



**Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Recursos Bióticos**

**“EL NOPAL COMO ALTERNATIVA DE SUPLEMENTACIÓN  
ALIMENTICIA DE CAPRINOS EN EL SEMIDESIERTO ”**

Tesis  
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:  
**Alma Violeta Cordova Torres**

Dirigido por:  
**Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor**

Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
firma

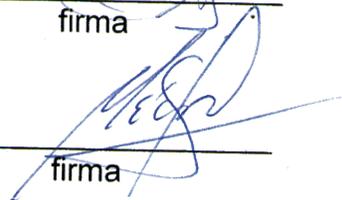
Dra. Guadalupe Malda Barrera  
**Secretario**

  
\_\_\_\_\_  
firma

Dra. Teresa García Gasca  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
firma

Dr. Héctor Vera Ávila  
**Suplente**

  
\_\_\_\_\_  
firma

Dr. Jorge R. Kawas  
**Suplente**

  
\_\_\_\_\_  
firma

\_\_\_\_\_  
Biol. Jaime Ángeles Ángeles  
Director de la Facultad

\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

noviembre 2010  
Querétaro, Qro.,  
México D.F.

## **RESUMEN**

La caprinocultura en México se realiza en cerca del 60% del territorio nacional, en donde el clima semidesértico no favorece el desarrollo de otras actividades (SAGARPA 2000). Esta actividad es realizada por los pobladores de estas zonas, ya que la cabra es un animal de hábitos alimenticios muy versátiles (Ramírez 1989). Sin embargo, estos animales presentan una reproducción estacional (Delgadillo 2005; Malpoux, B.2005), iniciando la estación reproductiva cuando las condiciones ambientales y la producción forrajera son las mejores, mientras que la época de partos se inicia en el momento en que la producción forrajera es escasa, y por lo tanto, la prolificidad y sobrevivencia de las crías se ve afectada (Mellado 2005). Por esta razón, se debe buscar una alternativa alimenticia que se adapte a las zonas semidesérticas, tales como resistencia a periodos largos de sequía, adaptabilidad al tipo de suelo y disponibilidad durante todo el año.

Un alimento que cubre con estas características son las cactáceas, el nopal es un importante recurso forrajero y es de bajo costo. Existen distintas cactaceas, pero la especie *Opuntia ficus indica* es la más utilizada para el consumo humano y animal. En México, la penca de nopal se utiliza como una fuente de alimentación para humanos, principalmente las pencas jóvenes o de menor tamaño, lo que genera desperdicio de las pencas grandes o maduras, las cuales pueden ser usadas como suplemento para el ganado, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer el efecto que presenta el uso de pencas de dos tamaños (considerados en este trabajo como estado de madurez) en la digestibilidad *in vivo*, degradación

y digestión intestinal, además de evaluar el efecto de la velocidad de paso en la degradación efectiva y degradación intestinal de la materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). Así mismo la Caracterización y Comparación nutricional de diferentes especies de nopal silvestre (*Opuntia megacantha*, *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha* y *O. robusta* y *Opuntia ficus indica* var. Copena), para su uso como alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas.

Al determinar el efecto presentado por el uso de dos tamaños (madurez) de la penca de nopal en la digestibilidad *in vivo*, degradación *in situ*, digestibilidad intestinal de la materia seca, así como la tasa de paso en la degradación efectiva e intestinal de la Materia Seca (MS), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA), se utilizaron 10 machos caprinos adultos con un peso de  $44.7 \pm 3.3$  Kg. Las pruebas de digestibilidad *in vivo* se realizaron en dos periodos de 22 días (15 de adaptación y 7 de muestreo); se restringió el consumo de alimento ( $56 \text{ g de MS/kg PV}^{0.75}$ ), la producción de heces y orina. El tamaño de la penca se determinó por medio de la medición de ancho x el largo, teniendo la penca chica (Pch)  $147.03 \pm 19.2 \text{ cm}^2$  y la grande (Pgr)  $705.25 \pm 101.3 \text{ cm}^2$ . El diseño experimental fue cruzado, considerando 3 raciones en 2 periodos, las raciones fueron: Control (CRT), Pch (80% de CTR +20% Pch), Pgr (80% + 20% de penca grande). La degradabilidad de la materia seca, fibra y fracciones de proteína se estimaron de acuerdo a Ørskov and McDonald (1979), y la digestibilidad aparente fue calculada con la ecuación de Meneses (2002). Los resultados indicaron una mayor digestibilidad de la MS ( $P < 0.001$ ) en las raciones adicionadas con pencas

grandes. La degradabilidad efectiva de la MS fue mayor ( $P < 0.001$ ) en raciones con penca grande. El tamaño de la penca no afectó ( $P > 0.05$ ) la digestibilidad *in vivo* y la degradabilidad de FDN, el cual muestra que la penca grande o madura, considerada como basura o desecho, puede ser utilizada como un suplemento alimenticio para cabras en regiones semiáridas.

