

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL**



**DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE CUATRO ESPECIES DEL GENERO  
OPUNTIA DEL SURESTE DE COAHUILA**

**POR**

**LUIS JAVIER ALMAGUER ARREDONDO**

**TESIS**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

Digestibilidad *in vitro* de cuatro especies del genero *Opuntia* del sureste  
de Coahuila

POR

Luis Javier Almaguer Arredondo

TESIS

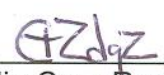
Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

APROBADA POR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Eduardo García Martínez  
Director

  
\_\_\_\_\_  
Alvaro F. Rodríguez Rivera  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
MC. Camelia Cruz Rodríguez  
Asesor

El Coordinador de la División de Ciencia Animal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ramiro López Trujillo



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2014

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme dado la vida y estar siempre a mi lado y dándome fuerza y paciencia para seguir adelante a pesar de grandes dificultades que he pasado, siempre me guía con su mano firme y sabiduría.

A mi **“Alma Mater”** por haberme cobijado entre sus alas y permitir que realizara mis estudios profesionales.

A mi **esposa Viviana Leticia Sánchez Ibarra**: Por haberme apoyado en todo momento brindándome su amor, confianza, paciencia y comprensión.

A mis **padres Juan Francisco Almaguer Medellín y Josefina Arredondo Silva**: Por su cariño, consejos y apoyo incondicional.

A mis **tíos José Nieves Almaguer Medellín y Rocío Aranda de Alba**: Por su gran apoyo, generosidad, paciencia y confianza durante mi trayectoria universitaria.

Al **Dr. Eduardo García Martínez** Por su gran apoyo, paciencia y por compartirme de sus conocimientos para lograr culminar este proyecto.

A la **Mc. Camelia Cruz Rodríguez**. Por haberme apoyado en este proyecto y por darme siempre ánimo para culminarlo.

A mis **amigos y compañeros de generación**. Que compartieron su etapa de universitarios conmigo y que me brindaron su amistad y apoyo.

A **todos mis profesores**. Quienes aportaron de sus excelentes conocimientos para mi formación académica.

**A TODOS MIL GRACIAS.**

## **DEDICATORIA**

**A mi esposa:**

**Viviana Sánchez Ibarra**

Soy consciente de todo el sacrificio que has hecho para apoyarme en la culminación de mis estudios, agradezco todos los momentos lindos que me das, y por todo el amor que compartes conmigo.

**A mi hija:**

**Sthepanye Sulamy Almaguer Sánchez**

Por ser el motor que me da fuerza para seguir adelante, Hija mía mi vida es para ti, tuyo es mi espacio, mi tiempo, tu, la dicha más grande que Dios me ha dado, sin duda, por ti hemos logrado finalizar este proyecto.

**A mi papa y mama:**

**Sr. Juan Francisco Almaguer M.**

**Sra. Josefina Arredondo Silva.**

Por ser el pilar fundamental en mi vida, por todo su esfuerzo y sacrificio, lo que hizo posible el triunfo profesional alcanzado. Para ellos mi AMOR, OBEDIENCIA Y RESPETO.

Gracias por su apoyo, orientación que me han dado, por iluminar mi camino y darme la pauta para poder realizar mis estudios y mi vida. Agradezco los consejos sabios que en el momento exacto han sabido darme, para no dejar caer y enfrentar los momentos más difíciles, por ayudarme a tomar las decisiones que me han ayudado a balancear mi vida y sobre todo gracias por el amor tan grande que me dan.

## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscriptor, Luis Javier Almaguer Arredondo, estudiante de la carrera Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 283093 y autor de la presente tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente tesis han sido debidamente citadas reconociendo al autor de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco las responsabilidades sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos 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 por la siguiente Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por tanto eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi Comité de Asesoría y acepto que cualquier responsabilidad es únicamente parte mía.



---

Luis Javier Almaguer Arredondo  
Tesista de licenciatura/UAAAN

## RESÚMEN

Las condiciones ambientales y las variables fisiológicas se asocian con un amplio rango de ecosistemas semiáridos con flora y fauna diversos en el Norte de México, donde *Opuntia* es abundante y está ampliamente distribuida en comunidades específicas llamadas nopaleras localizadas en el desierto Chihuahuense y sonoreense.

En la actualidad las *Opuntias* son de gran importancia ya que son una alternativa como alimento de emergencia para el ganado en periodos de sequias pero en ocasiones el mal uso de este recurso ha provocado que desaparezcan grandes extensiones nopaleras en el norte y centro de México.

El presente trabajo se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y orgánica de 4 especies de *Opuntia*, cosechadas en los meses de junio y julio, colectadas en el Ejido "Las Mangas" localizado al sur de Saltillo, Coahuila. La especie que obtuvo mejor resultado tanto en DIVMS como DIVMO fue la *O. ficus indica* con una media de 46.10% y 85.16% respectivamente, en seguida la *O. imbricata* que obtuvo valores semejantes. Para el resto de las especies se pudo observar diferencias mayores, otros autores que realizaron sus estudios en las mismas especies concluyeron que *opuntia ficus indica* es la especie con mayor digestibilidad tanto para MS como para MO (RDTAA, 2013; Aguilar, 2010; Vazquez *et al.*, 2007; Granda, 2004; Gopar, 2001).

**Palabras Clave: Digestibilidad, Nopal, forraje, calidad.**

## ÍNDICE

| <b>Contenido</b>                                | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| AGRADECIMIENTOS                                 | iii           |
| DEDICATORIAS                                    | vi            |
| MANIFIESTO                                      | v             |
| RESUMEN   | vi            |
| ÍNDICE GENERAL                                  | vii           |
| ÍNDICE DE CUADROS                               | viii          |
| ÍNDICE DE FIGURAS                               | ix            |
| INTRODUCCIÓN                                    | 1             |
| Objetivo  | 2             |
| Hipótesis                                       | 2             |
| REVISIÓN DE LITERATURA                          | 3             |
| Antecedentes                                    | 3             |
| Clasificación Taxonómica                        | 5             |
| Características Taxonómicas                     | 6             |
| Origen y Distribución Mundial                   | 6             |
| Distribución del Nopal en México                | 8             |
| Distribución del Nopal en el Estado de Coahuila | 12            |
| Principales Especies de Opuntias en México      | 13            |

|  |    |
|--|----|
| Uso del Nopal                                      | 14 |
| Principales Especies Forrajeras del Genero Opuntia | 16 |
| Contenido Nutricional del Nopal Forrajero          | 19 |
| Digestibilidad                                     | 20 |
| Métodos de Digestibilidad                          | 23 |
| Digestibilidad <i>in vivo</i>                      | 23 |
| Digestibilidad <i>in vitro</i>                     | 24 |
| Digestibilidad <i>in situ</i>                      | 25 |
| Estudios de Digestibilidad realizados en Nopal     | 26 |
| MATERIALES Y MÉTODOS                               | 34 |
| Descripción del Área Experimental                  | 34 |
| Preparación del sustrato                           | 34 |
| Procedimiento experimental                         | 35 |
| Obtención del inóculo                              | 35 |
| Análisis estadístico                               | 36 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN                             | 37 |
| CONCLUSIÓN   | 39 |
| LITERATURA CITADA                                  | 40 |



## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> |  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| 2.1           | Principales Especies de <i>Opuntia</i> en México   | 14            |
| 2.2           | Análisis Bromatológico de Géneros, Especies y Variedades de <i>Opuntia</i>   | 19            |
| 2.3           | Digestibilidad <i>in vitro</i> promedio (DIV), energía digestible estimada (ED), nutrientes digestibles totales (NDT) y composición química de frutos y cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> | 30            |
| 2.4           | digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca (%) en rumen de corderos, en dietas con nopal deshidratado o fresco   | 31            |
| 2.5           | Porcentajes de digestibilidad <i>in vitro</i> de las especies utilizadas   | 31            |
| 4.1           | Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca y Materia Orgánica de las Especies del Genero <i>Opuntia</i>   | 37            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 2.1           | Distribución Geográfica de Nopal en el Mundo          | 7             |
| 2.2           | Principales Estados Productores de Nopalito en México | 12            |

## INTRODUCCIÓN

En el norte de México se encuentran ubicadas dos grandes extensiones consideradas como las más áridas, conocidas como el desierto Chihuahuense y el desierto Sonorense, que ocupan aproximadamente el 50% del territorio nacional. Estas áreas se caracterizan por la sobreutilización y mal manejo de los recursos existente en estos lugares donde las principales actividades son la cría de ganado bovino, ovino, caprino, equino y fauna silvestre en forma incipiente, la cosecha de algunas plantas y productos que se extraen de ellas. La mala utilización de recursos existentes en estas regiones ha originado que gran parte de ellos se estén deteriorando cada vez más, casi incapaz de producir, sujetos a la erosión acelerada acompañada de especies indeseables presentando en general baja productividad potencial del sistema (Cantú, 1984). Aunque el nopal es un cultivo rústico que crece en suelos pobres y de poca precipitación pluvial, requiere de técnicas agronómicas para su mejor aprovechamiento.

Los ganaderos se han visto en la necesidad de utilizar la penca de nopal como alimento de emergencia para el ganado, dando a los ecosistemas nopáleros naturales una explotación inadecuada, con lo cual, a través del tiempo se han ido generado grandes áreas deforestadas que han perdido casi totalmente su potencial productivo. Por esta razón es necesario manejar correctamente las poblaciones naturales de nopal, con el fin de conservarlas y obtener una mejor producción. La calidad del nopal se considera de regular a mala; sin embargo, los altos precios de otros forrajes de mayor calidad, y la disponibilidad de estos en épocas de sequía hacen que la demanda del nopal crezca año con año. (Marroquín, 1964; López, 1977).

Por estas razones es necesario desarrollar técnicas de manejo para el nopal lo cual lo haga más atractivo para el consumo animal.

## **OBJETIVO**

El objetivo del siguiente trabajo es conocer la digestibilidad *in vitro* de cuatro especies del género *Opuntia*, cosechadas durante los meses de junio y julio, en el sureste de Coahuila determinando la materia orgánica y la materia seca.

## **HIPOTESIS**

Existen diferencias de digestibilidad *in vitro* entre las diferentes especies del género *Opuntia* del sureste de Coahuila, estudiadas.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Antecedentes

El interés del ser humano por los nopales se registra desde hace miles de años. Su origen e historia están correspondidos con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en específica con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que empezaron su cultivo de modo formal (Pimienta, 1990).

Se cree que en la llegada de Cristóbal Colón en su muestrario de plantas y flores del nuevo mundo incluía nopales y algunas cactáceas. (Velásquez, 1998). Cuando Hernán Cortés llegó al Valle de México en 1519, no pudo menos que asombrarse ante los *nopalli* (término náhuatl que significa nopal) y las tunas (*nochtli*), sus atractivos y deliciosos frutos.

Los cronistas de la época, entre ellos Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, uno de los primeros narradores peninsulares, ellos relatan en 1535 en su Historia General y Natural de las Indias, como al acercarse la época de la fructificación de los nopales, los pobladores se alimentaban de las tunas. Sin duda los nopales influyeron en el asentamiento de tribus errantes que concurrían en la época de la fructificación a las zonas habitadas por estas plantas y acababan por fijar ahí su residencia (Bravo-Hollins, 2002).

