean absorbidos en el aparato digestivo.

La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a su solubilización o ataque por los microorganismos anaerobios ruminales según (Giraldo *et al.*, 2006).

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido dentro del aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino.

Mientras que, la degradabilidad hace referencia a la cantidad de alimento que se descompone en sus elementos integrantes, mediante procesos biológicos o químicos. A diferencia de la degradabilidad, la digestibilidad de los forrajes permite estimar la proporción de nutrientes presentes en el alimento, que tienen potencial de ser absorbidos por el tracto digestivo (Giraldo *et al.*, 2006).

La energía es limitante en todo sistema de alimentación, de allí la importancia de su valoración en los alimentos (Torres *et al.*, 2009). El valor energético se establece mediante: ensayos de digestibilidad directa (Sosa *et al.*, 2006) o de forma indirecta estimando digestibilidades con técnicas in situ e in vitro, ó empleando enzimas celulolíticas (Arce *et al.*, 2003)

Factores que afectan la digestibilidad

Composición de los alimentos

La digestibilidad de los alimentos tiene estrecha relación con su composición química. Otros alimentos en especial la hierba fresca o conservada, presentan una composición menos constante, la fracción fibra de los alimentos es lo que mas afecta la digestibilidad, siendo importantes tanto la cantidad como la composición química de la fibra (McDonald *et al.*, 2006).

Composición de la ración

La digestibilidad de los alimentos esta afectada, no solo por su propia composición, sino también por la de los alimentos consumidos al mismo tiempo. De acuerdo con este hecho, se administran a partes iguales en una ración mixta y un concentrado. La influencia de las relaciones entre los nutrientes de una ración se muestra en los resultados obtenidos con distintos valores de la razón de nutrición. la digestibilidad de todos los nutrientes disminuye, en especial la de las proteínas, (Maynard and Loosli, 1975)

Preparación de los alimentos

Los tratamientos mas corrientes o usados a los que se les somete a los alimentos antes de ser administrados son: trocearlos, aplastarlos, molienda, triturados y la cocción. Esto se hace para obtener una mayor digestibilidad.

Factores dependientes de los animales

La digestibilidad es una propiedad que guarda más relación con los alimentos que con los animales que los consumen. Las diferencias que existen en la capacidad digestiva del ganado vacuno y ovino son pequeñas, y carecen de importancia práctica para la mayoría de las raciones, los alimentos que presentan mayor digestibilidad son los granos de cereales, y estos a su vez tienden a ser digeridos con más eficiencia por el ganado ovino, en contraparte los alimentos que presentan menos digestibilidad son los alimentos groseros de mala calidad, estos tienden a ser mejor dirigidos principalmente por el ganado vacuno (McDonald *et al.*, 1999).

La digestibilidad es más bien propiedad del alimento que del consumidor, lo que quiere decir que un alimento dado a los animales distintos sea siempre digerido en el mismo grado. Los factores que afectan la digestibilidad por parte de los animales más importantes son:

Nivel de alimentación

Al aumentar la cantidad consumida de un determinado alimento, se produce a un ritmo de paso más rápido por el tracto digestivo, la limitación de la digestibilidad se debe a la falta de tiempo por la acción digestiva completa sobre las sustancias menos digestibles. Si el tránsito es demasiado lento en el intestino, eso indica que el alimento está expuesto a fermentaciones destructivas (Maynard y Loosli, 1975).

Cuando la ingestión de un alimento se reduce por debajo del nivel de mantenimiento, los animales tienden a ser más eficientes en la digestión de los alimentos y también en el aprovechamiento de nutrientes.

Suplementación de los alimentos con enzimas

Puesto que los animales no rumiantes están mal equipados para degradar muchos componentes de los alimentos, pueden añadirse a estos preparaciones enzimáticas (generalmente de origen fúngico), con la finalidad de mejorar su digestibilidad. La enzima que ha proporcionado efectos positivos con más constancia ha sido la β -glucanasa añadida a los piensos para gallinas que incluyen cebada. Si los β -glucanos escapan a la digestión, aparecen en las excretas en forma de geles que dan lugar a eses pegajosas; además, los glucanos dificultan la digestión de otros componentes de la ración, de modo que la destrucción enzimática determina una mejora general de la digestibilidad (Schneider *et al.*, 1977).

Digestibilidad aparente y real

La digestibilidad aparente se le puede considerar como un balance del alimento menos las heces, pero por otro lado esta la digestibilidad verdadera, que es la digestión. El coeficiente de la digestibilidad verdadera es mayor a la de la digestibilidad aparente y existe una pérdida metabólica en las heces. En dietas totales, los lípidos y las proteínas tienen una pérdida metabólica fecal, en otros casos como son los carbohidratos y las fibras estas no tienen pérdida fecal metabólica y los coeficientes aparentes igualan la digestibilidad verdadera.

La mayor parte de los nutrientes contenidos en los alimentos son absorbidos en el aparato digestivo y una pequeña parte excreta en las heces. Se denomina nutriente aparente digerido, a la diferencia entre la cantidad que es ingerida del nutriente y la cantidad del nutriente que se encuentra en las heces. Sin embargo, la mayor parte de los nutrientes que aparecen en las heces proceden del alimento, en las heces también aparecen los nutrientes que proceden de las secreciones orgánicas al tubo digestivo, y de microorganismos de la flora intestinal; esta parte se conoce como excreción endógena. Así pues una parte de los nutrientes presentes en las heces no proceden del alimento.

La digestibilidad puede determinarse para un alimento completo o para alguno de sus componentes (mediante la fórmula siguiente):

$$\text{Digestibilidad aparente} = \frac{\text{consumo} - \frac{\text{heces}}{\text{consumo}} \times 100}{\text{consumo}} \times 100$$

$$\text{Digestibilidad real} = \frac{\text{consumo} - \frac{\text{heces totales} - \text{heces metabólicas}}{\text{consumo}} \times 100}{\text{consumo}} \times 100$$

El valor de la digestibilidad real es superior al de la aparente ya que descuenta las pérdidas por productos metabólicos como descamaciones epiteliales del tubo digestivo, enzimas y jugos digestivos. La digestibilidad aparente carece de significado en rumiantes por el variado origen y magnitud de las pérdidas fecales.

Técnicas de digestibilidad

Varios métodos se han desarrollado, y algunos más apropiados que otros para un propósito específico. Las técnicas para determinar digestibilidad, se describen a continuación:

Técnica *in vivo*

Esta técnica se refiere a la evaluación de los alimentos que se realizan empleando animales, tales como la digestibilidad o consumo involuntario.

Esta digestibilidad es ampliamente utilizado para determinar la calidad de los alimentos, esta técnica puede verse afectada por diferentes factores como el estado fisiológico del animal, especie del animal, el nivel, pauta de ingestión y tipo de ración (Schneider y Flatt, 1975).

Técnica *in situ*

La técnica *in situ* utiliza bolsas sintéticas para medir la digestión de los forrajes en ruminal, consiste en colocar la muestra en la bolsa e incubarla en rumen de animales fistulados. Esta técnica permite determinar simultáneamente la cantidad de la muestra ingerida y la tasa a la cual la digestión se realiza.

Se utiliza principalmente cuando se requiere observar el efecto de las condiciones ruminales sobre la digestión de un número limitado de muestras.

La utilidad y confiabilidad de esta técnica depende de factores tales como la cantidad de la muestra, y del tamaño de la bolsa y de la partícula de la muestra (Torres *et al.*, 2009).

Métodos *in vitro*

Por otro lado, los métodos *in vitro* que han sido utilizados ampliamente desde su introducción son el de Tilley y Terry (1980) y el de Van Soest *et al.* (1991), considerados los procedimientos más exactos para la predicción de la digestibilidad en rumiantes.