La composición bromatología de las 5 especies de nopal silvestre es diferente para cada una de ellas, sin embargo, *Ofi* presentó la menor cantidad de MS y MO, y las mayores cantidades de cenizas y FDA. Comparando *Ofi* con las demás especies silvestres, *Or* presentó una menor cantidad de FDA y una mayor cantidad de PC. En la cantidad de minerales todos son diferentes, siendo *Ofi* la que mayor cantidad de Ca, sin embargo, en todos los casos son pobres en Cu y Se. En la degradación de la MS, PC, FDN y FDA, *Ofi* presentó los mayores valores, mientras que de las especies silvestres *Or* y *Om*, mientras que *Os* mostró la menor degradación en todos los casos. Las especies silvestres de nopal pueden ser utilizadas en la suplementación alimenticia de ganado caprino ya que presenta características similares a *Ofi*, sin embargo, se debe tener en cuenta al adicionarlas a la dieta, que algunas especies presentan mayor cantidad de espinas y más grandes, por lo que deberán ser retiradas antes de ser adicionadas a la dieta.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, degradabilidad, cinética de la degradación

## **ABSTRACT**

The Goat in Mexico takes place in about 60% of the country, where the semi-arid climate is not conducive to other activities (SAGARPA 2000). This activity is performed by the inhabitants of these areas, since the goat is an animal of very versatile habits (Ramírez 1989). However, these animals have seasonal reproduction (Delgadillo 2005; Malpaux, B.2005), starting the breeding season when environmental conditions and forage production are best, while the calving season begins at the time the forage is scarce, and therefore, prolificacy, and survival of offspring is affected (Mellado 2005). For this reason, we must find an alternative food to suit semi-desert areas, such as resistance to long periods of drought, adaptability to soil type and availability throughout the year. A food that these features are covered with cactus, prickly pear is an important forage resource and is inexpensive. There are several cacti, but the species *Opuntia ficus indica* is most used for human consumption and animal. In Mexico, cactus stalk is used as a food source for humans, especially young fronds or smaller, which leads to waste of large and mature fronds, which can be used as a supplement for livestock, so the objective of this work was to the effect that presents the use of pads in two sizes (considered in this work as a state of maturity) in vivo digestibility, degradation and intestinal digestion, and to evaluate the effect of flow rate in the effective degradation and intestinal degradation of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). Likewise Characterization and nutritional comparison of different species of wild prickly pear

(*Opuntia megacantha*, *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha* and *O. robusta*.) and cactus (*Opuntia ficus indica* var. *Copena*), for use as an alternative to supplementation goats in semiarid regions.

In order to determine the effects presented by the use of two sizes (or maturity) of cladode cactus on *in vivo* digestibility, *in situ* degradation and intestinal digestibility of dry matter, so as the effect on rate of passage on effective degradation and intestinal dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), 10 male adult goats weighing  $44.7 \pm 3.3$  Kg were used. The *in vivo* digestibility trials were (done) in 2 periods of 22 days ( 15 for adaptation and 7 for sampling). Food and water consumption, as well as feces and urine production were monitored. Feed intake was restricted (56 g DM / kg LW 0.75). The cladode size (width x length) was for the small cladode (SC)  $147.03 \pm 19.2$  cm<sup>2</sup> and for the large cladode (LC)  $705.25 \pm 101.3$  cm<sup>2</sup>. The statistical design was randomized with factorial arrangement (3 diets\* 2 periods). The diets were: Control (CRT), SC (80% Ctr+20% SC), LC (80% Ctrl + 20% SC). The degradability of dry matter, fiber and protein fractions were estimated according to the equation recommended by Ørskov and McDonald (1979) and the apparent digestibility of cactus was calculated with Meneses (2002) equation. The results were: OM digestibility was greater ( $P < 0.001$ ) in the rations with LC. Potential and effective degradability of DM was higher ( $P < 0.001$ ) with LC rations. Size did not affect ( $P > 0.05$ ) *in vivo* digestibility and degradability of NDF, which shows that the large or mature cladode, considered a waste or by-product can be used as a nutritional supplement for goats in semiarid regions.

Wild species of cactus can be used in dietary supplementation of goats because it has characteristics similar to Ofi, however, be taken into account by adding to the diet, some species had a greater number of spines and larger, which must be removed before being added to the diet.