Los antiguos relatos hacen mención de la gran variedad de nopales que se encontraban disponibles, además, menciona de un insecto que se alimentaba de las pencas de nopal y que produce hasta hoy en día uno de los más preciados pigmentos colorantes de la grana cochinilla carmín, esta dejó grandes ganancias por muchos años a los colonizadores.

Fray Bernardino de Sagahún ilustra en su Historia General de la Nueva España estos modos de consumo del nopal: explicando que había unos árboles en la tierra llamados *nopalli*, quiere decir nopal, o árbol que lleva tunas, es monstruoso este árbol, el tronco se compone de las hojas y las ramas se hacen de las mismas hojas; las hojas son anchas y gruesas, tiene mucho zumo y son viscosas; tienen espinas las mismas hojas. La fruta que en estos árboles se hace, se llama tunas, son de buen comer; es fruta preciada; Las hojas de este árbol se comen crudas y cocidas. En unos árboles de estos se dan tunas, que son amarillas por dentro, otros las dan coloradas por dentro, o rosadas, y éstas son de muy buen comer; otros árboles de estos hay que tienen en las hojas vetas coloradas, y las tunas que se hacen de estas son por fuera y por dentro moradas (Velásquez, 1998).

Por su parte, una ordenanza de Felipe III en 1620, señala que, uno de los más preciados frutos que se cría en nuestras Indias Occidentales es la grana o cochinilla, mercadería igual con el oro y la plata (Velásquez, 1998). La utilización agroindustrial del nopal medicinal también se hizo notar desde un principio, atribuyéndosele cualidades diversas como anti-inflamatorias, diuréticas y antiespasmódico, entre otras; actualmente, en este ámbito, se llevan a cabo variadas e interesantes investigaciones.

En Tamaulipas y Tehuacán se encontró en excavaciones la evidencia del conocimiento y uso del nopal por los primeros pobladores mexicanos, Puebla, donde se encontraron fosilizadas semillas y cáscaras de tuna, así como

fibras de pencas de nopal, de una antigüedad de siete mil años (Flores-Valdez, 2003).

### **Clasificación Taxonómica**

Distintos autores presentan variaciones en la colocación taxonómica de los nopales dentro de la familia Cactaceae; Según la clasificación propuesta por Grin, (2005) o sea la consideración de los nopales bajo el género *Opuntia*.

El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia (Scheinvar, 1999).

La siguiente clasificación taxonómica es la más aceptada en la actualidad y fue establecida por Britton Rose según Bravo (1978).

REINO: Vegetal.  
SUB REINO: Embryophita.  
DIVISIÓN: Angiospermae.  
CLASE: Dicotyledonea.  
SUBCLASE: Dialipetalas.  
FAMILIA: Cactaceae.  
SUBFAMILIA: Opuntioideae.  
TRIBU: Opuntiae.  
GÉNERO: Opuntia.

## Características Taxonómicas

**Familia Cactaceae.** Esta familia se divide en 120 géneros, en tres tribus, Perestieae, Opuntieae y Cereae. Esta familia comprende unos 100 géneros y 1000 o más especies, casi en todos los países Americanos y particularmente en México y América central están presentes (Bravo, 1978).

**Subfamilia Opuntioideae.** Son suculentos con tallos aplanados y articulados, hojas pequeñas y caducas (Bravo, 1978).

**Genero Opuntia.** Son plantas arborescentes arbustivas o rastreras, simples o cespitosas con troncos bien definidos, ramosos, tienen raíz fibrosa y leñosa, espinas cilíndricas y aplanadas; Este género se divide en dos subgéneros 1) *Cylindropuntia* (cladodios cilíndricos) ramas delgadas llamadas tasajo o tasajillo se utiliza para la fabricación de cestos. 2) *Platyopuntia* (artículos planos) tiene condiciones sexuales dioica y hermafrodita, es muy diversificada en México y está presente en toda la vegetación de las zonas áridas y semiáridas abarca desde las especies cultivadas para consumo humano, silvestres y forrajeras (Bravo, 1978).

## Origen y Distribución Mundial

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre.

Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó por toda la cuenca del Mediterráneo. Probablemente los primeros nopales fueron cultivados cerca de Sevilla o Cádiz, puntos terminales de los viajes a las Indias (Barbera, 1999).

Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres (Figura 2. 1). En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat.



**Figura 2.1 Distribución geográfica del nopal en el mundo. (Fuente: Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO no. 162 “Utilización Agroindustrial del Nopal”, Roma, 2006).**



Estas especies toman diferentes nombres de acuerdo a los países en los que se encuentran. El nombre propio original de la tuna en la lengua náhuatl es *nochtli*. No obstante, los españoles rebautizaron al nopal con el nombre de chumbera y la fruta como higo de Indias, o en la actualidad, higo chumbo. En Italia se conoce como *fico d'India*, en Francia le llaman *figue de Barbarie*; en Estados Unidos de América y Sudáfrica *prickly pear*, (nombre que está evolucionando actualmente a *Cactus pear*, a fin de eliminar el término considerado algo peyorativo de *prickly* [espinoso]); en Israel se conoce como *sabras*, que significa espinoso por fuera pero dulce por dentro. En Eritrea y Etiopía son llamados *beles*. En la India se conocen, según las lenguas locales como *nagphani*, *anda torra* o *chapathi balli*. En Brasil, como *palma forrageira*, ya que se cultiva principalmente para la producción de forraje.

### **Distribución del Nopal en México**

En México las cactáceas forman parte del grupo de plantas de mayor importancia y diversidad (Hernández y Godínez, 1994; Godínez y Ortega, 2007; Rojas y Arias, 2007); y dentro de esta familia el género de mayor importancia biológica, cultural, económica y social es el *Opuntia* (Puente, 1992; Hernández y Godínez, 1994; González *et al.*, 2001; Mondragón y Pérez, 2003; Aguilar *et al.*, 2004; Reyes *et al.*, 2005<sup>a</sup>, 2009).

Las especies del género *Opuntia* habitualmente crecen en las planicies áridas del centro y norte de México en diferentes climas más sin embargo, es en las zonas semiáridas donde existe la más amplia variación, por lo que algunos botánicos mencionan a éstas como el centro de origen de los nopales. Habitan en bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo y bosque espinoso, paredes de cañadas, pastizal, vegetación secundaria, cerca de cultivos de maíz y vegetación sabanoide (González *et al.*, 2001).

En México se llama nopal a varias especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae, todas ellas endémicas en América. De sus 377 especies reconocidas, 104 se encuentran silvestres en México y de éstas 60 son endémicas (Velázquez, 1998). La importancia del nopal como forraje en el siglo XIX fue reflejo de la necesidad de alimentación del ganado en zonas áridas del país, y en aquellas donde los periodos de sequía son muy prolongados, constituyendo el nopal un excelente alimento para el ganado (Flores y Aguirre, 1979).

En México el nopal (*Opuntia* spp) se encuentra en todo el país desde las regiones más altas como las sierras madre oriental y occidental hasta el nivel del mar, así como en las altiplanicies del centro y norte donde se encuentran nopaleras importantes por su diversidad, densidad y tamaño (López, 1999).

Los estados de norte son los de la mayor importancia pecuaria, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas y San Luis quienes cuentan con importantes especies forrajeras, de estos los que sobre salen son los estados de zacatecas, San Luis y Durango que cuentan con una densidad de 600 plantas por hectárea (Flores y Aguirre 1992).

Marroquín *et al.* (1964) realizó un estudio dasonómico de las zonas áridas del norte de México, donde describe una forma convencional de tres zonas nopaleras de territorio centro- norte del país.

**Zona Potosino - Zacateco.** Lo compone la parte de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato en estos predominan matorrales craticales principalmente *Opuntia strettacantla*, *O. leucotricha*, *O. robusta* y *O. imbicata*.

**Zona del Norte de México.** Este abarca la zona norte de Tamaulipas y noreste de Nuevo León igual se compone de mezquites- nopales – pastizales, las especies principales son *O. lindboingry* y *O. gngelmannii*.

**Zona Nopalera Difusa.** Es la de mayor superficie pero con menor densidad que las anteriores, se compone desde las calizas de san Luis potosí, Zacatecas, Nuevo León hasta Coahuila y praderas áridas de Durango y chihuahua. En esta zona se encuentran matorrales desérticos microfilos y matorrales desérticos rastofilos, se localizan nopales *Opuntia cantabrigiensis* *O. rastrera* *O. macrocentra* y *O. microdasys*.

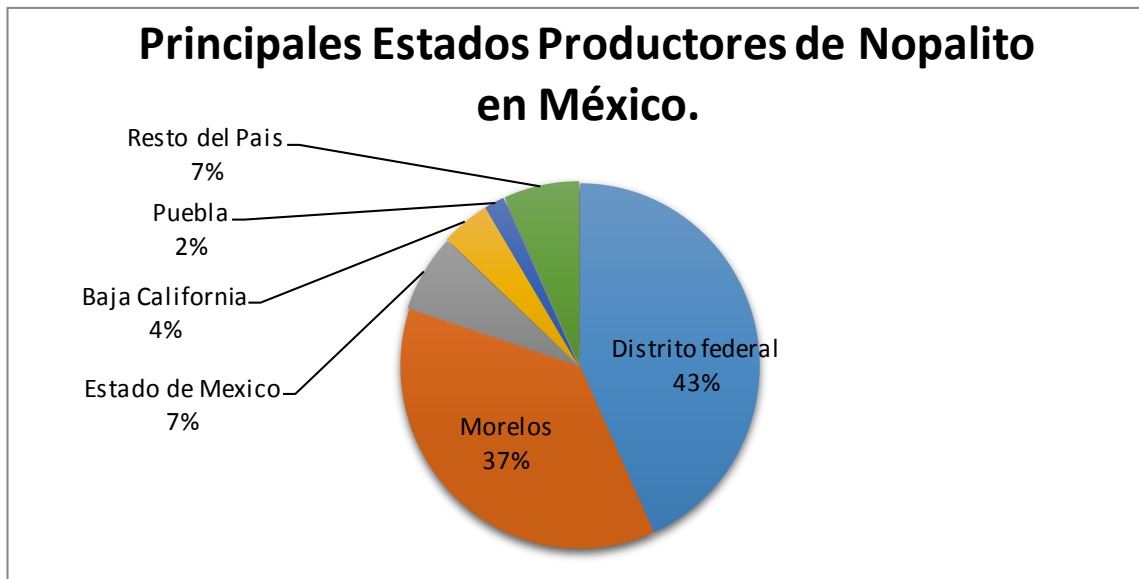
Carranza (2001), indica que el 15.84% de la superficie total del centro y norte de México está ocupada de nopal para forraje donde justifican su uso por ser un forraje fresco, succulento, de buena palatabilidad y susceptible de explotarse durante todo el año.