El método de Tilley y Terry se considera de referencia para calcular la digestibilidad en rumiantes, ha sido modificado y adaptado según el tipo de alimento, al igual que se han probado diferentes tampones de dilución para ajustar el pH del inoculo. Pese a su exactitud y modificaciones, este método requiere de mucho tiempo y trabajo, además cada alimento debe incubarse por separado, limitando el número de muestras a ser analizadas. (Giraldo *et al.*, 2006).

Aunque uno de los principales problemas de esta técnica es la obtención del líquido ruminal el cual es obtenido por animales fistulados, llegando a ser en algunos países difícil de conseguir las licencias requeridas para preparar quirúrgicamente tales animales así como lo costoso de su manutención.

Los resultados de la técnica son afectados también por la calidad del líquido ruminal el cual puede modificarse debido al proceso, a la dieta y a la especie animal donante, así como la época de la colección y a las condiciones anaerobias, el pH y la temperatura óptimos (Tilley y Terry, 1963; Clancy y Wilson, 1956).

Así mismo, la técnica desarrollada por Van Soest *et al.*, 1991, supone una alternativa al método de Tilley y Terry (1980), ya que permite una valoración más rápida de los alimentos sin afectar negativamente la precisión del valor obtenido.

Este procedimiento consiste en una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 horas a 39°C, seguida del tratamiento del residuo obtenido con una solución neutro-detergente durante 1 hora a 100°C, y los valores obtenidos se consideran una estimación de la digestibilidad real de los alimentos (Bochi-Brum, *et al.*, 1999).

El inconveniente de la técnica *in vitro* reside en la variabilidad de sus resultados, debido a que la microflora ruminal está influenciada por el tipo y cantidad de dieta proporcionada al animal (Torres *et al.*, 2009).

Método *in vitro* Daisy

La incubadora DAISY de ANKOM Technology fue introducida recientemente para hacer más fácil la evaluación de la digestibilidad *in vitro*.

El método puede digerir varias muestras del forraje en bolsas dentro de frascos de cristal, los cuales se rotan en un compartimiento aislado. Cuando se reduce la cantidad de muestra, manteniendo constante el volumen de inóculo, se incrementa la estimación de la digestibilidad y la variabilidad se duplica. Por eso cuando se necesita analizar un gran número de muestras se puede reducir el peso de la muestra en función de economizar reactivos (González *et al.*, 1990)

Utilizando este método se asume que la materia que se desaparece durante la incubación es digerida. Holden (1999) comparó los métodos de Tilley y Terry Daisy para predecir la digestibilidad de materia seca con buffer recomendando por ANKOM Technology Corp.

Para ambos métodos los resultados de este experimento mostraron concordancia entre los métodos, comprobando con esto que el de Daisy podría ser usado para predecir la digestibilidad *in vitro* de los forrajes y granos.

Factores que afectan la digestibilidad *in vitro* con el método Daisy

Los resultados de la digestibilidad obtenidos por este método pueden ser afectados por tamaño de muestra y método de proceso, la proximidad de los frascos incubadores a alguna fuente de calor y al grado al cual las bolsas se sumergen en el contenido ruminal. Adesogan (inédito) observo que las predicciones de la digestibilidad *in vitro* eran mas exactas cuando los forrajes fueron incubados en bolsas no estandarizadas. Sin embargo, cuando se utilizan tales bolsas, los resultados obtenidos son variables de acuerdo al tamaño del poro, tipo de sellado y tipo de tela de las bolsas.

La perdida de substrato de partículas solubles o finas y materia indigerible, también es dependiente del tipo del alimento y el proceso de las muestras.

Además los efectos asociados entre las muestras incubadas en el mismo recipiente pueden también influenciar los resultados.

Damiran *et al.*, (2002) al evaluar las técnicas, el tamaño de muestra (0.25 vs 0.50 g) y el tamaño de molido (1mm vs 2mm), encontraron que para la digestibilidad de MS de heno de pasto, fue: el Daisy (688g/kg.) e *in situ* (713g/kg).en contraste con la paja, en Daisy (404g/kg) e *in situ* MS (409g/kg). En resumen encontró que las digestibilidades estimadas en Daisy e *in situ* fueron mayores para heno de pasto molido a 1mm y 2mm de igual manera se encontró que en el Daisy e *in situ* usando una muestra de 250 mg, resultaron mayores las estimaciones de digestibilidad que aquellas muestras de 500 mg.

Mabjeesh *et al.*, (2000), evaluando dos diferentes fuentes de inóculo para la digestibilidad *in vitro* para los métodos Daisy y Tilley y Terry encontraron que la fuente de inóculo no afecto la digestibilidad de ninguno de los alimentos usados.

Por otro lado Cone *et al.*, (1989) encontraron que el tipo de dieta del animal donador afecta los valores de la degradabilidad *in vitro*.

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

Procedimiento descriptivo para el método Daisy

A.- Procedimiento

- a) Pre enjuagar las bolsas para filtrar en acetona de 3 a 5 minutos y complete el tiempo de aire seco. La acetona enjuaga y remueve una superficie que inhibe la digestión microbiana.
- b) Identificar, pesar las bolsas y registrar su peso.
- c) Poner en cero la balanza y pesar en cada una de las bolsas 0.5 gramos de muestra.

Nota: Una muestra con tamaño de 0.5 gramos en una digestión de 48 horas es aceptable de acuerdo a estudios recientes. De cualquier forma utilizando 0.25 gramos de muestra colocarla en la bolsa y sellada al calor e introducirla al frasco digestor en el cual caben 25 muestras, las cuales deben estar distribuidas por ambos lados del divisor plástico del frasco. Colocar también una bolsa sellada esta será el blanco que se utilizara como factor de corrección.

Preparación de la mezcla de solución Buffer (para cada frasco digestor).

- a) Precaliente a 39 °C ambas soluciones (A y B) en recipientes separados.
- b) Agregue 266 ml de solución B a 1330 ml de la solución A proporción (1:5)
- c) La cantidad exacta de A y B debe ser ajustada con la solución B, al obtener un pH de 6.8 a 39 °C. No mas arriba de 6.8, el ajuste de pH es necesario.

- d) Agregue 1600 ml de la mezcla A y B a cada frasco que contiene las bolsas de muestra.
- e) Coloque los frascos ya con muestras y la solución Buffer dentro de la incubadora DAISY y active el botón de la temperatura y el agitador (la luz rojo en el botón indica encendido).
- f) Equilibre la temperatura de los frascos digestores dejándolos por un mínimo de 20-30 minutos. Este tiempo se puede usar para la colección y preparación del inóculo del rumen.

Preparación del inóculo e incubación.

- a) Mantener todo el material de cristal a 39 °C
- b) Precaliente dos termos de capacidad de 2 litros con agua a 39 ° C, vacíe el agua caliente justo antes de la colección del rumen inóculado.
- c) Usando el procedimiento adecuado para la colección tire los dos litros de agua a 39 °C de los termos para poder agregar el inóculo del rumen a los termos.
- d) Agregar aproximadamente 2 puñados de material fibroso del rumen con su colección en uno de los termos.
- e) Vacía el inóculo del rumen de los termos dentro del recipiente agitador.
- f) Purga el recipiente agitador con gas CO₂ y se mezcla en una velocidad alta por 30 segundos, la acción de mezclar sirve para desalojar microbios que son agregados al material y así asegurar una población representativa de la fermentación in vitro.
- g) Filtrar la mezcla digerida dentro de un matraz a 5 litros (precalentado a 39 °C) a través de cuatro capas de gasa.
- h) Filtre el fluido del rumen restante de los otros termos a través de cuatro capas limpias de gasa en el mismo matraz de 5 litros.

Nota: deje gasa extra alrededor de la orilla que facilite exprimir el contenido del material filtrado. El matraz debe ser continuamente purgado con CO₂ y continuar purgando durante la transferencia del inóculo.