Bromatology composition of the 5 species of wild prickly pear is different for each of them, however, Ofi presented the least amount of DM and OM, and higher amounts of ash and FDA. Ofi comparing with other wild species, Or had a lower number of FDA and a greater number of PC. In the amount of minerals are all different, being Ofi the greatest amount of Ca, however, in all cases are poor in Cu and Se. In the degradation of DM, CP, NDF and ADF, Ofi showed the highest values, whereas the wild species and Om Or, while I showed the least degradation in all cases. Wild species of cactus can be used in dietary supplementation of goats because it has characteristics similar to Ofi, however, be taken into account by adding to the diet, some species had a greater number of spines and larger, which must be removed before being added to the diet.

**Keywords: *Opuntia ficus indica*, degradability, degradation**

# **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por su apoyo incondicional, por todo su trabajo, y comprensión.

Al Doctor Héctor Andrade, por su paciencia, por sus regaños, por todos sus conocimientos, pero sobre todo por su amistad.

A Paty Roitman, que me ayudo en los días difíciles a superar todas esas emociones que nublan la mente.

A Konigsmar, que procuro ayudarme siempre en el laboratorio, gracias por esas charlas tan amenas.

A mis asesores, Lupita por su buen humor todos los días, a Tere, por su apoyo y objetividad, al Dr. Héctor Vera por su invaluable apoyo en INIFAP, y al Dr. Kawas, por permitirme trabajar en su laboratorio, muchas gracias por su apoyo incondicional.

A Juan Carlos, Daniel Rodríguez, Nicolás y Daniel Ávila, por toda su ayuda.

A todas esas personas que son parte importante de mi vida, que están conmigo en las buenas y en las malas. Gracias por su tiempo y cariño.

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad” -Albert Einstein-*

# **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

CONACYT

A SEP-PROMEP, al fondo PROMEP/103/07/2518 para el proyecto de esta tesis

Laboratorios AQUA

CENID – Fisiología INIFAP

Laboratorio de Morfofisiología Animal.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	vii
CONTENIDO	x
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
HIPOTESIS Y OBJETIVOS	18
METODOLOGÍA	21
Experimento 1: Efecto entre tamaño de la penca del nopal verdulero ( <i>Opuntia ficus indica</i> var. Copena) en la composición nutricional, digestibilidad <i>in vivo</i> , digestibilidad <i>in vitro</i> , digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal	22
Experimento 2. Comparación de 5 especies de nopal silvestre	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
Experimento 1: Efecto entre tamaño de la penca del nopal verdulero ( <i>Opuntia ficus indica</i> var. Copena)	34
Experimento 2. Comparación nutricional de 5 especies de nopal silvestre	68
CONCLUSIONES	96
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	99
ANEXOS	112

## Índice de figuras

	<b>Página</b>
Figura 1. Superficie nacional sembrada de nopal verdura	12
Figura 2. Superficie nacional sembrada con nopal forrajero	13
Figura 3. Producción nacional de nopal verdura	14
Figura 4. Producción nacional de nopal forrajero	14

## Índice de Cuadros

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Contenido porcentual en ingredientes de la ración control	23
Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales	23
Cuadro 3. Composición nutrimental de las pencas de nopal de acuerdo a su tamaño.	36
Cuadro 4. Composición mineral de las pencas de nopal de acuerdo a su tamaño.	38
Cuadro 5. Contenido nutricional de las dietas experimentales	39
Cuadro 6. Efecto del tamaño de la penca en la ingestión de nutrientes de las raciones experimentales	40
Cuadro 7. Efecto del tamaño de la penca en la digestibilidad aparente de los nutrientes.	42
Cuadro 8. Efecto del tamaño de la penca en el balance de nitrógeno	43
Cuadro 9. Consumo de agua fresca y contenida en el alimento de caprinos alimentados con raciones con 20% de penca de nopal.	45
Cuadro 10. Degradación <i>in vitro</i> de la MS de dos tamaños de penca de nopal verdulero	48
Cuadro 11. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la MS de dos tamaños de nopal.	51
Cuadro 12. Degradación <i>in vitro</i> de la PC de dos tamaños de nopal verdulero	53
Cuadro 13. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la PC de dos tamaños de nopal verdulero	56
Cuadro 14. Degradación <i>in vitro</i> de la Fibra Detergente Neutro	58
Cuadro 15. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de FDN	60
Cuadro 16. Degradación <i>in vitro</i> de la FDA	62