La producción de nopalito se obtiene durante casi todo el año, aunque se limita en invierno, ya que las heladas pueden dañar el cultivo. Sobre todo tomando en cuenta que un 75% de la Superficie y un 84% de la producción se realizan bajo condiciones de temporal. La mayor cantidad de producción se obtiene durante la época de mayor humedad y temperatura, de mayo a septiembre. Sin embargo, el restante 25% de la superficie y 16% de la producción cuentan con tecnificación de riego, por lo que durante los meses invernales es posible encontrar nopal verdura, además de que en algunas entidades el invierno no es tan riguroso, lo que permite la cosecha.

Los nopalitos cubrieron en el año 2010, en México, una superficie sembrada de 12,500 hectáreas y una superficie cosechada de 12,071 hectáreas. La superficie ha crecido en poco más de 40% entre el año 2000-2010. La superficie siniestrada en ese periodo fue en promedio de 2.1% de la superficie sembrada, lo cual refleja las cualidades resistentes de este cultivo a las condiciones climáticas.

Por su parte, el rendimiento promedio a nivel nacional pasó de 47.2 ton/ha en el año 2000 a 63.4 en el año 2009, lo que significó un crecimiento de 16.2 ton/ha en diez años. En el año 2010 el rendimiento promedio bajó un 5.7%, alcanzando 59.8 ton/ha. El rendimiento más alto en la producción de nopalito lo alcanzó el estado de Morelos, el segundo productor nacional, con casi 100 ton/ha en el año 2009, esto es un 60% más que el rendimiento promedio nacional. En tanto que el Distrito Federal, que es el primer productor nacional de nopalito, alcanzó un rendimiento de 74.3 ton/ha, ocupando así el cuarto lugar en esta variable, después de Hidalgo y Puebla, que alcanzaron ese año rendimientos de 78.3 y 76.0 ton/ha, respectivamente (DGAPEAS, 2010).

Como se ilustra en la figura 2.2 el Distrito Federal y Morelos son los dos principales productores de nopalito en México. En el año 2009, el Distrito Federal produjo 322 mil toneladas, el 43% de volumen total, con un valor de 775 millones de pesos, poco más de la mitad del valor generado por este cultivo a nivel nacional. En tanto, Morelos produjo en el mismo año 274 mil toneladas, el 37% de volumen nacional, con un valor de 304 millones de pesos, poco más del 20% del valor total. Otras entidades, cuya producción de nopalito es importante, son: Estado de México, Baja California y Puebla, que representan en conjunto el 13 % del volumen.



**Figura 2.2. Principales Estados Productores de Nopalito en México**  
**Fuente: Con base en datos de SIAP- SAGARPA.**

#### Distribución del Nopal en el Estado de Coahuila

De las 104 especies que se reconocen para México, 37 taxas se encuentran en Coahuila comprendido por 25 especies y 12 variedades (Bravo 1978; Elizondo *et al.*, 1987).

López *et al.* (1996) menciona que de las especies que se reportan para Coahuila, cinco especies y sus variedades se consideran como forrajes.

Descripción dasonómica de las especies forrajeras en el estado de Coahuila según López *et al.* (1996).

En el oriente del Estado: *Opuntia lidheimeri* (nopal cacanao) esta especie tiene cuatro variedades; var. *lidheimeri*, var. *asiculata*, var. *subarmata*, var. *tricolor*, esta región es una de las más húmedas, con precipitaciones de mayor a 400 mm. Por año y una altitud menor de los 1000.

En el occidente del Estado: *O. fhaeacantha* (nopal rastrero) cuenta con cinco variedades, var *major*, var, *phaeacantha*, var. *discata*, var. *sinisibaca*, var. *nigricans*, es la región más desértica con una precipitación menor a los 200 mm por año y con una altitud de los 500 y 1700 m.

Para la región sureste del Estado: *O. cantabrigiensis* o nopal cuijo *O. engelmannii* o nopal rastrero. Con precipitación a 200 y 400 mm. Por año, y una altitud de 1500 a 2500 Mts.

Distribuida ampliamente en todo el estado: *O. imbricata* conocido como Coyonoxtle o Choya, esta es una indicadora del mal manejo de los agostaderos. Esta se usa solo en épocas críticas.

### **Principales Especies de *Opuntia* en México**

Para la clasificación de las opuntias se utilizó el catálogo de Guzmán *et al.* (2003) que consigna el registro de 83 especies de *Opuntia* para México. Se excluyeron las especies de *Opuntia* que ya están reconocidas en el género *Nopalea* (*N. auberi*, *N. cochenillifera*, *N. dejecta*, *N. inaperta*, *N. karwiskiana* y *N. lutea*) (Puente, 2006); se omitió *O. ficus-indica*, que es de origen antropogénico y de distribución muy influida por humanos (Reyes *et al.*, 2005a), por lo que de las 76 especies restantes sólo se analiza la distribución de 60 especies que fueron las contenidas en BDI.

**Cuadro 2.1. Principales Especies de *Opuntia* en México (Reyes et al., 2005a).**

| <b>Especie</b>                         | <b>Acrónimo</b> | <b>Especie</b>                           | <b>Acrónimo</b> |
|--|-----------------|--|-----------------|
| <i>O. atrispina</i> Griffiths          | Atri            | <i>O. littoralis</i> (Engelm.) Cockerell | Lito            |
| <i>O. atropes</i> Rose                 | Atro            | <i>O. macrocentra</i> Engelm.            | Macro           |
| <i>O. azurea</i> Rose                  | Azu             | <i>O. macrorhiza</i> Engelm.             | Marhi           |
| <i>O. basilaris</i> Engelm. & Bigelow  | Basi            | <i>O. megacantha</i> Salm-Dick           | Mega            |
| <i>O. bensonii</i> H. Sánchez-Mejorada | Benso           | <i>O. megarhiza</i> Rose                 | Merhi           |
| <i>O. bravoana</i> Baxter              | Bravo           | <i>O. microdasys</i> Lehm.               | Micro           |
| <i>O. cantabrigensis</i> Lynch.        | Canta           | <i>O. nejobensis</i> Bravo               | Neja            |
| <i>O. chaffeyi</i> Britton & Rose      | Chafe           | <i>O. neochrysacantha</i> Bravo          | Neocry          |
| <i>O. chlorotica</i>                   | Chloro          | <i>O. orbiculata</i> Salm-               | Orbi            |
| Engelm. & J.M. Bigelow                 |                 | Dick                                     |                 |
| <i>O. cochineria</i> Griffiths         | Cochi           | <i>O. oricola</i> Philbrick              | Orico           |
| <i>O. decumbens</i> Salm-Dick          | Decum           | <i>O. parviclada</i>                     | Parvi           |

### **Usos del Nopal**

En la actualidad los usos del nopal tanto en el consumo humano, en el área farmacéutica, cosméticos y consumo animal han ido incrementando debido a sus valiosas cualidades nutricionales, La tecnología ha permitido al ser humano aprovechar cada parte que compone al nopal dándole diferente giro a cada una de ellas, de las pencas o cladodios se obtienen harinas o polvos de nopal cuyo destino es variado. Es aprovechado como un ingrediente de las industrias de complementos alimenticios y farmacéutica, donde realmente tiene un uso más conocido que en la industria de alimentos. Su utilización y propiedades como ingrediente en productos medicinales se están estudiando con grandes avances científicamente y en forma amplia, sólo en los últimos tiempos. El consumo de tabletas y cápsulas de nopal en polvo, en harinas, en licuados y en otras formas, con fines medicinales, es bien aceptado y buscado por los consumidores, por la tradición con que se asocia el nopal a ciertos poderes curativos, conocidos y heredados a través de la medicina popular. Esas propiedades podrían ser definitivamente confirmadas con los estudios

científicos que se están efectuando actualmente al respecto. Ligados en cierta manera a este rubro, se encuentran los productos conocidos como nutracéuticos, conjunción entre alimentos y medicamentos, conocidos también como alimentos funcionales: son alimentos de los cuales los consumidores esperan un beneficio para la salud, más allá de la mera nutrición. Entre ellos se encuentran algunos productos recientemente introducidos en el mercado mexicano, que contienen fibra de nopal y otras fibras vegetales, como la proveniente de *Psyllium plantago* y se comercializan para dietas líquidas, mezclados con agua y también para tratamientos clínicos que requieren alimentación por sonda.

De las pencas se pueden extraer también mucílagos purificados, los que se encuentran en mayor proporción en esta parte de la planta que en las cáscaras. Estos compuestos presentan interés tanto en la industria de alimentos como en la gastronómica, como estabilizante de espumas y emulsiones en general, ya sean no alcohólicas o lácteas (Garti, 1999). Su potencial como emulsificante no ha sido aún bien explorado.

Un rubro distinto a los señalados hasta ahora y en el que tradicionalmente han tenido cabida diversos tipos de especies vegetales, es la industria cosmética: a ciertas plantas se asocian propiedades benéficas para la piel o el cabello tal como ocurre con el nopal, en México hay varias empresas y una gran cantidad de productos elaborados por esta industria, a partir del nopal por ejemplo, cremas, lociones, geles, shampoos. En todos ellos se utiliza el nopal como uno de sus ingredientes; sin embargo, como señalan Corrales y Flores (2003) su uso no está muy difundido y por ello estas industrias no tienen capacidad de absorber grandes cantidades de nopal.

Dentro del sector del turismo suele existir creciente interés por los artículos típicos de los distintos países; por ejemplo, la industria de artesanías, que con la penca lignificada confecciona canastos y otros objetos.



Un sector alejado de los señalados anteriormente, pero no por ello de menor interés, es el de la construcción. Últimamente está siendo estudiada la acción anticorrosiva del mucílago y también se han continuado los estudios acerca de la utilidad que prestan las pencas como adherentes de pinturas y clarificantes de agua <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0534s/a0534s00.pdf>

### **Principales Especies Forrajeras del Genero *Opuntia***

El nopal forrajero es una planta muy atractiva como alimento para el ganado, particularmente por su alta eficiencia al convertir agua en biomasa, y por su contenido de energía digestible. El nopal forrajero es útil no sólo porque sobrevive a las sequías, sino también porque es más eficiente que muchas gramíneas o pastos forrajeros de hoja ancha.

La riqueza de *Opuntia* para México varía ampliamente, debido, según los autores, a su complejidad taxonómica, evolución convergente en caracteres vegetativos, hibridación, poliploidia, síndromes de polinización y procesos de domesticación (Bravo, 1978; Cota y Wallance, 1996; Rebman y Pinkava, 2001; Reyes *et al.*, 2006).

El género *Opuntia* en México está presente en cinco subgéneros, diecisiete series y ciento cuatro especies, de las cuales: quince se utilizan para forraje, cinco para fruta y dos para verdura (Bravo, 1978). Existen tres regiones cubiertas con *Opuntias* en el Norte de México (Marroquin *et al.*, 1964).

López y Elizondo (1990), establecieron cuatro regiones nopaleras en el país: zona centro-sur, zona del altiplano, zona norte y zona costera del Golfo de México; mismas que son explotadas para forraje y fruto o ambas.