- i) Mida 400 ml de inóculo del rumen en un cilindro graduado y agréguelos a uno de los frascos digestores en el cual se encuentra la solución buffer y las muestras, purgue el frasco digestor con gas CO₂ por 30 segundos cierre y asegure bien la tapa.
- j) Repita el proceso para todos los frascos digestores que usted use.
Nota: No permita que el gas CO₂ haga burbujas a través del inóculo buffer, se sugiere que se use CO₂ en forma gaseosa y lo aplique colocando una manta encima del contenido del frasco.
- k) Incubación (confirme que los botones de la temperatura y la agitación estén encendidos).

La determinación in vitro en periodo de 48 horas los resultados son confiables. La incubadora DAISY se mantiene a una temperatura de 39 °C +- 0.5.

- l) Al completar la incubación, remueva la jarra y tire el fluido, enjuague las bolsas minuciosamente con agua fría y golpee ligeramente en el agua hasta que queden limpias. Use un mínimo de agitación mecánica.
- m) Registre el peso de la bolsa al salir de la digestión in vitro como w₃.

Cálculos

$$\% \text{ DIV} = 100 - \left(\frac{W_3 - (W_1 \times C_1)}{W_2} \right) \times 100$$

$$\% \text{ DIV Ms} = 100 - \left(\frac{W_3 - (W_1 \times C_1)}{W_2 \times M_s} \right) \times 100$$

Donde:

W1= peso de la bolsa tarada

W2= peso de la muestra después de la digestión in vitro.

W3= peso final de la muestra después de la digestión in vitro.

C1= corrección de la bolsa (blanco) (peso original de la bolsa/peso final).

Ms = % de materia seca.

III MATERIALES Y METODOS

Localización

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

Caracterización bromatológica de la inflorescencia del maguey (*Agave salmiana*).

Material orgánico

Se evaluó nutricionalmente la inflorescencia en plena floración del maguey colectadas en los meses de junio y julio las cuales fueron obtenidas dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

La caracterización bromatológica como se muestra en la figura 2 se realizó siguiendo los procedimientos descritos por la AOAC (1980), para materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa y fibra cruda. En el caso de FDN y FDA se utilizó la metodología descrita por Van Soest (1964).



Figura 2. Inflorescencia del maguey *Agave salmiana* picada.

Preparación de medio sólido

Se prepararon tubos de ensayo con agar Schaedler (BD BBLTM), agregando 25.14g por cada 600ml de agua destilada dentro de un matraz Erlenmeyer de 1000ml, disolviendo a flama de mechero hasta observar coloración cristalina como se observa en la figura 3, posteriormente se esterilizó el medio en un autoclave a 121°C y 15 atms., de presión durante 15min.

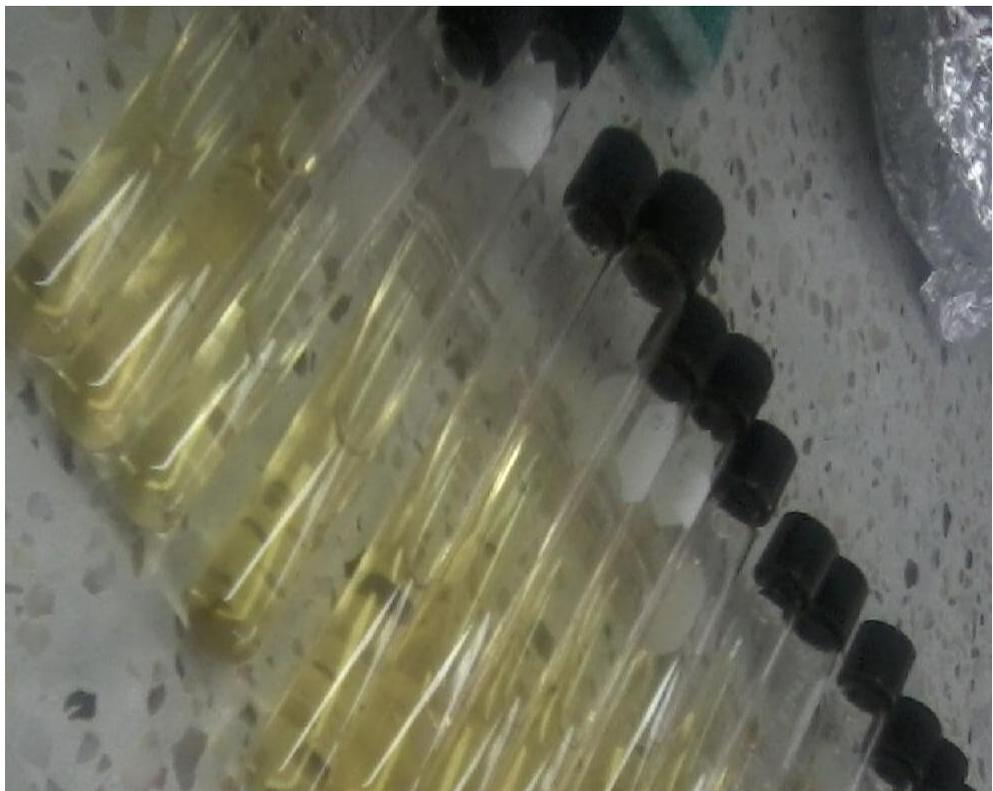


Figura 3. Preparación del agar Schaedler.

Siembras en medio solido

Se realizaron siembras en tubos de ensayo estériles figura 4, por la técnica de siembra en tapete sobre el agar Schaedler, después se incubo a 37°C por 24 horas bajo condiciones de anaerobiosis, hasta observar crecimiento sobre el medio. Para la creación del ambiente en condiciones anaeróbicas y favorecer el crecimiento del microorganismo, se utilizaron botes de plástico con tapa de rosca, dentro del cual se colocaron los tubos de ensayo ya sembrados, se colocó una vela prendida y se cerró el bote, colocando cinta alrededor de la tapa como se muestra en la figura 4, cuando la vela se apaga indica la ausencia de oxígeno dentro del bote, obteniendo así las condiciones para el crecimiento de las bacterias.



Figura 4. Bote de plástico para favorecer el crecimiento bacteriano.

Tinción de Gram

Se realizó la técnica de tinción de Gram para observar las características morfológicas de los microorganismos empleados. Para ello se tomó con el asa una muestra del cultivo puro y se disolvió en un portaobjetos con una gota de agua destilada, se homogenizó la suspensión de bacterias, posteriormente se fijó la muestra con calor en el mechero.

Una vez fijada la muestra se cubrió con cristal violeta dejándolo reaccionar por 60 segundos y se enjuagó suavemente al chorro del agua; se cubrió de nuevo la superficie con una solución de yodo (lugol) y se dejó reaccionar por 1 minuto; se enjuagó suavemente y se decoloró con una solución de alcohol-acetona por unos segundos y después enjuagarse. Finalmente se cubrió la superficie con una solución de safranina y se dejó actuar por 1 minuto para después enjuagarse con agua destilada.

Se dejó secar la preparación por completo para después observar los microorganismos teñidos empleando un microscopio óptico a 100X con aceite de inmersión.

Fermentación para la producción del extracto enzimático

-Preparación del medio líquido específico para producir celulasa

Se preparó un medio líquido específico para la degradación de celulosa, los componentes se presentan en el cuadro 9

Cuadro 9. Composición química del medio líquido específico para producir celulasa.

Componente	Cantidad (%)
NaCl	0.5
NaNO ₃	0.3
KCl	0.5
Fuente de C (celulosa) papel periódico	1
KH ₂ PO ₄	0.2
MgSO ₄	0.01

Producción de celulasas

En un matraz Erlenmeyer de 250 con 70 ml de agua destilada se agregó el medio mineral disolviendo sus componentes y posteriormente se esterilizó el medio en una autoclave a 121 ° C y 15 atmosferas de presión durante 15min. La fuente de carbono (carboximetil celulosa) se disolvió en 30 ml de agua destilada y fue adicionada en el medio a temperatura ambiente bajo condiciones de esterilidad.