Cuadro 17. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de FDA	64
Cuadro 18.-Efecto del tamaño de la penca del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en la digestibilidad in vivo por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva considerando dos estimaciones de kp (Tedeschi et al 2010 y Tisserad et al. 1991) y digestibilidad intestinal de la MS.	67
Cuadro 19.- Efecto del tamaño de la penca del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en la digestibilidad in vivo por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva (KP: 02, 04) y digestibilidad intestinal de la FDN.	67
Cuadro 20.-Efecto del tamaño de la penca del nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) en la digestibilidad in vivo por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva (KP: 02, 04) y digestibilidad intestinal de la FDA.	68
Cuadro. 21 Composición bromatológica de 5 especies de nopales silvestres.	70
Cuadro 22. Composición mineral de 5 especies de nopal silvestre	73
Cuadro 23. Degradación <i>in vitro</i> de la materia seca de 5 especies de nopal.	75
Cuadro 24. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la Materia Seca	78
Cuadro 25. Degradación <i>in vitro</i> de la PC de 5 especies de nopal	82
Cuadro 26.Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la PC de 5 especies de nopal	85
Cuadro 27. Degradación <i>in vitro</i> de la fibra detergente neutro de 5 especies de nopal	88
Cuadro 28.Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de FDN de 5 especies de nopal	90
Cuadro 29 . Degradación <i>in vitro</i> de la FDA de 5 especies de nopal	93
Cuadro 30.Cinética de degradación <i>in vitro</i> de la FDA de 5 especies de nopal	96

## Índice de gráficas

	<b>Página</b>
Gráfica 1. Degradación <i>in vitro</i> de La materia seca de dos tamaños de nopal en el tiempo.	49
Gráfica 2. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la MS de dos tamaños de nopal.	51
Gráfica 3. Degradación <i>in vitro</i> de la PC de dos tamaños de nopal.	54
Gráfica 4. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la PC	56
Gráfica 5. Degradación <i>in vitro</i> de la FDN en el tiempo	59
Gráfica 6. Cinética de la degradación de la FDN en el tiempo	61
Gráfica 7. Degradación <i>in vitro</i> de FDA	63
Gráfica 8. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de FDA	65
Gráfica 9. Degradación <i>in vitro</i> de la materia seca de 5 especies de nopal en el tiempo.	77
Gráfica 10. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la materia seca de 5 especies de nopal en el tiempo.	80
Gráfica 11. Degradación <i>in vitro</i> de la PC en el tiempo	82
Gráfica 12. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la PC de 5 especies de nopal	86
Gráfica 13. Degradación <i>in vitro</i> de la FDN de 5 especies de nopal en el tiempo	89
Gráfica 14. Cinética de la degradación <i>in vitro</i> de la FDN de 5 especies de nopal en el tiempo	91
Gráfica 15. Degradación <i>in vitro</i> de la FDA de 5 especies de nopal en el tiempo	94
Gráfica 16. Cinética de degradación <i>in vitro</i> de la FDA de 5 especies de nopal	97

# I. INTRODUCCIÓN.

El territorio nacional tiene un 60% de tipo semiárido por lo que la caprinocultura en México es una de las actividades más extendidas en las estas regiones. Esta actividad es realizada por los pobladores de la zona semiárida como actividad de subsistencia (SAGARPA, 2000), debido a que la cabra es un animal de hábitos alimenticios muy versátiles, lo que lo hace un excelente animal para pastoreo. Estos animales son ramoneadores, por lo que tienden a consumir tallos, hojas de arbustos y hierbas, que además son un excelente alimento para estos pequeños rumiantes (Ramírez, 1989). La habilidad de la cabra para consumir y seleccionar partes de la planta con un valor nutritivo alto, se debe entre otras cosas , a la gran motilidad de sus labios, y la posibilidad de pararse en dos patas y poder consumir alimentos como hojas, flores y frutos(Carrera y Cano, 1968). El problema que se presenta con estos animales en el semidesierto es el que son estacionales reproductivamente (Delgadillo 2005; Malpoux, B.2005), iniciando la estación reproductiva cuando las condiciones ambientales y la producción forrajera son las mejores, de esta forma la estación reproductiva se reduce a los meses de junio a octubre, coincidiendo con el fotoperiodo requerido para el inicio de la actividad reproductiva (Delgadillo et al, 2002), y la mayor precipitación pluvial y por lo tanto de alimentos en los agostaderos. Sin embargo, la época de partos, se inicia en el momento en que la producción forrajera es escasa, y por lo tanto, la prolificidad y sobrevivencia de las crías se ve afectada (Mellado, 2005). Es por esta razón que se debe de buscar una alternativa alimenticia que cubra con las características de esta zona, tales como, la adaptabilidad al tipo de suelo, resistencia a periodos largos de sequía.

En muchos países la alternativa alimenticia más usada han sido algunas especies de *Opuntia*, ya que estas plantas pueden crecer en estas zonas semiáridas (Stintzing and Carle, 2005) y presentan una gran adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales. Estas plantas presentan un metabolismo del tipo CAM, lo que les da la ventaja de soportar sequias, calor extremo, y además les permite un uso eficiente del agua (Snyman, 2006). El nopal es un importante recurso forrajero especialmente en las zonas áridas y semiáridas, sus frutos y tallos son aprovechados también por el hombre, al ser utilizados como fuente de agua y alimento. Las especies de *Opuntia* crecen en una gran parte de América sin embargo, estas plantas han sido también cultivadas en amplias zonas del Mediterráneo, África y Australia (Snyman, 2006).