Distribución del nopal forrajero según Elizondo *et al.* (1987) Es la siguiente:

***O. leucotricha.***

Esta especie está distribuida en la región del altiplano. Está siendo afectada por el continuo crecimiento de áreas destinadas a maíz y frijol.

***O. streptacantha.***

Esta especie se encuentra en mayor proporción en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, y en menor cantidad en los estados de Aguascalientes, Durango, Jalisco y Guanajuato. Sin embargo en la región del altiplano esta especie se encuentra amenazada por sus condiciones de sequía.

***O. robusta.***

La especie crece en asociación con *O. leucotricha* y *O. streptacantha*. Se distribuye ampliamente en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes y Jalisco, igual que las dos antes mencionadas está siendo afectada posiblemente por la misma problemática de deforestación y desertificación.

***O. cantabrigiensis.***

Se encuentra ampliamente distribuida en los estados de Nuevo León, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo, Aguascalientes, Durango, Jalisco, Querétaro y Guanajuato. Se usa principalmente para alimentar caprinos.

***O. rastrea.***

Se distribuye en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Aguascalientes. Crece bien en diferentes tipos de suelos de la zona y está siendo utilizada para el consumo de vacas lecheras.

***O. lindheimeri.***

Se extiende sobre los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Esta especie tiene cuatro variedades importantes, todas ampliamente apreciadas como forraje: *aciculata*, *major*, *phaeacantha*, *lindheimeri*, *subarmata* y *tricolor*.

***O. engelmannii.***

Se encuentra al noreste de Zacatecas y al suroeste de Coahuila y es utilizado para alimentar cabras y ovejas principalmente.

***O. imbricata.***

También conocido como nopal coyonoxtle, xoconoxtle, cardenche o choya. Exhibe una gran variabilidad y se encuentra ampliamente distribuido en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Chihuahua, Aguascalientes, Durango, Jalisco y Guanajuato. Es una planta invasora típica de pastizales con manejo deficiente. Usado como forraje de cabras y ovejas después de chamuscar las espinas.

***O. microdasys.***

Es usado como forraje bajo condiciones de sequía extrema en la parte sur de Coahuila, norte de San Luis Potosí y Zacatecas.

***O. violacea (nopal morado).***

Se establece en suelos profundos arcillosos de Chihuahua, Noroeste de Coahuila y este de Durango reconocido precisamente por el color morado de sus cladodios. Su Calidad para el uso forrajero es pobre.

## Contenido Nutricional del Nopal Forrajero

El nopal forrajero posee pocas cualidades nutritivas, por lo cual mayormente se recurre a esta cactácea en la alimentación del ganado en épocas de estiaje. Aunque si bien, el mayor consumo del nopal es por el hombre, utilizando los cladodios como verdura y consume su fruto (tuna) (González *et al.*, 2001). En el cuadro 2.2 se muestran diferentes opuntias y su contenido nutricional.

**Cuadro 2.2 Análisis bromatológico de géneros, especies y variedades de *Opuntia*.**

| Especie                | MS    | MO    | PC   | GC   | Fibra | Ceniza | ELN   | Autor                  |
|------------------------|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|------------------------|
| Rastrera               | 14.41 | 59.89 | 2.78 | 0.76 | 6.18  | 40.11  | 43.23 | Palomo, 1963           |
| <i>cantabrigiensis</i> | 11.86 | 68.46 | 4.78 | 1.09 | 3.71  | 31.54  | 58.87 | Palomo, 1963           |
| Lindelhimeri           | 11.57 | 74.51 | 4.15 | 1.03 | 3.02  | 25.5   | 66.25 | Palomo, 1963           |
| <i>Robusta</i>         | 10.38 | 81.41 | 4.43 | 1.73 | 17.63 | 18.59  | 57.61 | Palomo, 1963           |
| <i>ficus-indica</i>    | 11.29 | 86.93 | 3.81 | 1.38 | 7.62  | 13.07  | 74.13 | Bauer y Flores, 1969   |
| <i>Nopalea spp</i>     | 10.69 | 73.79 | 8.98 | 1.51 | 17.21 | 26.21  | 50.7  | Griffiths y Hare, 1906 |

Se observa que *Nopalea spp* posee los contenidos más altos de PC (8.98%) en comparación con *ficus-indica* (3.81%). No obstante, esta última posee mayor cantidad de MS (11.29%), MO (86.93%) y ELN (74.13%) que *Nopalea spp*. La calidad del nopal como forraje es comparada con los demás forrajes sin embargo, se considera su consumo solo para su mantenimiento (Vázquez *et al.*, 2007). La calidad del nopal forrajero difiere entre las especies, pero en promedio se puede indicar que el contenido de MO es 84%, la digestibilidad de la MO es de 78.9%, PC oscila entre 4.1 y 14%, la fibra detergente neutro es del 23.8%, la fibra detergente ácido de 14.7% y el contenido de MS es del 9.1% (Guevara *et al.*, 2003; Fuentes, 2003). De acuerdo con Gutiérrez (2007), los valores de proteína y energía del nopal hace necesario, para mantener la productividad de los animales, utilizarlo como

complemento alimenticio dentro de la ración de los animales, más no como forraje único.

En la actualidad, la sequía recurrente asociada con la escasez de otros alimentos para el consumo animal, ha incrementado la demanda de forraje de *Opuntia*. Sin embargo, la productividad de las cactáceas es relativamente baja e inestable; es un cultivo muy dependiente del clima y de las condiciones de manejo y sus rendimientos varían de 25 a 125 ton/ha dependiendo de la especie, el vigor de las plantas, el clima, la fertilidad del suelo y el sistema de manejo. A partir de estos rendimientos, se asume que el 75-80% de la masa aérea es usualmente cosechada para la alimentación del ganado (Mondragón, 1999). Existen varios sistemas de producción de nopal, que van desde replantación de nopaleras silvestres hasta producción intensiva; existen programas gubernamentales que promueven el desarrollo del cultivo de nopalera severamente deterioradas, los cuales han fallado, debido a la complejidad de los sistemas de producción implicados: las plantaciones son usualmente establecidas en tierras marginales y con un manejo deficiente. Factores estos que contribuyeron en el fracaso de estos programas (López, 1977; Medina, *et al.*, 1990).

En la producción animal el uso del nopal históricamente ha reportado grandes ganancias en tanto en la producción como en el costo de la alimentación (López, *et al.*, 2001; Martínez y Lara, 2003). Estos elementos hacen del nopal un alimento alternativo en la producción animal (Flores 1977).

### **Digestibilidad**

La digestibilidad es la base de las metodologías de evaluación de los alimentos, por definición, es la fracción de alimento consumido que no aparece en las heces y por lo tanto se absorbe en el tracto gastrointestinal (Stein *et al.*,

2007). La digestibilidad sirve como una medida para determinar la calidad de la dieta y de las materias primas utilizadas en ella, la disponibilidad de los nutrientes que las constituyen, la importancia que tienen estos en la salud de los animales, su desempeño y las características de las heces, además sirve como soporte para el cálculo de los requerimientos nutricionales (Harmon, 2007).

Para calcular la digestibilidad de un alimento, es necesario tener en cuenta varios aspectos que pueden afectar los resultados, como por ejemplo, la especie vegetal o animal a la que pertenece el ingrediente, el procesamiento, la interacción entre los nutrientes de la dieta o ingrediente, el método analítico utilizado para determinar los valores de digestibilidad, así como también los factores ambientales y propios del individuo (Adesogan *et al.*, 1998; Calabro *et al.*, 2006; Julliand *et al.*, 2006).

Al no considerar los aspectos anteriormente citados se puede subvalorar o sobrevalorar el valor nutritivo de un ingrediente y así cometer errores al balancear la dieta, con efecto directo sobre la salud y el desempeño de los animales que la consumen (Bauer *et al.*, 2001; Secombe y Lester, 2012). Algunos ingredientes con baja digestibilidad afectan el consumo de alimento, principalmente si se usan de manera inadecuada, comprometen el rendimiento de los animales por desequilibrio en el aprovechamiento de nutrientes contenidos en el alimento (Correa *et al.*, 2010; Secombe y Lester, 2012), pero usados de manera adecuada, como las dietas ricas en fibra, favorecen la pérdida de peso de animales obesos o con problemas de saciedad, sin afectar negativamente la digestibilidad de los demás nutrientes (Weber *et al.*, 2007).

La individualidad de cada animal afecta la digestibilidad de los nutrientes, es el caso del tiempo de duración del alimento en el tracto gastrointestinal, pues en ocasiones, el tránsito es muy rápido para que se pueda realizar una acción digestiva completa, o es muy lento y puede conllevar a procesos de

fermentación excesiva que se manifiestan en alteraciones gastrointestinales (Maynard, 1986); por lo tanto, se debe evitar el uso en la determinación de la digestibilidad de animales con dichos problemas, o la utilización de dietas desbalanceadas que los puedan generar, ya que se corre el riesgo de realizar una estimación errónea de la digestibilidad del nutriente, de la materia prima o la dieta (Nieves *et al.*, 2008; Castrillo *et al.*, 2009).

Debido a la importancia de la digestibilidad en la nutrición, se desarrollaron diversos métodos para evaluar un ingrediente en particular o una dieta balanceada en todos los nutrientes que la constituyen, el nivel de aprovechamiento y su efecto en el desempeño y en la salud del animal (Secombe y Lester, 2012).

La calidad de un alimento no puede predecirse solamente a partir de su composición química. La digestibilidad, absorción y utilización (biodisponibilidad) son también parámetros importantes a considerar (Marable y Sanzone, 1981). Entre estos parámetros la digestibilidad es el determinante primario de la disponibilidad de un alimento (Hsu *et al.*, 1977) ya que para estar biodisponible tiene que ser degradado primeramente por las enzimas digestivas del tracto gastrointestinal (Darcy, 1985). Se ha desarrollado un gran número de experimentos in vivo para medir la digestibilidad tanto ileal como fecal en una gran variedad de alimentos. Estos experimentos han mostrado una gran variación no solo entre diferentes tipos de alimentos, sino también entre diferentes muestras de un mismo alimento (Sauer y Ozimek, 1986). La pobre reproducibilidad en estos ensayos está dada por la influencia en los resultados de la edad y las características propias de cada animal, condiciones en que vive, composición del alimento, entre otros.

## **Métodos de Digestibilidad**

La nutrición es uno de los campos más estudiados en la medicina veterinaria, no solamente en animales de abasto, sino también en animales de compañía; por tal motivo, es de gran importancia conocer la calidad y qué tan digestibles son las materias primas con las cuales se fabrican los alimentos balanceados, ya que de estas depende en gran medida el rendimiento y el bienestar para los animales. Por definición, la digestibilidad es la fracción de alimento consumido que no aparece en las heces y por lo tanto se absorbe en el tracto gastrointestinal; aunque se diferencian la digestibilidad aparente y la verdadera, la primera no incluye los aportes metabólicos y endógenos provenientes de enzimas, células epiteliales, células microbiales, metabolitos, entre otros, que llegan a la luz intestinal y son excretados en las heces, mientras que en la digestibilidad verdadera estas fracciones de origen metabólico y endógeno se descuentan de la fracción excretada en las heces para la realización de los cálculos. Para determinar el coeficiente de digestibilidad de un nutriente en un alimento existen métodos *in vivo* directos como la recolección total de heces, indirectos cuando se usan indicadores; métodos *in situ* como la canulación ileal y finalmente los métodos *in vitro* en los cuales se usan enzimas y técnicas de fermentación. Los diferentes métodos varían en precisión y mecanismos empleados para determinar los coeficientes de digestibilidad.