Se agregaron 7 ml del medio en tubos de ensayo con cultivo puro, se realizó barrido por medio de micro pipeta con puntillas de 1 ml para obtener la biomasa se depositaron en el medio líquido para inducir a la producción de celulasas empleando como única fuente de carbono la CMC, se incubaron durante 96 horas a una temperatura de 40°C, en condiciones de anaerobiosis, se centrifugo el medio en tubos de ensaye a 5000 revoluciones durante diez minutos, con la finalidad de separar el extracto enzimático de la biomasa.

Preparación de las muestras

Se seleccionó la inflorescencia del maguey, se picaron en trozos de aproximadamente 5 X 5 cm, para posteriormente secar parcialmente en la estufa a 70°C, cada una de las muestras se molió completamente con el molino Wiley y se pesaron.

El cuadro 10 muestra la dieta que se utilizó para analizar la degradación las cuales fueron utilizadas en cabras alpinas en producción de leche con un peso promedio de 47 kg.

Cuadro 10. A continuación se muestran las dietas que se utilizaron para analizar la degradación.

DIETAS	Maguey (inflorescencia)	Urea	Melaza	Alfalfa	Sorgo	Enzima
1	40%	10%	20%	10%	20%	0%
2	40%	0%	20%	16%	24%	0.1%

Obtención del líquido ruminal

La obtención del líquido ruminal fue proporcionado por el rastro tipo TIF de Saltillo. Una vez extraído el líquido, se filtro y deposito en los termos y ya en el laboratorio se mezclo con saliva artificial y se procedió al gaseado con CO₂ esto último con la finalidad de obtener un pH neutro y asegurar las condiciones anaeróbicas.

Digestibilidad *in vitro* con el incubador Daisy

Para estimar la digestibilidad *in vitro* de los alimentos se utilizó la técnica descrita por Goering y Van Soest (1970), utilizando la modificación metodológica propuesta por Ankom Technology Corporation. Las muestras de 0.5 g se incubaron en el interior de bolsas de nylon, introducidas en frascos de vidrio de 4 litros de capacidad en los que se les agregó 2 litros de mezcla de líquido ruminal y de la solución buffer descrito por Goering y Van Soest (1970) y 24 muestras por frasco (tres blancos por frasco).

La preparación de la solución buffer que asemeja la saliva del animal en el rumen y la mezcla con el líquido ruminal se realizaron en condiciones anaerobias (gaseado continuo con CO₂) y manteniendo la temperatura constante a 39 °C. La incubadora utilizada Daisy dispone de cuatro recipientes de los cuales se utilizaron todos. Una vez sellados los frascos se introdujeron a la incubadora durante 72, 48, 24, 12, 6, 3 y 0 horas, bajo agitación continua. Transcurrido ese tiempo se extrajeron las bolsas de los frascos. Después fueron lavadas a chorro hasta que el agua salió clara posteriormente se procedió a secarlas en estufa a 70 °C durante 24 horas. Fueron enfriadas en desecador y pesadas.

Las bolsas utilizadas en este trabajo son de la marca ANKOM, las cuales se pueden utilizar en estudios de concentrado y forraje; y con un tamaño de 5x10 cm. Y 10x20 cm. hechas con poliéster libre de nitrógeno y con un tamaño de poro de 50(+/-15) milimicras.

Los reactivos de las soluciones A y B sirvieron como amortiguador que semeja la saliva del animal.

Estas se mezclaron en una proporción de 1:5 combinando a sí 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 a la cual se le añadió 400 ml de fluido del rumen.

B.- Reactivos

g/litro

a) Solución Buffer A:

KH₂PO₄

10.0

MgSO₄·7H₂O

0.5

NaCl

0.5

CaCl₂·2H₂O

0.1

Urea (reactivo de marca)

0.5

b) Solución Buffer B:

Na₂CO₃

15.0

Na₂S·9H₂O

1.0

c) Inoculo fluido de rumen

C.- Aparatos

a) Incubadora DAISY

Aparato de filtración

Bolsa que impulsa a sellar el calor.

Cilindros graduados de 1 litro y 500 ml.

2 termos

Tela para filtrar (gasa).



Figura 5. Incubadora DAISY

Diseño experimental

Para este trabajo se utilizó un diseño de arreglo factorial completamente al azar de 2x7, teniendo dos tratamientos con tres repeticiones cada uno y siete tiempos de incubación.

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

Los análisis se realizaron con el programa estadístico de la UANL así como la degradación efectiva correspondiente a la degradación potencial máxima (A+B) ajustada por efecto de la tasa fraccional de pasaje desde el rumen (K), se calculó a través de la relación: $(A+B \cdot C / (C+K))$. Para el cálculo de la curva de la degradación se utilizó el Software: NEWAY PROGRAM (Rowett Research Institute, 1981).

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis bromatológico de las inflorescencias del maguey

Los resultados del análisis bromatológico de las inflorescencias de maguey, se muestran en el cuadro 11 encontrando los siguientes valores para materia seca 18.56%, proteína cruda 5.87%, extracto etéreo 2.86%, cenizas 5.57%, fibra cruda 2.72% FDA 3.15% y FDN 6.61%. En relación a la materia seca, los resultados encontrados coinciden con la investigación de Espino (1984) al reportar 18% de materia seca al evaluar la calidad forrajera del vástago floral. En cuanto a los reportes de Martínez (1994), quien realizó un trabajo con dos especies de maguey, en las que reportó los siguientes valores: materia seca 11.12%, proteína cruda 4.96 %, extracto etéreo 1.64%, fibra cruda 18.89% y cenizas 16.89%.

González (1994), reporta los siguientes valores para materia seca 11.14%, proteína 4.62% extracto etéreo 1.33% cenizas 20.51% fibra 17.24% al evaluar dos especies de maguey forrajeras (*Agave salmiana* y *Agave atrovierens*) utilizadas en zonas áridas del norte del México en relación a sus características fenológicas.

Hay una diferencia en cuanto a los valores reportados por estos autores y en esta investigación, tal vez esta diferencia se deba a la época del año, tipo de suelo donde se desarrolla la planta, también hay que mencionar que puede deberse a la parte de la planta que fue estudiada o a las condiciones en que el material fue estudiado, ya que los valores reportados en esta investigación en cuanto a materia seca, proteína y extracto etéreo son mayores a los reportados por Martínez(1994) y Gonzales(1994) y menores en cuanto a los demás nutrientes.

Cuadro 11. Análisis bromatológico de inflorescencias de maguey Agave *salmiana*.

NUTRIENTE	CONTENIDO (%)
Materia seca	18.56
Materia orgánica	87.20
Proteína	5.87
Extracto etéreo	2.86
Fibra cruda	2.72
Cenizas	5.57
ELN	82.75
FDA	3.15
FDN	6.61

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

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los tratamientos

Los resultados de los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca mediante el método Daisy, se muestran en el cuadro 12, en el cual se muestra el nivel de significancia en cada uno de los tratamientos y en el que se aprecia que el tratamiento 2 tuvo una mayor digestibilidad ($P < 0.05$) que el tratamiento 1.

Cuadro 12. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los tratamientos de la inflorescencia de agave

TRATAMIENTOS	DIGESTIBILIDAD (%)
1	66.19 ^b
2	69.81 ^a

^{a y b} Literales diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

El comportamiento de la digestibilidad de las dietas con agave se puede observar en la grafica 6 en la cual se observa que el tratamiento t1 con un 20 % de maguey y 5% de urea tuvo un valor de 66.19% de digestibilidad comparado con el tratamiento t2 al cual se le agrego la enzima celulasa el cual presento una digestibilidad de 69.81% lo que indica que tuvo diferencia significativa ($P < 0.05$)

Los valores de la digestibilidad del agave fueron superiores a los resultados de Martínez (1994), quien reporto los valores de digestibilidad para *Agave salmiana* y *Agave atrovirens* de 62.40% y 64.52% respectivamente aunque García (1984) reporto que la mayor digestibilidad se presenta en los tratamientos de flor y melaza y flor con un 95% y 94% respectivamente y que los tratamientos realizados con quiote y melaza presentan valores menores de digestibilidad de un 49% y 41% en tratamientos a base de puro quiote.