## II. ANTECEDENTES.

## **SEMIDESIERTO**

La cuarta parte de nuestro planeta está formada por tierras áridas y un sexto de la población mundial vive en ellas (UNESCO, 2005).

El semidesierto está descrito como las zonas de transición, representan 21 millones de km<sup>2</sup>, y son los que bordean los desiertos. Estas zonas son estepas con cobertura de vegetación abierta y arbustos tropicales, plantas perennes, y la ganadería extensiva es posible en estas zonas. En las zonas semiáridas el promedio de lluvia es de 150 a 500 mm/año y el coeficiente de variabilidad es de 20 al 30 %, en estas zonas se puede cultivar, pero se realiza de manera temporal (Mainguet, 1999).

En México se han detectado a través de diversos métodos y formulas climatológicas, que el 36% de la superficie de la República es francamente árido y un 23 % de esta superficie es semi-árido , por lo que casi en el 60% de la superficie total del país no hay posibilidad de agricultura más que por irrigación. En estas zonas la vegetación se caracteriza por ser de matorral xerófilo, pastizal y la vegetación halófito, presentando un gran número de especies endémicas, en especial de grupos como cactáceas y pastos (Stretta, 2008). Bajo estas condiciones, los pobladores de estas regiones subsisten de actividades como la caprinocultura.

## **CAPRINOCULTURA.**

La caprinocultura en México es una de las actividades más extendidas en las regiones áridas y semiáridas del país. Existen alrededor de 8,870,312 de cabezas caprinas, y los principales estados productores son Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Guanajuato, Coahuila, Zacatecas y Durango (SIAP, 2009). Esta actividad es realizada por los pobladores de estas zonas como actividad de subsistencia y por lo tanto es dependiente de los agostaderos, en los que debido al mal uso, la baja y estacional precipitación pluvial se presenta una reducida producción de alimentos (SAGARPA, 2000 ).

En el caso de Querétaro, las regiones semiáridas y de agostadero ocupan cerca del 60% de la superficie del estado, con precipitación pluvial reducida de entre 200 a 450 mm/año además de ser errática durante los meses de junio a octubre. Los suelos generalmente son pobres y con problemas de erosión (SAGARPA, 2000).

En este estado se tiene estimado que en el año 2008 existían 99 mil cabezas de ganado caprino, y el municipio con mayor inventario es Cadereyta de Montes con 21, 500 cabezas de ganado, seguido de Peñamiller con 20,094 y San Juan del Río con 10 mil. Otros municipios con una considerable cantidad de cabezas de ganado son Tolimán y El Marqués (OEIDRUS,2008).

La caprinocultura es la predilecta para estas zonas, ya que la cabra es un animal altamente selectivo en cuanto a su alimentación, y sus hábitos alimenticios son muy versátiles, lo que lo hace un excelente animal para pastoreo. Estos animales son ramoneadores, por lo que tienden a consumir tallos, hojas de arbustos y

hierbas, que además son un excelente alimento para estos pequeños rumiantes (Ramírez, 1989).

## **La cabra**

La cabra es un animal de pequeña talla, con cuernos arqueados, muy ágil y adaptado a saltar y escalar. Su distribución es amplia y se encuentra en todo el mundo, principalmente en las zonas montañosas.

Las cabras presentan una gran capacidad de adaptación a una amplia variedad de vegetación y condiciones climáticas; además de su habilidad para utilizar forrajes toscos de baja calidad, lo que hace a esta especie única por su eficiencia de producción (leche, carne, pelo y piel) en áreas donde otros rumiantes domésticos no pueden producir de manera adecuada. Aun cuando la cabra tiene una gran preferencia por las arbustivas, presenta a su vez una gran adaptación para el consumo de otros forrajes, ya que puede modificar su dieta rápidamente y presentar un mayor consumo de gramíneas o herbáceas al iniciarse la época de lluvias, y regresar al consumo de arbustivas al disminuir la disponibilidad de las primeras en la época de estiaje (Andrade-Montemayor, 1992). Este proceso de adaptación ha ocurrido en más de cinco millones de años, tiempo durante el cual las cabras fueron configurando su actual comportamiento frente a las variaciones climáticas y alimenticias, contribuyendo a la selección natural. Esta selección condujo a cambios en los comportamientos tanto reproductivos como alimenticios de la especie, donde el ramoneo quizá haya sido el de mayor importancia, al permitirle evitar los efectos adversos de la gran cantidad de competidores y de la

sequía. Tales condiciones y factores de adaptación en regiones semiáridas han permitido que la cabra sea un medio de desarrollo y supervivencia para familias de bajos recursos económicos del semidesierto, siendo una alternativa viable para la producción de leche y carne en estas regiones (Andrade-Montemayor, 2005; Rojo, et al 2007).