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

Esta técnica consiste en alojar los animales en jaulas metabólicas adoptadas con separadores de heces en bolsas y separadores de orinas. Antes de iniciar la prueba los animales se deben desparasitar, el periodo preexperimental deberá ser entre 7 y 12 días, cuyo objetivo es adaptar a los



animales al confinamiento, dieta y poder desalojar los residuos de alimento ajenos a la dieta a evaluar (Church y Pond, 1998).

Los animales deberán pesarse al empezar y finalizar la prueba, la colocación deberá iniciarse dos días después de iniciada la colección de residuos de alimento y continuarse por dos días más, después de finalizada la colección de la misma. Los residuos de alimento deberán pesarse diariamente y en una sub muestra determinar la materia seca. La misma que puede utilizarse para pruebas posteriores (Rodríguez y Llamas, 1990).

La evaluación *in vivo* de la biodisponibilidad de los aminoácidos por el análisis del contenido intestinal lleva a resultados difíciles de interpretar, porque los productos de digestión son rápidamente absorbidos por el intestino y contaminados por fuentes de proteínas endógenas que son digeridas y absorbidas a velocidades posiblemente diferentes a las de las proteínas de la dieta. Además, estos métodos son lentos y costosos y requieren la presencia del animal, grandes cantidades de dietas y una infraestructura adecuada (Gauthier *et al.*, 1986).

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

Se han desarrollado numerosos métodos enzimáticos y microbiológicos de determinación de la digestibilidad *in vitro*. En estos ensayos es prácticamente imposible reproducir exactamente el proceso *in vivo* de la digestión, porque es necesario tener en cuenta las condiciones particulares que prevalecen en el organismo que pueden influir en la naturaleza de los productos de la digestión (Gauthier *et al.*, 1986), que a veces no están bien definidas.

El método de digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo en dos etapas, en la primera de ellas realiza una fermentación en un sistema cerrado, en la cual los productos de la fermentación no son removidos. El proceso de fermentación lo realizan los microorganismos que se añaden al líquido ruminal utilizado como inóculo. Sin embargo, en estas condiciones la fermentación no refleja de ninguna manera lo que sucede realmente en el rumen, por ser este un sistema abierto de condiciones muy especiales por lo que es incorrecto el término de “rumen artificial” para describir esta técnica. Con el fin de mantener el pH, óptimo en la primera etapa (rango 6.7 a 7.0), y crearles las condiciones adecuadas a las bacterias ruminales especialmente las celulolíticas, se proporciona una solución amortiguadora del pH, que simula la savia del rumen del rumiante en la segunda etapa de la técnica se realiza una digestión con pepsina, en un medio ácido añadiendo HCL, se elimina la proteína microbiana existente dejando únicamente la materia seca no digerida, compara lo que sucede en el abomaso (Illamas y tejada, 1990).

Se recomienda además el uso de pequeños volúmenes de muestra, pues así se minimizan el espacio y las cantidades de enzimas requeridas. Además, se sugiere moler las muestras a tamaño de partícula inferior a 3 mm para una predicción razonable de la digestibilidad *in vivo* especialmente en el caso de muestras de baja digestibilidad inicial y de textura gruesa (Furuya *et al.*, 1979).

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

La digestibilidad *in situ* es el método más simple, no es lo más recomendado y debe cuidarse que los animales no sobrepastoren en las plantas. El método más común es cortar y alimentar en el interior. Los cladodios pueden ser ensilados y se utilizan cuando es necesario, siendo más económico almacenar los cladodios como partes de plantas vivas en lugar de ensilar o secar. Jiménez-Sierra, (2011) ha señalado que las cactáceas son elementos

importantes en la estructura y la dinámica de las comunidades de las zonas semidesérticas y su desaparición conlleva a un proceso de empobrecimiento biológico y a la pérdida de recursos útiles para las poblaciones humanas, siendo el ganado una amenaza directa cuando se utilizan las cactáceas como forraje vivo.

En esta técnica se necesitan bolsas de nylon con porosidad similar a la de los tejidos corporales para permitir el paso del líquido ruminal, las bolsas deben tener un tamaño que puede contener de 2 a 5 g de muestra, la digestión se lleva a cabo en el rumen con la participación de microorganismos ruminales en su propio ecosistema. Las muestras a evaluar se colocan dentro de las bolsas y la desaparición se mide en intervalos periódicos, hasta un tiempo aproximado de 96 horas. Los resultados se ajustan a modelos de degradación ruminal proteica, estos generalmente consideran la presencia de una fracción de proteína soluble (fracción A) una fracción que se degrada con una velocidad (tasa) determinada (fracción B), y una fracción indispensable para el animal (fracción C) en base a los resultados, se puede determinar la degradación ruminal efectiva de una proteína (llamas y tejado, 1990).

### **Estudios de Digestibilidad Realizados en Nopal**

Se menciona que la actividad enzimática y la digestibilidad dependen del tipo y origen de la propia enzima, del sustrato en que actúe (Nsereko *et al.*, 2000; Ramírez Cancino *et al.*, 2005), y del pH, reportándose que la máxima actividad de xilanasas y celulasas se observa a un pH de 6 a 6,5 (Morgavi *et al.*, 2000), aunque pH bajos pueden no afectar su actividad (Rode *et al.*, 1999), y la digestibilidad puede ser reflejo del sinergismo entre las enzimas exógenas y los tipos de microorganismos ruminales presentes (Colombatto *et al.*, 2003; Ramírez Cancino *et al.*, 2005).

Las enzimas fibrolíticas generalmente aumentan la degradación de la pared celular, al liberar compuestos fenólicos que producen una barrera a la degradación bacteriana, observándose este efecto más en la velocidad que en el potencial de degradación del forraje (Wang *et al.*, 2004).

Algunos autores han encontrado que la adición de enzimas fibrolíticas, en diferentes forrajes, tiene un efecto similar al observado en el presente estudio, al elevarse la concentración total de AGV, sin embargo, la concentración de AGV solo es una medida que indica el balance entre producción y absorción de los mismos (Lewis *et al.*, 1996; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2002a); asimismo se ha reportado que la concentración de NH<sub>3</sub>, en forrajes adicionados con Fibrozyme, se mantiene constante hasta por 24 horas (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2002b).

Es importante conocer la digestibilidad del nopal forrajero (*Opuntia* spp.) para su utilización como una fuente de alimentación para el ganado, ya que permite conocer la cantidad de alimento que es digerida por el animal. Existen diferentes métodos para la estimación de la digestibilidad de los alimentos, una de las más utilizadas es la bolsa de nylon, que consiste en colocar una muestra de alimento en bolsas hechas de material indigestible (nylon, dacrón o seda) en el rumen de animales fistulados por diferentes períodos de tiempo y se mide por la pérdida de materia seca o contenido de nutrientes después de un período específico de incubación. Inicialmente esta técnica fue utilizada por Quin *et al.* (1938) citado por Romero (1990); usando bolsas cilíndricas de seda muy fina para medir la cantidad de alimento digerido en el rumen de ovejas. Posteriormente, la seda fue reemplazada por materiales sintéticos totalmente resistentes a la degradación ruminal; así Schoeman *et al.* (1972), citado por Hernández (1995) utilizaron bolsas de poliéster, y Meherz y Orskov, (1977) sugirieron la utilización de bolsas de nylon, que junto con las de dacrón, son las más utilizadas actualmente.

La sustitución de harina de maíz por *Opuntia ficus-indica* L. Miller, en la alimentación de cabras, reduce el contenido de extracto etéreo de la dieta con influencias en la calidad fisicoquímica de la leche de cabra, llevando a una disminución en la grasa, sólidos totales, ácidos grasos mono insaturados y deseable concentración de ácidos grasos (Costa *et al.*, 2010). Aranda-Osorio y Flores-Valdez, (2011) compilaron información que muestra que la inclusión de nopal en dietas animales tiene un efecto directo en la calidad nutritiva de la carne desde la perspectiva de su composición de ácidos grasos, sin afectar su palatabilidad.

Existen otras especies que han sido utilizadas para alimentar ganado caprino, bovino, ovino, porcino y en la cría de conejos y aves de corral (Reveles-Hernández *et al.*, 2010). El uso del cactus *columnar stenocereus griseus* como forraje en la cría de cabras es muy utilizado por la comunidad indígena Wayúu en la Guajira, Caribe colombiano. El contenido acuoso-oleífero del parénquima de *stenocereus griseus* se deja expuesto al animal, después de hacer una incisión a la epidermis para que se abastezca de alimento y se hidrate (Villalobos *et al.*, 2007). Existe un primer registro (mediante observación directa) de herbivoría por guanaco (*Lama guanicoe*) sobre *Tephrocactus alexanderi* (Britton y Rose) Backeberg, especie endémica del desierto del Monte en la Provincia de San Juan en Argentina (Gurvich, 2010).

La inclusión de cladodios de nopal en dietas de ovinos en cantidades de 15 y 30 %, sin afectar el desarrollo de los animales, permite la reducción de los costos del alimento en aproximadamente 48 y 65 %, respectivamente (Aranda-Osorio *et al.*, 2008). De manera similar, Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) en un estudio con inclusión de cactus fresco, y también deshidratado, en cantidades de 17 % versus una dieta control, determinaron que no hubo diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en cuanto al desarrollo de los ovinos, y el análisis económico mostró un incremento en la ganancia neta de 25 y 37 % para dietas con cactus fresco y deshidratado, respectivamente.

González *et al.* (1998) reportó que la producción de leche de vacas Holstein decreció con el incremento de *Opuntia* en la dieta, por lo que recomiendan usarlo solamente del 20 al 30% en base seca y suplementar con heno de alfalfa, avena o sorgo para obtener un balance positivo entre los costos de producción y las ganancias. Por último, en los agostaderos del Norte de México se ha proporcionado nopal forrajero al ganado tanto en pastoreo, como en estabulación; sobre todo cuando el nopal es el único forraje disponible para alimentar al ganado, convirtiéndose en alimento de subsistencia.

Ortiz *et al.* (2011a) reportaron en la leche proveniente de vacas complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) un registro de 1.6 UFC/ml (log10) de bacterias mesófilas aerobias (BMA), en comparación con 3.7 UFC/ml (log10) de BMA encontradas en leche cruda proveniente de vacas sin complementación de nopal en la dieta y establecen que la PL, con el uso de *Opuntia- ficus-indica* durante la época de estiaje, se incrementó en 2.840 lts/vaca/día en promedio ( $P > 0.05$ ), respecto a la PL obtenida en época de lluvias.