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

Estos autores concluyeron que el maguey mezcalero puede considerarse como ingrediente con buena digestibilidad, útil en la alimentación de rumiantes.

Este factor puede deberse a la cantidad de fibra contenida en el tratamiento y a que la principal función de la urea fue aportar proteína, así como también a que la inflorescencia de maguey contiene una gran cantidad de azucres así como de proteína y tiene una menor cantidad de fibra por lo que hace que la enzima degrade mas rápido la poca fibra que contiene la inflorescencia del maguey

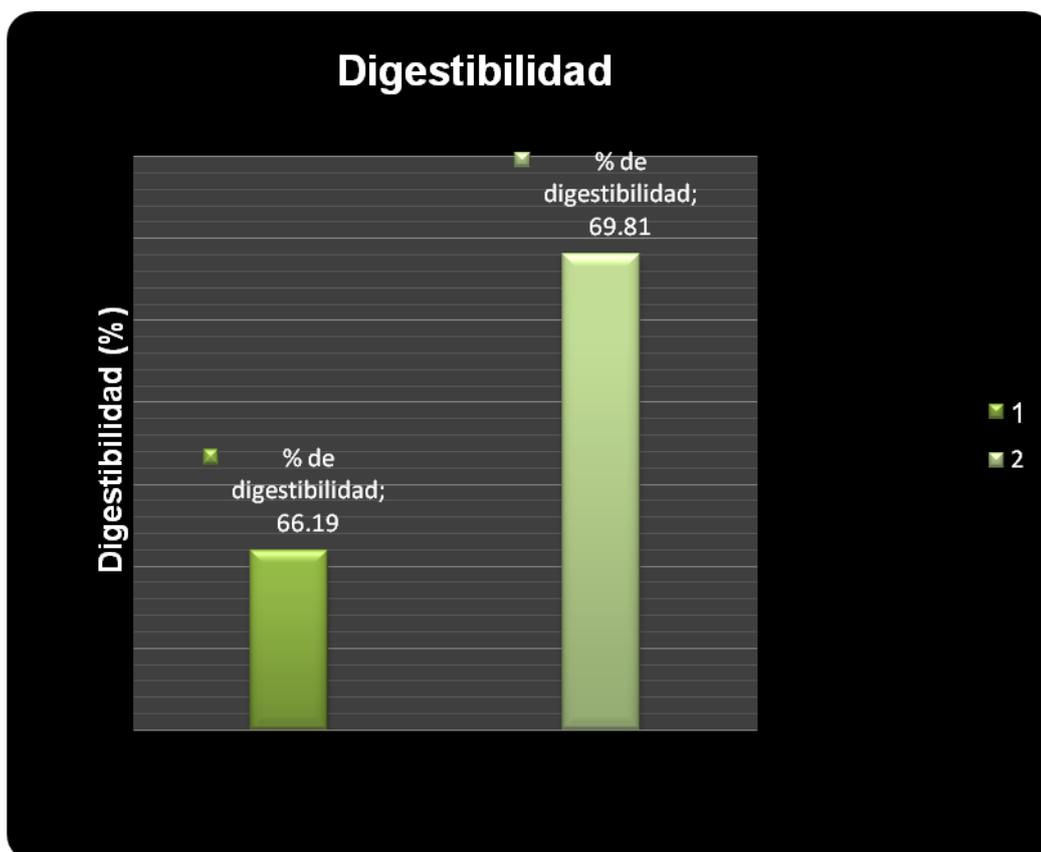


Figura 6. Coeficiente de digestibilidad in vitro de materia seca de los tratamientos de agave. Tratamientos: T1 con urea. T2 con enzima.

El cuadro 14 muestra que los mejores tiempos entre los tratamientos, fueron el tiempo 24 y 48 hrs. Estos son los tiempos en donde la degradación es muy alta en un rango de 86.50y 86.83% de degradación de las dietas de agave.

Se presenta en los tiempos 0 y 3, una menor degradación con diferencia significativa ($P < 0.05$), los tiempos 24 y 48 horas presentan alto porcentaje de digestibilidad, debido a que son las horas optimas para que haya una mayor digestibilidad y la aplicación de la enzima que acelera la degradación, en el tiempo 72 bajo la digestibilidad debido a que la enzima deja de actuar debido a que ya no hay sustrato.

Cuadro 14. Digestibilidad de maguey adicionado con aditivos a diferentes tiempos de incubación (%).

Tiempo (hrs)	MEDIA
48	86.83 ^a
24	86.50 ^{ab}
72	82.16 ^b
12	83.83 ^{ab}
6	54.00 ^c
3	49.66 ^c
0	24.50 ^d

a, b, c, d, e, f: Literales diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

En la figura 7 se pueden apreciar los resultados obtenidos de la digestibilidad in-vitro de la materia seca (DIVMS) a diferentes tiempos de incubación; en donde los tratamientos 1 y 2 son semejantes a las (3hr) ya que no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$). A las (12hr) se observó una diferencia significativa mostrando una alta digestibilidad en el t1.

En el tiempo (24hr) todos los tratamientos se mantuvieron constantes ya que no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$). En el tiempo (48hr) el t2 muestra una alta digestibilidad aunque el t1 desciende.

En las 72hr empezó a bajar su digestibilidad el tratamiento 2 a diferencia del t1 que aumentó su digestibilidad.