El problema de estos animales es su estacionalidad reproductiva (Delgadillo, 2005; Malpoux, 2005), iniciando la estación reproductiva cuando las condiciones ambientales y la producción forrajera lo permite, de esta forma la estación reproductiva se reduce a los meses de junio a octubre, coincidiendo con el fotoperiodo requerido para el inicio de la actividad reproductiva (Delgadillo et al., 2002) y la mayor precipitación pluvial y por lo tanto de alimentos en los agostaderos. Sin embargo, la época de partos, se inicia en el momento en que la producción forrajera es escasa, y por lo tanto, la sobrevivencia de las crías se ve afectada (Mellado, 2005).

Con estas condiciones, es difícil mantener una producción constante de alimentos de origen animal al depender de la producción vegetal de estas regiones, siendo escasa y estacional. Por esta razón, se deben buscar estrategias de alimentación o suplementación en estos periodos de escasez de lluvia y de alimento. Esta alternativa debe tener ciertas características, tales como productividad durante periodos de sequía, resistencia a periodos secos, disponibilidad del recurso todo el año.

Un alimento que cumple con dichas características son las plantas de la familia Cactaceae, al ser plantas perennes, cuya vida dura más de dos años o por tiempo indefinido, según la especie. Los individuos más longevos llegan a vivir ciento cincuenta años o quizás más. Algunas especies alcanzan su madurez a los dos o tres años, mientras a otras les toma varios lustros. Generalmente están muy desarrollados sus tejidos de almacenamiento, lo que les permite conservar agua y nutrientes en sus tallos y raíces para sobrevivir durante prolongados periodos de sequía. Otra estrategia adaptativa de las cactáceas a la aridez, es la eliminación de hojas, con lo cual se reduce al máximo la evaporación de agua. En géneros como *Opuntia* y *Nopalea* (nopales, choyas, cardos, tasajos, abrojos, etc.) las hojas surgen durante los estadios tempranos del desarrollo del tallo, a manera de pequeñas reminiscencias carnosas, que semejan un bulbo en la base de la aureola y en la etapa madura desaparecen (Nobel, 1998).

En general crecen solitarias, un único individuo con sus raíces, aunque algunas tienden a ramificarse en exceso, principalmente desde la base llegando a formar sus colonias. Cuando una planta da lugar a nuevas ramas o brotes, se forma un tallo o segmento, por eso se dice que las cactáceas tienen tallos articulados. El segmento es capaz de enraizar y desprenderse del cuerpo principal originado en un nuevo individuo (Nobel, 1998).

Los tallos de las cactáceas conforman básicamente el cuerpo de la planta, engrosado por el desarrollo del parénquima, son verdes, porque en ellos se concentra la actividad fotosintética. Los tallos aplanados en forma de raqueta,

técnicamente denominados cladodios, son particulares de todos los nopales (*Opuntia* spp.) (Nobel, 1998).

En muchos países las alternativas alimenticias más usadas en zonas semiáridas han sido algunas especies de opuntia, ya que estas plantas pueden crecer en estas zonas (Stintzing and Carle, 2005) pues tiene una gran adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales, estas plantas tienen un metabolismo del tipo CAM, lo que les da la ventaja de soportar sequías, calor extremo, y además les permite un uso eficiente del agua (Snyman, 2006).

El nopal es un importante recurso forrajero especialmente en las zonas áridas y semiáridas, ya que sus frutos y tallos son aprovechados también por el hombre, al ser utilizados como fuente de agua y alimento. Las especies de *Opuntia* crecen en una gran parte de América esta distribución va desde Canadá hasta la Patagonia. Estas plantas han sido también cultivadas en amplias zonas del Mediterráneo, África y Australia (Snyman, 2006).

### **El nopal en México**

El nopal es encontrado de forma natural en 4 millones de hectáreas en el norte de México, en donde hay una gran densidad de población de esta planta (Flores y Aranda, 1997). Su aprovechamiento en México se inicio con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, cuyos pobladores concurrían en época de fructificación a lugares donde abundaban poblaciones silvestres de la planta para recolectar partes reproductivas y vegetativas, utilizadas como alimento y con fines medicinales y cosméticos (Flores y Aranda, 1997).