Terblanche, *et al.* (1971) analizaron el efecto de una dieta basada exclusivamente en *Opuntia* sobre el peso de borregos Merino usando nopal fresco (10% de MS), seco (27% de MS) y cladodios deshidratados (87.9% de MS). Encontrado una mayor expresión en el peso vivo de los borregos cuando fueron sometidos a una alimentación exclusiva con cladodios. Por otra parte, en un estudio realizado por Fuentes (1991), en siete sitios de Coahuila, con 685 animales en libre pastoreo y suplementados con rastrojo de maíz, melaza y urea fueron alimentados con 10 a 20 kg de nopal chamuscado. La ganancia diaria de peso varió de 0.1 a 0.6 kg. *Opuntia* proveyó 7.8% de la energía total de mantenimiento, 20.6% de la proteína, 50% del fósforo y 100% de los requerimientos del calcio recomendados por el NRC (1984).

En el cuadro 2.3 mencionado por RDTAA (2013), en donde evaluaron la especie *O. ficus indica* en diferentes edades del vegetal se puede corroborar que entre más edad del vegetal va perdiendo digestibilidad, energía digestible, nutrientes digestibles totales y proteína cruda. En cuanto a fibra cruda se observa mayor porcentaje en caudillos viejos 10.72% y para energía libre de nitrógeno en caudillos jóvenes se obtuvo el mayor porcentaje 72.15%.

Cuadro 2.3: Digestibilidad *in vitro* promedio (DIV), energía digestible estimada (ED), nutrientes digestibles totales (NDT) y composición química de frutos y cladodios de *Opuntia ficus-indica*. Fuente: RDTAA, 2003.

| MS %                 | DIVMS % MS | ED MJ/kg MS | NDT% MS            | PC % MS            | FC % MS | ELN% MS |
|----------------------|------------|-------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Frutos               | 82.92a     | 15.57a      | 77.78 <sup>a</sup> | 13.10 <sup>a</sup> | 10.39   | 65.78   |
| Cladodios jóvenes    | 77.88b     | 13.98b      | 73.48b             | 13.42 <sup>a</sup> | 7.96    | 66.78   |
| Cladodios edad media | 71.14c     | 13.14c      | 67.63c             | 10.76b             | 8.03    | 72.15   |
| Cladodios viejos     | 69.64c     | 12.99c      | 66.32c             | 9.15b              | 10.72   | 70.85   |

Claves: MS = materia seca; DIVD = digestibilidad *in vitro* de MS; ED = energía digestible; NDT = nutrientes digestibles totales; PC = proteína cruda; CF = fibra cruda; ELN = extracto libre de nitrógeno. Notas: Letras diferentes indican significancia ( $p < 0.05$ ).

Aguilar (2010), realizó un estudio donde evaluó la digestibilidad *in situ* del nopal (*O. ficus indica*) deshidratado y fresco (cuadro 2.4) se observa que la mayor digestibilidad se logró a las 72 horas de incubación en el nopal fresco con una media de 90.5% menciona que esto pudo deberse a la interacción energía:proteína donde la energía digestible del nopal, es normalmente mayor (2000 K Cal/Kg de MS) que otros forrajes, proporcionando un ambiente ruminal adecuado para la acción de los microorganismos y de esta forma incrementa el grado de digestibilidad.

Cuadro 2.4. Digestibilidad *in situ* de la materia seca (%) en rumen de corderos, en dietas con nopal deshidratado o fresco.

| Tiempo<br>(Horas) | Tratamiento |                    |              |
|-------------------|-------------|--------------------|--------------|
|                   | Testigos    | Nopal deshidratado | Nopal fresco |
| 0                 | 12.3 a      | 13.9 a             | 6.8 b        |
| 6                 | 42.0 a      | 29.8 b             | 26.9 b       |
| 12                | 58.3 a      | 42.8 b             | 36.9 b       |
| 24                | 71.9        | 64.2               | 64.1         |
| 48                | 80.7ab      | 80.5 b             | 86.7 a       |
| 72                | 84.1 c      | 87.5 b             | 90.5 a       |

Gopar (2001), evaluó la DIVMS y DIVMO de algunas especies del género *Opuntia* donde no tuvo una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre especies (Cuadro 2.5) pero encontró una diferencia numérica donde se observa la menor digestibilidad para *O. lindhermeri* var. *tricolor* de DIVMS y DIVMO (52.9% y 46.6% respectivamente), hace mención que este resultado puede deberse a la cantidad más alta de FC y MO entre las especies y la mayor DIVMS y DIVMO la obtuvo *Opuntia indica* (58.7 y 69.63% correspondientemente).

Cuadro 2.5. Porcentajes de digestibilidad *in vitro* de las especies utilizadas.

| Concepto | <i>O. ficus indica</i> | <i>O. imbricata</i> | <i>O. lindhermeri</i> |                      | <i>O. catabrigiensis</i> |
|----------|------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
|          |                        |                     | Var. <i>subarmata</i> | Var. <i>tricolor</i> |                          |
| DIVMO    | 58.8                   | 55.44               | 53.02                 | 46.6                 | 53.45                    |
| DIVMS    | 63.49                  | 60.83               | 56.99                 | 52.9                 | 54.74                    |

DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

DIVMO=Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.



Vázquez *et al.* (2007) Realizaron un estudio de digestibilidad de materia seca y materia orgánica en el que concluyen que *O. ficus-indica* posee una media más alta en digestibilidad de la materia orgánica con 86.93% seguida de *O. robusta* con una media de 81.41% y el resto de las especies estudiadas como son la *O. rastrera*, *O. catabrigiensis*, *O. lindelimeri*, y *Nopalea* spp con una media de 69.16%. Para digestibilidad de materia seca las especies que obtuvieron la media más alta es la *O. rastrera* con 14.41% seguido de *O. catabrigiensis* con una media de 11.86% y para el resto de las especies *O. lindelimeri*, *O. robusta*, *O. ficus indica* y *Nopalera* spp tomaron una media de 10.98% de digestibilidad de la materia seca. También menciona que la calidad del nopal como forraje es comparada con los demás forrajes sin embargo, se considera su consumo solo para su mantenimiento.

García *et al.* (1999) en un estudio realizado por el método *in vitro* a diferentes variedades de nopal, encontraron que la digestibilidad de la materia seca variaba de 72.5 a 92.9%. Murillo *et al.* (2000), en estudios realizados para determinar la digestibilidad *in situ* en tres especies de nopal encontró valores de 90% para el genotipo AN-TV6, 82% para AN-FV1 y 70% para el ecotipo liebres. McDonald *et al.* (1975), mencionan que a mayor tiempo que permanezca un alimento en el tracto digestivo mayor es la digestibilidad.

Ramírez *et al.* (2000) realizaron un estudio sobre nopal *Opuntia engelmannii* en las 4 estaciones del año, evaluando la digestibilidad de la materia orgánica en las que obtuvieron para verano 79.1%, otoño 76%, invierno 74.9% y primavera 74.9%.

Hernández (2011), al evaluar la digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia lindheimeri*) a diferentes tiempos de incubación concluyó al comparar los tiempos de incubación que en 72 y 48 horas no presentan diferencia significativa con 89.11 y 86.62% respectivamente siendo así que a 72 horas es el mejor tiempo de incubación para la DIVMS, pero para el resto de los tiempos

(24, 12, 6, 3 y 0 horas) si tuvieron diferencia significativa para cada uno de los tiempos de incubación ( $P \leq 0.05$ ).

Granada 2004, en un análisis de DIVMS de cinco especies de *Opuntia* (*O. ficus indica*, *O. imbricata*, *O. lindhermeri* var. *subarmata* var. *tricolor* y *O. catabrigiensis*) encontró que *Opuntia ficus indica* tuvo el mayor coeficiente de digestibilidad con 63,99% en contraste de *O. lindhermeri* en su variedad *tricolor* que obtuvo el menor coeficiente con 55.32% y para DIVMO concluyó nuevamente que la *Opuntia ficus indica* obtuvo el mayor porcentaje con 65.96% y el menor *O. lindhermeri* en su variedad *tricolor* con 51.74% .

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del Área de Estudio**

El material utilizado para este trabajo fue colectado en el Ejido “Las Mangas” localizado al sur de Saltillo, Coahuila.

El análisis de digestibilidad *in vitro* se efectuó en el laboratorio de Nutrición y en la Unidad Metabólica del Departamento de Nutrición Animal de la misma Universidad ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, estado de Coahuila. Los cuales se encuentran en las coordenadas, 25° 22' Latitud Norte y 101° 00' Longitud Oeste. Con una altitud de 1742 msnm. Teniendo una temperatura media anual de 19.8° C y una precipitación total media anual de 298.5 mm. Cuenta con un tipo de clima designado BWhw (x')(e); clima muy seco, semicálido, con invierno fresco y extremoso con lluvias de verano y precipitación invernal superior de 10% del total anual. Con humedad relativa que alcanza es del 80% en los meses lluviosos y el 30% en los periodos seco, como promedio (Mendoza, 1983).

### **Preparación del Sustrato**

El material biológico fue seleccionado sobre la base de las variedades del género *Opuntia* mayormente distribuidas y más utilizadas como forraje por los ganaderos del Municipio de Saltillo. Las especies que fueron utilizadas son: 1) *Opuntia imbricata* (Haworth), 2) *Opuntia ficus-indica* (Linné), 3) *Opuntia*

*cantabrigiensis* (Lynch), 4) *Opuntia lindheimeri* variedad *tricolor* (Griffiths) y 5) *Opuntia lindheimeri* Engelmann variedad *subarmata* (Griffiths).

Se seleccionaron tres plantas de cada especie a las cuales se les cortaron pencas (cladodios) cada dos semanas durante los meses de Junio y Julio. Se picaron en trozos para secarse parcialmente en estufa a 65 ° C. Las muestras de cada planta se agruparon, de manera que se tuvieron tres repeticiones de cada especie. Fueron molidas para posteriormente ser analizadas en el laboratorio.

### **Procedimiento Experimental**

Se utilizó la técnica de digestibilidad *in vitro* descrita por Tilley y Terry (1963) de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO), la cual consiste en someter una muestra de forraje a una fermentación anaeróbica con líquido ruminal y posteriormente a una digestión con pepina acida. La primera digestión equivale a la digestión en el rumen-retículo y la segunda digestión a la que se efectúa en el abomaso.

### **Obtención del Inóculo**

El líquido ruminal fue obtenido de un novillo fistulado que fue alimentado con una dieta a base de heno de alfalfa y nopal chamuscado. Al animal donador se le restringió el acceso al alimento y agua 18 horas antes de la extracción del líquido ruminal con el fin de evitar la dilución del mismo (Llamas y Tejada, 1990). Esta técnica fue realizada de acuerdo a lo señalado por Tilley y Terry (1963).

## **Análisis Estadístico**

Los resultados de DIVMS y DIVMO fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (especie del genero *Opuntia*) y tres repeticiones (plantas).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En el cuadro 4.1 se presenta la comparación de las especies estudiadas mismas que presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ). Para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se observa que *ficus indica* obtuvo el mayor porcentaje de digestibilidad (46.10%) seguida de la especie *imbricata* con una media de 41.32 y para la *cantabrigiensis* y *lindheimeri* en su variedad *subarmata* y *tricolor* alcanzaron una media de 33.44% de digestibilidad, colocando a la especie *ficus indica* en la especie con mayor digestibilidad de la materia seca.