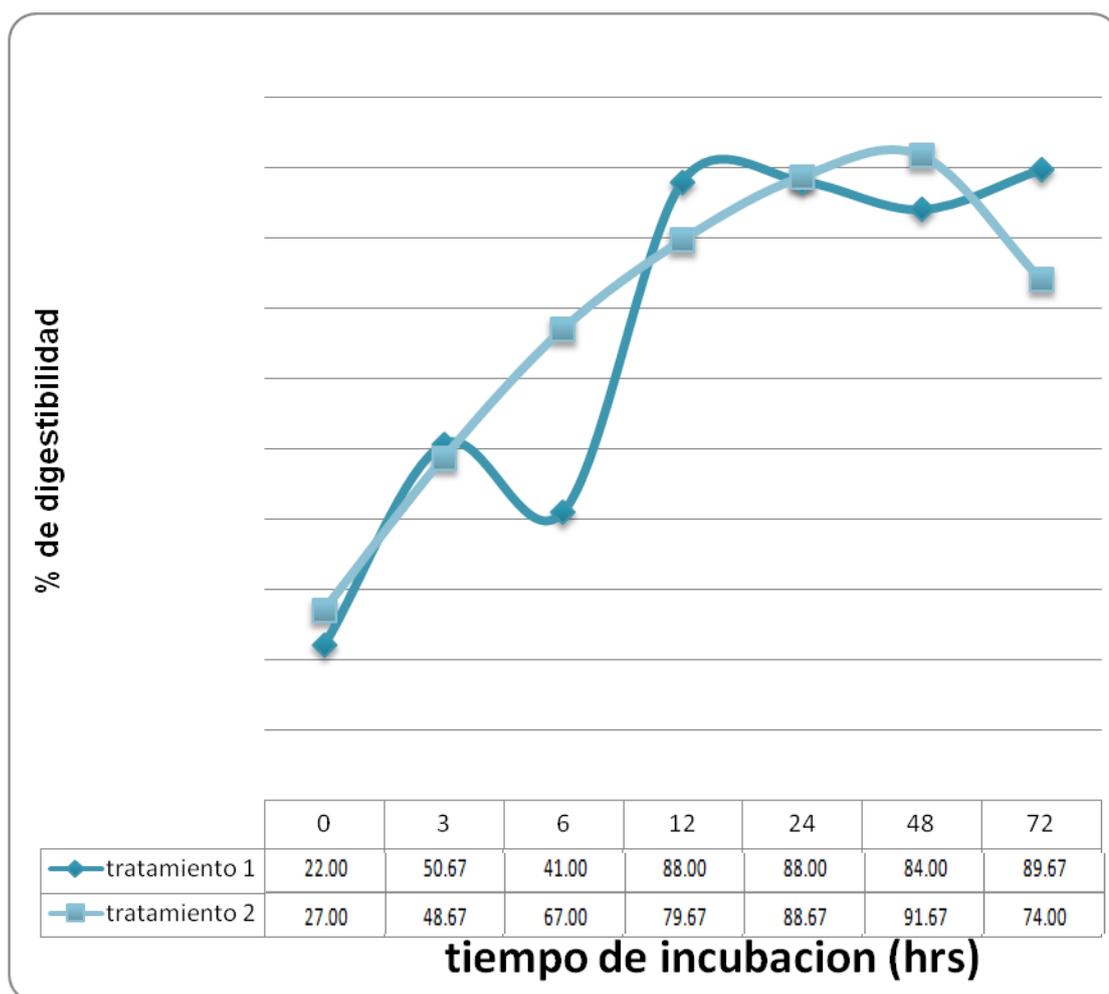


Figura 7. Digestibilidad de la materia seca de los tratamientos de agave (%).

En la grafica 7 se muestra que la digestibilidad comienza a elevarse desde las 6 hrs hasta las 48 hrs donde alcanza el pico máximo de digestibilidad y a las 72 hrs empieza a decaer la digestibilidad esto puede ocurrir debido a diferentes factores como puede ser la inactividad de la enzima celulasa debido a que ya no hay sustrato y a que se completo la digestibilidad.

Harrison (1984) menciona que la digestibilidad de la materia seca in vivo del bagazo y la pulpa del henequén (*Agave fourcroydes*) supera el 62%, lo cual indica un elevado potencial nutritivo para un forraje toscó.

En una revisión realizada por Harrison (1984), menciona que la degradación in vitro de la pulpa de henequén en cinco ovejas fistuladas, en 24 hrs aumento considerablemente (de 53.7 a 71.6) con la adición de zacate verde.

A su vez Martínez y Chávez (2001) alimentaron borregas Rambouillet con subproductos de la elaboración del mezcal (bagazo de cabezas cocidas, pencas de desvirado y quiotes en prefloración) y encontraron que la ganancia diaria de peso y el consumo de materia seca fue mayor en borregas alimentadas con bagazo picado ($P < 0.05$).

Por otro lado Pinos (2006) encontró una desaparición de hasta 94 % de la materia seca en la base de las hojas de *A. salmiana* castrado de nueve meses. Este autor concluyó que el maguey puede considerarse como ingrediente con buena digestibilidad, útil en la alimentación de rumiantes. Pero Arizpe (1975) menciona que la digestibilidad del maguey es alta, sin embargo es difícil llenar las necesidades de mantenimiento de un animal proporcionando únicamente maguey, por lo que se debe mezclar con ingredientes de mejor calidad.

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 hrs de incubación, este resultado indica baja digestibilidad y, comparado el rastrojo de maíz con el maguey, es superado considerablemente ya que la digestibilidad del maguey es mucho mayor en el tiempo 72 hrs, que alcanzo valores de 90.74 y 90.33% para la variedad *salmiana* y *americana* respectivamente.

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. Estos valores de digestibilidad comparándolos con los tratamientos de agave + enzimas que alcanzo valores de 91.67% a las 48 hrs.

García-Herrera, (2010) menciona que en animales con raciones bien formuladas, donde se combinan diversos alimentos para que se logre una óptima digestión, hay una digestibilidad del maguey arriba del 80 %, dependiendo de la parte de la planta (penca, piña, y quiote), de su edad y del estado fisiológico.

Por lo que hay que mencionar que los valores que se alcanzaron en los tratamientos del agave + enzimas de 91.67% a las 48 hrs puede decirse que tuvieron una digestibilidad mucho mayor, tal vez se deba a lo mencionado por estos autores ya que se combinaron diversos alimentos.

Relacionando ambos experimentos indican que independientemente de la especie, el estado de madurez de la planta, afecta directamente a la degradación de la materia seca del maguey; a mayor edad, menor degradación.

Calculo de las fracciones

Durante la fase inicial, en un transcurso de tiempo hay una menor degradación debido a que en las primeras horas hay una adaptación de las bacterias del rumen con el alimento, a esto se le llama fracción A, a medida que las bacterias se adaptan hay un incremento en la degradación, esto es la fracción B, aun así la degradación llega a un pico donde se mantiene por cierto tiempo y luego esta misma desciende debido a la falta de sustrato para seguir la degradación del alimento.

Para el tratamiento 1 la fracción soluble a tiempo 0 (A) fue de 21.58%, la fracción insoluble potencialmente degradable (B) fue de 67.63%, la tasa fraccional de degradación de la fracción B que se representa como C fue de 0.1169%, la degradación residual (RSD) fue de 11.69% y la degradación máxima potencial (A+B) fue de 89.21%.

Para el tratamiento 2 la fracción soluble a tiempo 0 (A) fue de 26.00%, la fracción insoluble potencialmente degradable (B) fue de 59.13%, la tasa fraccional de degradación de la fracción B que se representa como C fue de 0.1866%, la degradación residual (RSD) fue de 6.98% y la degradación máxima potencial (A+B) fue de 85.13 %

La fracción soluble fue baja, apreciándose con ello una lenta desaparición de la fracción potencialmente degradable, lo que manifestaría la necesidad de un tiempo de incubación más prolongado.

Los alimentos que tienen fracción "B" alta y cuya degradabilidad es intermedia serán más afectados por aumentos en la tasa de pasaje debido a una mayor dependencia del tiempo de permanencia en el rumen para ser degradados.

En un estudio realizado por Hernández, (2011) donde evaluó la cinética de la digestión de la materia seca (MS) del nopal (*Opuntia Lindheimeri*) menciona que para la fracción (a) el valor es de 45.61, y para la fracción (b) se obtuvo el valor 42.14, la fracción (c) con el siguiente valor de 0.1038 y para la máxima degradación potencial del nopal fue de 87.75% aunque menciona también que hay muy pocos trabajos realizados con este tipo de programas.

Cuadro 15.Calculo de las fracciones de degradación de los tratamientos de inflorescenciadel maguey.

T1	A=21.58		B=67.63		C=0.1311		RSD=11.69
Tiempos	0	3	6	12	24	48	72
Mediciones	22.00	50.67	41.00	88.00	88.00	84.00	89.67
Valores ajustados	21.58	43.57	58.41	75.18	86.30	89.09	89.21
T2	A=26.00		B=59.13		C=0.1866		RSD=6.98
Tiempos	0	3	6	12	24	48	72
Mediciones	27.00	48.67	67.00	79.67	88.67	91.67	74.00
Valores ajustados	26.00	51.34	65.82	78.82	84.45	85.12	85.13

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

La figura 8, muestra como la degradación de los valores ajustados va aumentando de una manera más uniforme teniendo así su máxima degradación a las 72 hrs sin embargo la digestibilidad para el tratamiento 2 alcanzó su máxima digestibilidad alas 24 y 48 hrs.