Los métodos empleados para su preparación eran variables. Los tallos jóvenes o “nopalitos” eran guisados con carne, los pétalos de las flores de diversas especies también eran utilizados como verduras, las tunas o frutos eran utilizados como frutas frescas, deshidratadas o cocidas para realizar mieles (Chifa,200).

El consumo de este producto ha aumentado su demanda, principalmente en las áreas urbanas, además el papel del nopal ha cobrado importancia en la medicina ya que se le atribuyen características antiinflamatorias, y para el tratamiento de diversos problemas gastrointestinales (Loro, 1999).

En la ganadería es importante el uso de este producto como recurso forrajero, ya que es un recurso de bajo costo y como se mencionó anteriormente es posible su crecimiento en lugares con poca lluvia. Además de ser una alternativa alimenticia, es también una alternativa a la recuperación de algunos paisajes, ya que ayuda a recuperar el suelo y evita la erosión, lo que genera más recursos forrajeros de pastos o árboles como el mezquite (Flores y Aranda, 1997; Instituto Nacional de Ecología, 2005).

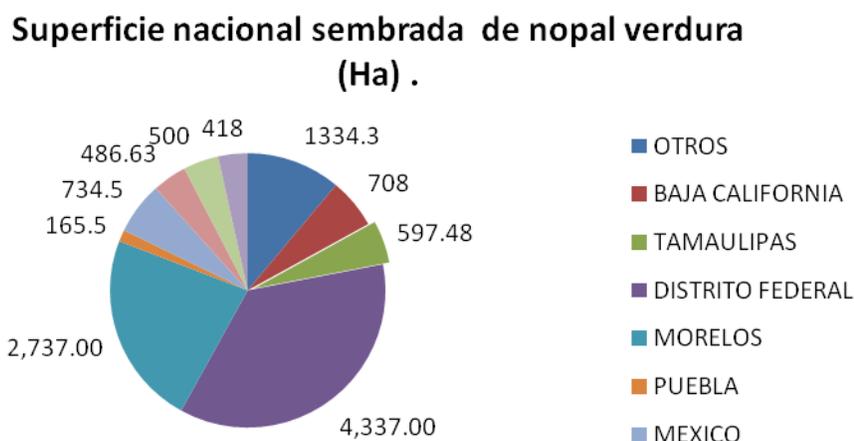
Los animales alimentados con nopal principalmente son bovinos, cabras y borregos. Estos animales son alimentados con granos o con pastos de la zona, los cuales son reducidos marcadamente durante los periodos secos del año. También hay arbustos que el ganado elije como alimento, además de una gran cantidad de nopales (Flores y Aranda, 1997).

Las especies forrajeras más usadas por los ganaderos son *O. streptacantha*, *O. rubusta*, *O. rastrera*, *O. engelmanni*, entre muchas otras variedades. En general el nopal es usado en la estación seca del año (Flores y Aranda, 1997).

En los sistemas estabulados, el nopal se obtiene de las plantaciones de nopal para consumo humano así como de plantaciones en las que se obtienen los frutos del nopal (Flores y Aranda, 1997).

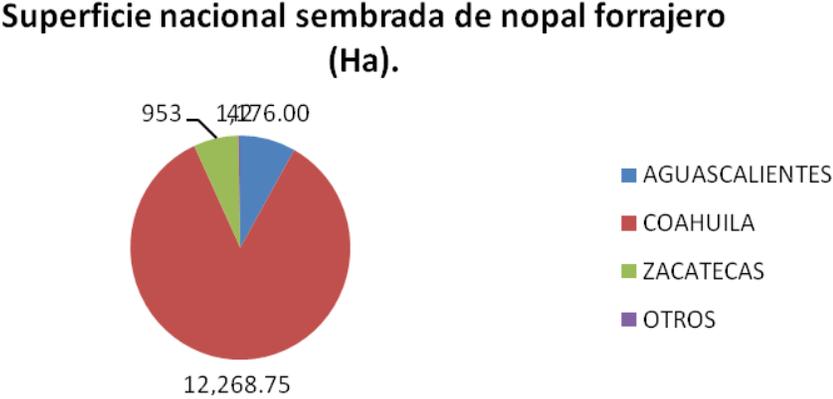
En México la producción de nopal está dividido en nopal verdura (*Opuntia ficus indica*), utilizado para el consumo humano y el nopal forrajero (*Opuntia spp.*). Se estima que existen 12, 018.41 hectáreas sembradas con nopal verdura (Figura 1) siendo el Distrito Federal y Morelos los estados con mayor cantidad de hectáreas, mientras que de nopal forrajero se tiene estimadas unas 14, 439.75 hectáreas sembradas (Figura 2) de las cuales 12,268.75 ha. Se localizan en el estado de Coahuila.

**Figura 1. Superficie nacional sembrada con nopal verdura.**



(Fuente: SIAP, 2008).