En el mismo cuadro podemos apreciar los resultados para digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica en el que se muestra 85.16% para *ficus indica*, 82.93% para la especie *imbricata* y para el resto de las especies estudiadas una media de 81.60% de digestibilidad. Dejando a *O. ficus indica* como la especie con mayor digestibilidad de la materia orgánica.

Cuadro 4.1. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica de las especies del genero *Opuntia* estudiadas.

| %     | <i>Opuntia ficus-indica</i> | <i>Opuntia imbricata</i> | <i>Opuntia cantabrigiensis</i> | <i>Opuntia lindheimeri</i> |                    |
|-------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
|       |                             |                          |                                | <i>subarmata</i>           | <i>tricolor</i>    |
| DIVMS | 46.10 <sup>a</sup>          | 41.32 <sup>b</sup>       | 32.75 <sup>c</sup>             | 34.12 <sup>c</sup>         | 33.45 <sup>c</sup> |
| DIVMO | 85.16 <sup>a</sup>          | 82.93 <sup>b</sup>       | 81.23 <sup>b</sup>             | 82.40 <sup>b</sup>         | 81.19 <sup>b</sup> |

\*Medias con diferente literal dentro de hilera no son iguales ( $P < 0.05$ )

Trabajos de otros autores (RDTAA, 2013; Aguilar, 2010; Vazquez et al., 2007; Granda, 2004; Gopar, 2001) corroboran los resultados obtenidos en el presente estudio, coincidiendo en que una de las especies con mayor digestibilidad es *O. ficus-indica*. Aunque los porcentajes reportados difieren debido a que los cladodios fueron cosechados en diferentes épocas del año o determinados por medio de diferentes técnicas.

Para materia seca, RDTAA (2013) reporta coeficientes de digestibilidad de 69.64 a 77.88 % trabajando con *O. ficus-indica* mediante la técnica *in vitro*, mientras que Aguilar (2010) trabajando con la misma especie pero mediante la técnica *in situ*, reporta valores superiores que van de 80.5 a 87.5 % para la materia seca y de 86.7 a 90.5% para la materia orgánica.

Por otro lado, Gopar (2001) trabajando con las mismas especies que se estudiaron en el presente trabajo y con la misma técnica, pero en la estación de primavera, reporta valores muy semejantes aunque superiores para materia seca y materia orgánica. Coincidiendo en que la mayor digestibilidad de la materia seca la presenta *O. ficus-indica* con 58.8% seguida de *O. imbricata* con 55.44% y con el menor coeficiente *O. cantabrigensis* y *O. lindeimeri* en sus variedades *subarmata* y *tricolor*, con una media de 50.02%. y una tendencia muy semejante para la materia orgánica, ya que dicho autor reporta como mayor digestibilidad a *O. ficus-indica* con 63.49 seguida de *O. imbricata* con 60.83 y finalmente con una media de 54.87% para *O. cantabrigensis* y *O. lindeimeri* en sus variedades *subarmata* y *tricolor*.

Granda (2004) también trabajó con las mismas especies de este género, obteniendo resultados muy semejantes a los del presente estudio, ya que también reporta mayor digestibilidad para MS Y MO a *O. ficus-indica* (63.99% y 65.96% respectivamente) y como menor a *O. lindeimeri* variedad *tricolor* (55.32% y 51.74%)

## CONCLUSIONES

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



## LITERATURA CITADA

- Adesogan, A.T.; Owen, E.; Givens, D.I 1998. Prediction of the in vivo digestibility of whole crop wheat from in vitro digestibility, chemical composition, in situ rumen degradability, in vitro gas production and near infrared reflectance spectroscopy. *Animal feed science and technology*, v.74, n.3, p.259-272,
- Aguilar E. M. L.; C. Pérez Olvera y S. Pérez Olvera. 2004. La flora del escudo nacional mexicano. *Polibotánica*. 18: 53-73.
- Aguilar M. I. Y. 2010. Tesis respuesta productiva y calidad de carne de corderos suplementados con nopal fresco y deshidratado, colegio de posgrados institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Aguilar-Yáñez, M.I.; Hernández-Mendo, O.; Guerrero-Legarreta, I.; Ramírez-Briebesca, J.E.; Aranda-Osorio, G. and Crosby-Galvan, M.M. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13:23-35.
- Akeson, W.R. y Stahman, M.A. 1964. A pepsin, pancreatin digest index of protein quality evaluation. *Journal of Nutrition*, 83:257-261.
- Aranda-Osorio, Gilberto; Flores-Valdez, Claudio A.; Cruz-Miranda, F. Macário. 2008. Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 10:49-55.
- Barbera, G. 1999. Historia e importancia económica y agroecológica. pp.1-12. In: G. Barbera, P. Inglese y E. Pimienta, eds. *Agroecología, cultivo y usos del nopal*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, 132. Roma.
- Bauer, E.; William, B.A.; Voigt, C. *et al.* 2001. Microbial activities of faeces from unweaned and adult pigs, in relation to selected fermentable carbohydrates. *Animal science*, v.73, p.313- 322.

- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. 1: 1-743. Univ. Nac. Autónoma de México. ----- 1991. Id. Vol. 3: 1-643.
- Bravo H., H. y H. R. Sánchez M. 1978. Las cactáceas de México. Volumen I. 2ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 743 p.
- Bravo, H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 1, 2da.
- Bravo-Hollins, H. 2002. Pencas de antano. *In: El Nopal. Artes de Mexico* 59: 8-15.
- Calabro, S.; Carone, F.; Cutrignelli, M.I. et al. 2006. The effect of haymaking on the neutral detergent soluble fraction of two intercropped forages cut at different growth stages. *Italian journal of animal sciences*, v.5, n.4, p.327-339.
- Cantú, M., 1984. Efecto de la salinidad en la producción de materia seca y absorción nutrimental de plantas micro propagadas de nopal (*Opuntia* spp). M. C. Tesis. Ciencias Forestales. Chapingo, México.
- Carranza, S. J. A. 2001. Caracterización morfológica del cladodios de *Opuntia* spp. Del campo experimental de la URUZA. U. A. Ch. Tesis profesional. Chapingo. Mex. Pp 82.
- Castrillo, C.; Hervera, M.; Baucells, M.D. 2009..Methods for predicting the energy value of pet foods. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, supl.,p.1-14.
- Church D.C. y W.E Pond. 1998. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Editorial LIMUSA.
- Colombatto, D.; Morgavi, D.P.; Furtado, A.F.; Beauchemin, K.A. 2000. Screening of exogenous enzymes for ruminant diets: relationships between biochemical characteristics and in vitro ruminal degradation. *Journal of Animal Science*, v.81, p.2628-2638,.
- Corrales, J. y Flores, C. A. 1996. The current status in Mexico of the many products being derived from cactus and tuna fruit. 7th Annual International Symposium, Texas Prickly Pear Council, Texas A&M University, Kingsville, Texas, Estados Unidos de America.

- Correa, G.V.; de-Oliveira, F.M.; Charleaux, N. et al. 2010. Zeólitas e *Yucca schidigera* em rações para cães: palatabilidade, digestibilidade e redução de odores fecais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, n.39, n.11, p.2442-2446.
- Cota S., J.H. y R.S. Wallace. 1996. La citología y la sistemática molecular en la familia Cactaceae. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 41: 27-46.
- Elizondo, E. J., J.J. López y G. J. Dueñez A. 1987. El género *Opuntia* (Tournefort) Miller y su distribución en el estado de Coahuila. 2a. Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Instituto de Biología. UNAM. México.
- Elizondo, J.L. Wenbe, J.A. 1987. Una nueva variedad de *OPUNTIA Lindhermeri* Engelm. *En:cact.Suc. Mex.*3216-18.
- Flores V., C.A.; y J.R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje segunda edición. Dirección del patronato Universitario, dirección de difusión cultural. Chapingo Texcoco México.
- Flores, V.C.A. 1977. El nopal como forraje. Tesis profesional UACH, México. 179 pp.
- Fuentes, R.J. M. 1991. A survey of the feeding practices, costs and production of dairy and beef cattle in northern México. *In: Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council*. Kingsville, TX.
- Furuya, S., Sakamoto, K. y Takahashi, S. 1979. A new in vitro method for the estimation of digestibility using the intestinal fluid of the pig. *British Journal of Nutrition*, 41:511-520.
- García, U. G., O. G. Aranda y C. A. Flores. 1999. Digestibilidad *in vitro* de algunos cultivares de nopal. *Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. San Luis Potosí, México. pp 105-106.
- Gauthier, S.F., Vachon, C. y Savoie, L. 1986. Enzymatic conditions of an in vitro method to study protein digestion. *Journal of Food Science*, 51:960-964.
- Godínez A., H.; y P. Ortega B. 2007. Mexican cactus diversity: Environmental correlates and conservation priorities. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 81: 81-87.

- González A., M. E. Riojas y H. J. Arreola. 2001. El género *Opuntia* en Jalisco, Guía de campo. Universidad de Guadalajara, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Guadalajara, Jal. México. Pp.135.
- González D., A.; M.E. Riojas L. y H.J. Arreola N. 2001. El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco. México. 135 p.
- González, C. F., G. Llamas L. y J. Bonilla A.1998. Utilización del nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras. Tec. Pecuaria en México.36:73-81.
- Goper E. A. E. 2001. Tesis, Tasa de Degradación in vitro de la Fibra de Algunas Especies del Genero *Opuntia*, Cosechadas en Primavera, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila México.
- Gurvich, Diego E. 2010. Registro de herbivoría de guanaco, *Lama guanicoe*, sobre *Tephrocactus alexanderi* (Cactaceae, Opuntioideae) en el Parque Provincial Ischigualasto (Prov. San Juan, Argentina). Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 7(3):7-9.
- Gutiérrez O., E. 2007. Manejo de Dietas a base de nopal. En: Aréchiga F., C.F., J.I. Aguilera S., R.D. Valdez C., F. Blanco M., J. Urista T., M. Reveles H. y F. Rubio Aguirre. (Eds.). El Nopal en al producción animal Ed. Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac., México. pp. 95-115.
- Guzmán U., Arias S., P. Dávila 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, primera edición Pp. 174, 175, 181, 183,190, 192, 195.
- Hernández, H.M. y H.A. Godínez. 1994 Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana [en línea] (fecha de consulta: 10 de enero de 2010). Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57402606> > ISSN 0187-7151.
- Hernández, R.J. 1995. Degradabilidad de la materia seca, proteína cruda, y carbohidratos estructurales de cuatro gramíneas forrajeras. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp 67.