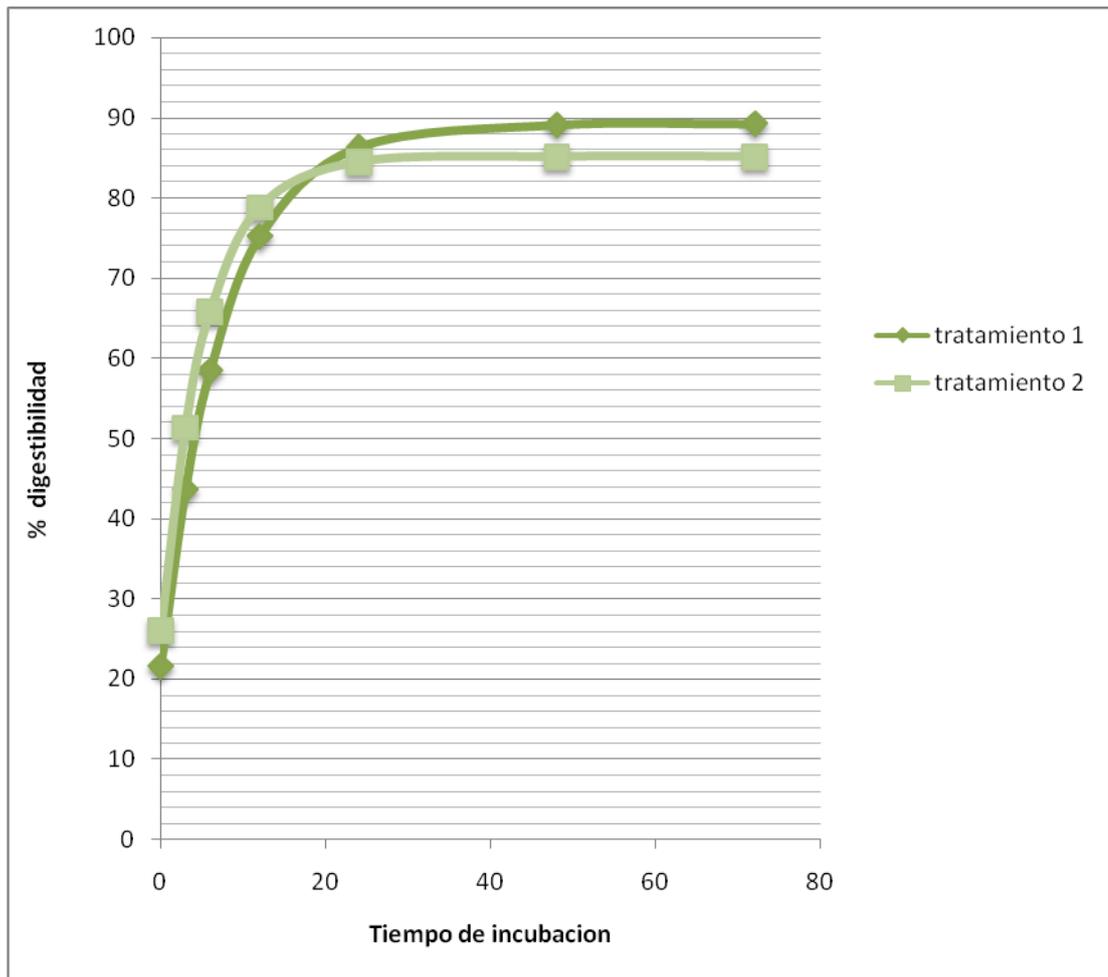


Figura 8. Comparación de la digestibilidad de los valores ajustados para cada tratamiento.

V CONCLUSIONES

La caracterización bromatológica de la inflorescencia del maguey indica que presenta buenas características nutricionales.

La adición de la enzima celulasa a los tratamientos de agave aumenta la digestibilidad ya que hay que mencionar que donde hay una mayor digestibilidad es cuando se combina la inflorescencia del maguey y enzimas.

Por lo que la inflorescencia del maguey tiene el potencial de ser un forraje alternativo para los rumiantes ya que presentan una buena digestibilidad combinándolo con la enzima celulasa.

VI LITERATURA CITADA

- Aguirre R. J. 2001. El Maguey Mezcalero Potosino. Edit. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de San Luís Potosí. Instituto de investigación de Zonas desérticas de la UASLP.
- Almaraz, A. N. 1984. Estudio etnobotánico de los agaves del Altiplano Potosino. Tesis Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México
- Arce C, T. Arbaiza, F. Carcelen y O. Lucas. 2003. Estudio comparativo de la digestibilidad en forrajes mediante dos métodos de laboratorio. Rev. de Investigaciones Veterinarias Perú.
- Arizpe G P. 1975. Digestibilidad del maguey. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. 58 p.
- Belasco, I.J. M.F.Gribbins y D.W. Kolterman, 1958.The response of rumen microorganisms and pasture grasses and prickly pear following foliar application of urea.J. Anim. Science.17: 209.217.
- Besse, J. 1977. La alimentación del Ganado. 2a Edición; Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. pp. 54-61
- Bravo H.H. 1978. Las cactáceas de México. Tomo I. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria México, D.F. PP. 1-19, 62-83, 166-170, 320-322, 334,743.
- Bravo H.H y L. Scheinvar L. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT- Fondo de Cultura Económica. México. D.F. 233 p.p.
- Carrasco, P. 1999. La sociedad mexicana antes de la conquista, en Cosío Villegas, Daniel (coord.), Historia general de México, vol. 1, México, El Colegio de México, p. 180.
- Cronquist, A. 1981.The evolution and classification of flowering plants.Houghtmiffling, Boston.
- Church, C. D., G. W. Pond y R. K. Pond. 2002. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales 2a Edición Editorial Limusa.México DF. Pp.60.
- Damiran, D., T. Delcurto, D.W. Bohnert, G.D. Pulsipher and S. Findholt. 2002. Comparison of techniques and grinding size to estimate digestibility of forage Oregon State University, Union, Oregon Department of Fish & Wildlife, La Grande. Abstracts American Society of Animal Science 80 (Suppl.):19 Abstract.

- De Klerk, J. C. 1960. Spineless Cactus a Succulent Supplementary Feed. Farming in South Africa. South Africa. pp. 36-37.
- De Kock G.C. 2001. The use of opuntia as a fodder source in arid areas of Southern Sudafrica In: Mondragón J., C. y S. Pérez G. (Eds.) Cactus (Opuntia spp.) as forage FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy.
- Etgen, W. y P. M. Reaves 1990. Ganado lechero, alimentación y administración. Editorial Limusa Noriega. México D. F. 613 pp.
- Faro R., S.G. Legarías, J. P y P. Rodríguez. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (Agave spp.) del nororiente del Estado de México. Revista Fitotecnia Mexicana, enero-marzo, 1-12.
- García, M. A. y R. V. Galván. 1994. Riquezas de las familias Agaváceae y Nolinaceae en México. Primer Simposio Internacional Sobre Agaváceas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of the genus Agave (Agavaceae) and its endemic species in Mexico”, en Cactus and Succulent Journal (us), núm. 74, pp. 177-187.
- García-Herrera E., J., Méndez-Gallegos, S., de J. y D. Talavera-Magaña, 2010. El género agave spp. En México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. VIII Simposium- Taller y 1er Internacional “Producción y Aprovechamiento del nopal en el noreste de México” Ed. 5. Pp. 17, 125-127
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. University of Arizona Press; Tucson, Az.
- Giraldo C, Valderrama E, Montoya L, 2006. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) sobre herbivoría de *Attacephalotes* (Hymenoptera: Formicidae). En: Resúmenes IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba.
- Gómez-Pompa, A. 1963. El Genero agave. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 8(1): 3-25.
- Gómez V. A., 2003. Digestibilidad in vitro de dos variedades de Maguey (*Agave salmiana* y *Agave americana*). Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