- Hernández, S.J. R. 2011. Digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia lindheimeri*) a diferentes tiempos de incubación UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila, México Pp. 30, 31
- Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. y Miller, G.A. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journal of Food Science, 42:1269-1273.
- Julliard, V.; De Fombelle, A.; Varloud, M. 2006. Starch digestion in horses: The impact of feed processing. Livestock science, v.100, n.1, p.44-52.
- Lewis, G.E.; Hunt, C.W.; Sanchez, W.K.; Treacher, R.; Pritchard, G.T.; Feng, P. 1996. Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on the digestive characteristics of a forage-based diet fed to beef steers. Journal of Animal Science, v.74, p.3020-3028.
- Lopes. B.E. 2007. Palma Forrageira: Cultivo, Uso Actual e Perspectivas de Utilización no Semi-árido Nordeste. EMEPA.
- López, G. J. J. 1977. Descripción y transformación del ecosistema *Opuntia streptacantha* Lemaire. Tesis de M.C. Depto. Ciencia Animal. UAAAN. Saltillo México.
- López, G.J. J.J 1999. Uso del nopal forrajero (*OPUNTIA* spp).en el norte de México. En: curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Cd. Guadalupe Nuevo León México.
- López, G.J.J: Rodríguez G.A: L. Pérez R. y J.M Fuentes, R. 1996. Uso del nopal forrajero en el norte de México. Journal of the professional Association for Cactus Development. 1:10-14.
- López, G., J. J., J. M. Rodríguez F., and A. Rodríguez G. 2001. Production and use of opuntia as forage in northern Mexico In: Mondragon J., C., and Pérez G. (Eds.) Cactus (*Opuntia spp.*) as forage FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy.
- López, J.J. y Elizondo, J.L. 1990. Conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. Memorias de la 3a Reunión Nacional y Primera Internacional sobre el Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. UAAAN, Saltillo, Coahuila., México.

- Lozano, G.M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal (*Opuntia* spp.). BSc Diss., Esc. Sup. de Agric. "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Llamas L.G y I. Tejado H. 1990. Técnicas de laboratorio para el análisis de forraje para rumiantes. En: castellanos R.A., G.L. Llamas, A.S. Shimada. Manual de técnicas de investigación en rumiología. Sistemas de educación continua en producción animal. A.C. México.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greehalgh. 1975. Nutrición Animal. 2da. Ed. Editorial Acribia. Zaragoza España pp 189-190.
- Marable, N.L. y Sanzone, G. 1981. In vitro assays of protein quality-assays utilizing enzymatic hydrolyses. Discussion. In: Protein quality in humans: Assessment and in vitro estimation. AVI Publishing Company In Company. Westport, pp 275.
- Marroquín, S. G. Boruja L. R., Velázquez C. y J. A. de la Cruz. C. 1964. Estudio dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. Pub. Especial 2. INIF. México.
- Martinez B., O.U. y G.J. Lara G. 2003. Potencial productivo de áreas de temporal en el estado de Coahuila una propuesta de conversión productiva. Publicación Especial No.1 Campo Experimental Saltillo-INIFAP, Saltillo, Coahuila. México.
- Maynard, L. Nutrición Animal. 7.ed. México: McGraw-Hill, 1986. p. Harmon, D. Experimental approaches to study the nutritional value of foods ingredients for dogs and cats. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, Suplemento especial, p.251-262, 2007.
- Medina T., J. G.; M. E. Acuña M.; J. J. López G.; O. E. Cavazos C. 1990. Variables Críticas Ambientales para el Establecimiento de Nopal Forrajero en el Árido del Norte de México. Coahuila. México. Memorias de la 3a. Reunión Nacional y la 1a. Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 359 p.
- Mendoza, H. J. M. 1983. Boletín meteorológico para la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Mondragón J., S y C. Pérez G. (editores). 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169. Rome, Italia.183 p.
- Mondragón, J. C. 1999. Preliminary genetic studies on cactus pear (*Opuntia* spp, Cactaceae) germplasm from Central México. Ph. D. Diss. Purdue University. West Lafayette, Indiana.
- Morgavi, D.P.; Beauchemin, K.A.; Nsereko, V.L.; Rode, L.M.; lawaasa, A.D.; Yang, W.Z.; Mcallister, T.A.; Wang, Y. 2000. Synergy between ruminal fibrolytic enzymes and enzymes from *Trichoderma longibrachiatum*. Journal of Dairy Science, v.83, p.1310-1321.
- Murillo, S. M., J. M. Fuentes, F. Borrego, H. Díaz, A. López, A. Flores, B. Ortiz y S. Rodríguez. 2000. *In situ* degradation of prickley pear (*Opuntia* spp.) biomass treated with yeast and ammonium sulfate. Proceedings of the IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal. Hammamet Tunisia. pp 89.
- Murillo, A. B. 2003. El nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Centro de investigaciones del noreste. Pp. 1-2.
- National Research Council (NRC). 1981 Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and meat goats in temperate and tropical countries.
- Nesereko, V.L.; Morgavi, D.P.; Rode, L.M.; Beauchemin, K.A.; Mcallister, T.A. 2000. Effects of fungal enzyme preparations on hydrolysis and subsequent degradation of alfalfa hay fiber by mixed rumen microorganism in vitro. Animal Feed Science Technology, v.88, p.153-170.
- Nieves, D.; Barajas, A.; Delgado, G. *et al.* 2008. Digestibilidad fecal de nutrientes en dietas con forrajes tropicales en conejos: Comparación entre métodos directo e indirecto. Bioagro, v.20, n.1, p.73-75.
- Ortiz, R. R., García, G.R.A., Valdez, A.J.J., Lara, C.Ma.B.N., y Pérez, S.R.E 2011(b). Efecto De La Adición De Nopal (*Opuntia ficus-indica*) A La Leche Cruda Sobre Cuentas Bacterianas: *Mesófilas aerobias* y *Coliforme*. African Journal of Microbiology Research.

- Ortiz, R.R., Valdez, A.J.J., García, S. P.A., y Pérez, S.R.E 2011(a). Producción Y Calidad Microbiológica De La Leche Cruda Y Del Queso Fresco Provenientes De Vacas Holstein Bajo Una Dieta Complementada Con Nopal (*Opuntia ficus-indica*). African Journal of Microbiology Research.
- Pimienta, B. E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Pinos-Rodríguez, J.M.; Mendoza, G.D.; Bárcena, G.; Cobos, P. 2002b. Efecto de enzimas exógenas en la digestibilidad in vitro de la pared celular de heno de alfalfa (*Medicago sativa*) o de Ballico (*Lolium perenne*). Interciencia, v.27, p.28-32.
- Puente M., R. 1992. El género *Opuntia* (Cactaceae) en el Valle de San Luis Potosí. Tesis profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP. 145 p.
- Ramirez L. R.G., G.F. Alanis, F. y Ma. Nuñez G. 2000. Dinámica estacional de la digestión ruminal de la materia seca del nopal. Ciencia UANL. 3(3):267-273.
- Ramírez Cancino, L.; Aranda Ibáñez, E.; Mendoza Martínez, G.D.; Landois Palencia, L.; Miranda Romero, L.A.; Crosby Galván, M. 1999. Caracterización de productos fibrolíticos comerciales utilizados en la alimentación de rumiantes. Veterinaria México, v.36, p.1-10, 2005.
- RODE, L.M.; YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Fibrolytic enzyme supplements for dairy cows in early lactation. Journal of Dairy Science, v.82, p.2121-2126.
- RDTAA, 2013. Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial, revolución de cultivo de tuna forrajera (*Opuntia ficus-indica*) una alternativa para las zonas áridas y semiáridas, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Rebman, J. P. y D.J. Pinkava. (2001). *Opuntia* cacti of North America. An overview. Florida Entomologist 84: 474-483.
- Reyes A., J A. y J.R. Aguirre R. 2006. Geographical distribution of *Opuntia* in Mexico. Proceedings of the 2006 International Cactus Pear Conference. University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. p.18.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y A. Valiente B. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: a review. Journal of Arid Environments. 64:549–585.



- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y H.M. Hernández. 2005a. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*. 39:395-408.
- Reyes A., J.A.; J.R. Aguirre R. y J.L. Flores F. 2005b. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la Altiplanicie Meridional de México. *Interciencia*. 30: 476-484.
- Rodríguez G.F y L.G. Llamas 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos, y patrones de fermentación ruminal. En: castellanos, R.A.; L.G, Llamas y S.A Shimada (eds). *Manual de técnicas de investigación de rumiología*. Sistema de educación continua en producción animal. A.C. Mex.
- Rojas A., M.; y S. Arias. 2007. Avances y perspectivas en la investigación biológica de la familia Cactaceae en México. *Boletín de la Soc. Latinoamericana de Cactáceas y Suculentas*. Vol. 4(1):1-10.
- Romero, F. 1990. Utilización de la técnica de digestión *in situ* para la caracterización de forrajes. *Nutrición de Rumiantes. Guía Metodológica de Investigación ALPARISPA*. Editorial IICA, San José Costa Rica. pp 100-105.
- Sauer, W.C y Ozimek, L. 1986. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. *Livestock Production Science*, 15:367-388.
- Scheinvar, L. (1999). Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico. Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosí, San Luis Potosí, pp. 255-274.
- Secombe, C.J.; Lester, G.D. 2012. The role of diet in the prevention and management of several equine diseases. *Animal feed science and technology*, v.173, n.1-2, p.86 101.
- Stahman, M.A. y Woldegiorgis, W. 1975. Enzymatic methods for protein quality determination. In: *Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds Part 1*. Marcel Dekker. New York, p 211-234.
- Stein, H.H.; Fuller, M.F.; Moughan, P.J. *et al.* 2007. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock science*, v.109, p.282-285.

- Stintzing, F. C y Carle, R. 2005. Cactus items (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49:175-194.
- Terblanche, I.L., Mulder, A.M. y Rossouw, J.W. 1971. The influence of moisture content on the dry matter intake and digestibility of spineless cactus. *Agro-animalia*, 3(2): 73-77pp.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A Two-stage Technique for the *In Vitro* Digestion of Forage Crops. *J. British. Grassland. Soc.* 18:104.
- Vázquez A., R.E, R. D. Valdez C., E. Gutiérrez O. y F. Blanco M. 2007. Caracterización e identificación de nopal forrajero en el norte de México. Memorias del VI Simposium Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. 7 y 8 de diciembre de 2007, Marín, N.L. México.
- Velázquez, E. 1998. El nopal y su historia. México, Clio, Libros y Videos. 96 p.
- Villalobos, Soraya; Vargas, Orlando y Melo, Sandra. 2007. Uso, manejo y conservación de "yosú", *Stenocereus griseus* (Cactaceae), en la alta Guajira colombiana. *Acta Biológica Colombiana.* 12(1):99-112.
- Wang, Y.; Spratling, B.M.; Zobel, D.R.; Wiedmeier, R.D.; Mcallister, T.A. 2004. Effect of alkali pretreatment of wheat straw on the efficacy of exogenous fibrolytic enzymes. *Journal of Animal Science*, v.82, p.198-208.
- Weber, M.; Bissot, T.; Servet, E. *et al.* 2007. High-protein, High-fiber diet designed for weight loss improves satiety in dogs. *Journal of veterinary internal medicine*, v.21, n.6, p.1203-1208,