- González, D. M.E. Ruiz y F. Romero 1990. Recomendaciones sobre la utilización de los métodos in vitro, in situ y enzimático en el estudio de la digestión de alimentos In: Ruiz, A. Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación 1990 p 127-140.
- Gonzales G., S. R. 1994 valor nutricional de dos especies de maguey (Agave salmiana y Agave atrovierenskarw) forrajeras utilizadas en las zonas áridas del norte de México en relación a sus características fenológicas. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 36p
- Granados S., D. 1963. Los agaves en México. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. 1ª ed. México, D.F. p.p. 9-10, 12, 31, 33, 96, 126, 127, 191.
- Gregory. R.A. y P. Felker, 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting Opuntia forage clones. J. Arid Environ. 22:323-331 pp
- Hamilton, J.R. 1992. Planting and cultivating native cactus for cattle feed and wildlife utilization in south Texas. Proc. Third Annual Prickly Pear Council Convention. Kingsville, TX. USA.
- Harrison, D.G. 1948. Subproductos del sisal como alimento para los rumiantes. Revista Mundial de Zootecnia (FAO). 49:25-31.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Anuario estadístico por entidad federativa. Edición 2005. Aguascalientes, Ags. México.
- INIFAP. 2002. Producción para el Establecimiento y Manejo de Maguey en el Altiplano de San Luís Potosí. Tecnología 31.
- López A S, J.M. Pinos-Rodríguez, I.D. Martínez, D.A. Chávez, J.R. Aguirre y M.L. Rodríguez. 2001. In situ digestibility to value ruminal degradability of the maguey (Agave salmiana). En: Memoria de la 5ta Reunión Científica y Tecnológica, Agrícola, Pecuaria y Forestal. S.L.P. P 4-11.
- Mabjeesh, S. J, M. Cohen, and A. Arieli 2000 In vitro Methods Measuring the Dry Matter Digestibility of Ruminant Feedstuffs: Comparison of Methods and Inoculum Source. Department of Animal Sciences, The Faculty of Agricultural, Food, and Environmental quality Sciences J. Dairy Sci 83:2289-2294 2289.
- Marroquín, S.J., G. Borja, C. Velázquez y J.A de la Cruz. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México, INIF, SAG; México.

- Martínez D., I. y D. A. Chávez V 2001. Uso de los residuos de la elaboración del mezcal en la alimentación de borregas. Tesis profesional. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P. Mexico. 49 p.
- Martínez, C.J. 1994. Valor nutricional de dos especies de maguey (*Agave atrovirens* Karw) y (*Agave salmiana*) en el sur del estado de Coahuila. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio narro. Saltillo, Coahuila. México
- Martínez, V.E. y J.A.M Pacheco. 1998 Materiales arqueológicos del noreste de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura en arqueología, de México, ENAH
- Maynard, L. A. y J. K Loosli. 1975. Nutrición Animal. Unión Tipográfica editorial Hispano Americana. México. Pp. 371-373.
- McDonald, P. 1969. Nutrición Animal. Traducido del ingles. Aurora Pérez Torrome. Editorial Aribia Zaragoza, España.
- McDonald, P., R.A Edwards, J.F.D. Grenhalgh. yC.A. Morgan. 1999 Nutrición Animal. Quinta Edición, Editorial Acribia, S. A. Zaragoza España. Pp. 205-209, 211, 215-218.
- Medina G., G., J. A. Ruiz Corral y A. G. Bravo L. 2004. Definición y clasificación de la sequía. En: Bravo L., A. G.; H. Salinas G. y A. F. Rumayor R. (Eds.). Sequía: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el norte centro de México. Libro Técnico No 4. INIFAP-SAGARPA, México.
- Mellado, M., J.E. García y A. Rodríguez. 2007. Agave scabra flowers as a feed resource for goats. Feed Sci. Technol. En prensa.
- Nobel. P. S. 1990. Environmental influences on carbon dioxide uptake by Agaves, CAM plants with high productivities. Econ. Bot. 44: 488-502.
- Ortegón, R. P. F. 1959. Aprovechamiento del maguey en el valle de Toluca. Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 15-18
- Pardo, O. 2002. Etnobotánica de algunas cactáceas y suculentas del Perú.
- Pinos-Rodríguez J M, Aguirre-Rivera J R, García-López J C, Rivera-Miranda M T, González-Muñoz S, López-Aguirre S, Chávez-Villalobos D. 2006. Use of Maguey" (*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick) as forage for ewes. J. Appl. Anim. Res. 30:101-107
- Pinos-Rodríguez, J.M., M. Zamudio and S.S. González. 2008. The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. Soest Africana Journal of Animal Sáciense. 38 (1). Instituto de investigación de Zonas desérticas de la UASLP

- Ramírez R. R.. 2007. La representación popular del maguey y el pulque en las artes. Cuicuilco, Enero-Abril, 115-149.
- Ramos, C. J. R. 2005. Evaluación de dietas integrales con ensilado de maguey (*Agave salmiana*) y alfalfa en cabritas. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P
- Rao. A. V. y B. Venkateswarlu, 1982. Associative symbiosis of *Azospirillum lipoferum* with dicotyledonous succulent plants of Indian desert. *Can J. Microbiol.* 28:778-782 pp.
- Rendon, A. R. 1990. Dos haciendas pulqueras en Tlaxcala, 1857-1884, Tlaxcala, Gobierno del estado de Tlaxcala/Universidad Iberoamericana.
- Revuelta, G. L. 1963. Bromatología Zootécnica y Alimentación Animal. 2ª. Ed. Salvat. Madrid. España. 1044 p.
- Rosero R y S. Posada. 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Rev. Colom de Cien Pecu.*
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de Mexico. Ed.- Limusa. Mexico, D.F.
- Sahagún de, B. 1997. Historia General de las Cosas de la Nueva España. México: Porrúa. 1094 p
- Schneider. B. H and W.P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feeds through Digestibility Experiments, Athens, GA, University of Georgia Press.
- Silos E.H., N. González C., A. Carrillo L., F. Guevara L., M.E. Valverde G. y O. Paredes L. 2005. Composición química de aguamiel y pencas de *Agave salmiana* Gentry. V Congreso del Noroeste, I Nacional, en Ciencias Alimentarias y Biotecnología Centro de las Artes de la Universidad de Sonora Hermosillo.
- Standley, P. 1920. Trees and shrubs of Mexico. In: *Contr. U. S. Nat. herb.* Washington, D. C. government Printing office. 23:87.
- Torres, A. M. 1995. "El maguey" (*agave sp*). Monografía licenciatura. UAAAN, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. pp. 3-26.
- Torres, G, T. Arbaiza, F. Carcelen y F. Lucas. 2009. Comparación de las técnicas in situ, in vitro y enzimática (Celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Rev. Inv. Vet Perú.*

- Urrutia, M.J., L.R. Martínez. Y A.S. Shimada. 1982 Valor nutritivo del rastrojo del maíz y ensilaje de maíz con y sin mazorca con hidróxido de sodio para borregos en crecimiento. Técnicas pecuarias. México. D.F. pp. 7,16.
- Velasco V. V A, L. J. Ruiz, S.K.C. Guzmán, R.M. Jiménez, V.J.R. Enríquez y A.G.V. Campos. 2009. Contenido nutrimental en tres especies de agaves de los valles centrales de Oaxaca. En: Avances en la Ciencia del Suelo. XXXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Unidos por el Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales. Preciado-Rangel P (Ed.) Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Pp. 107-110
- Velázquez, B. J. C. 2004. Valoración nutrimental de la planta completa y de las hojas del desvirado de magueyes (*Agave salmiana* Otto ex. *SalmDyck*) tiernos, quiotillos y castrados. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 24 p.
- Verás, R. M. L. Ferreira, M. de A. Cavalcanti, C. V. de A. Verás, A. S. C. Carvalho, F. F. R. de Santos, G. R. A. dos. Alves, K. S y Maior Júnior, R. J. 2005. Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dietas de ovinos em crescimento. Desempenho. Revista Brasileira de Zootecnia. 34 (1): 249- 256.
- Zamudio, D.M. J.M. Pinos-Rodríguez, S.S. González, P.H. Robinson D, J.C. García, O. Montañés. 2009. Effects of *Agave salmiana* Otto Ex *SalmDyck* silage as forage on ruminal fermentation and growth in goats. ScienceDirect. Animal Feed Science and Technology. Elsevier. 148: 1-11.