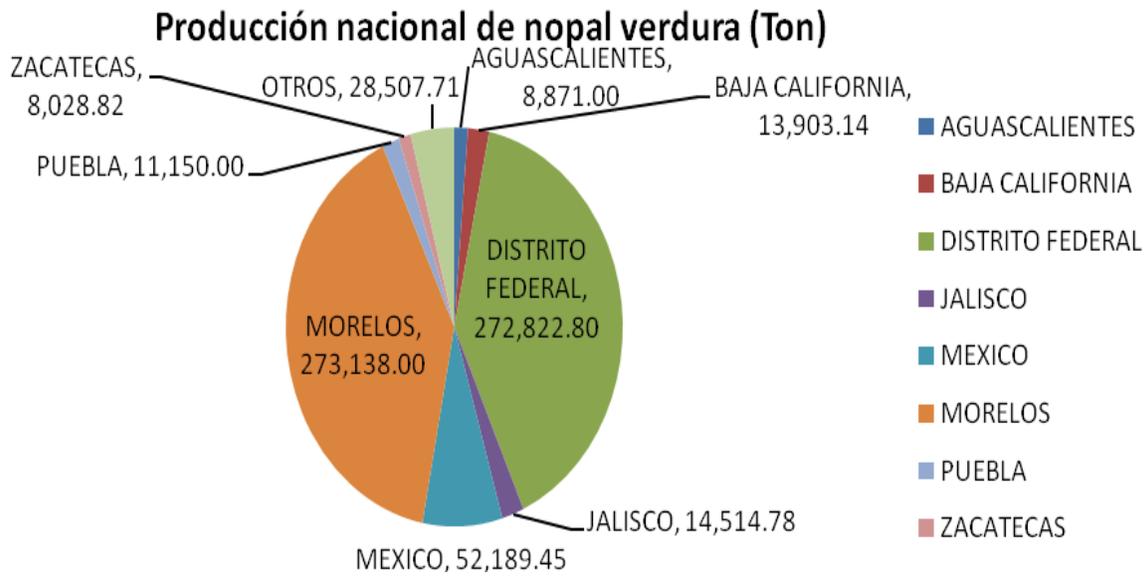
**Figura 2. Superficie nacional sembrada con nopal forrajero**



(Fuente: SIAP, 2008).

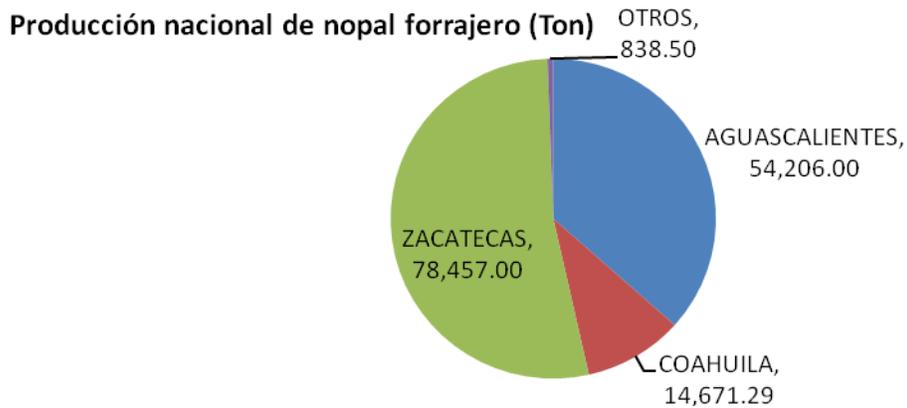
En cuanto a la producción nacional se estiman 683,125.70 toneladas de nopal verdura (Figura 3) de las cuales el Distrito Federal, Morelos y el estado de México, son los mayores productores, mientras que de nopal forrajero se estima una producción anual de 148,172.79 toneladas (Figura 4), siendo Zacatecas, Aguascalientes y Coahuila los mayores productores.

**Figura 3. Producción nacional de nopal verdura.**



(Fuente: SIAP, 2008)

**Figura 4. Producción nacional de nopal forrajero**



(Fuente : SIAP, 2008).

La cosecha del nopal verdura se realiza por las mañanas, seleccionando los nopales con una longitud de 18 a 23 centímetros (Claridades agropecuarias, 2001), el corte se realiza en la unión de la base entre la penca y el brote, se cosecha cada 8 a 15 días un promedio de 3 botes por planta durante los primeros meses (Instituto Nacional de Ecología, 2005). Sin embargo, si la venta de nopal es por peso se buscan nopales de mayor tamaño, aunque al crecer el producto, se vuelve más fibroso y correoso (Claridades agropecuarias, 2001), por lo que normalmente en el mercado mexicano no es común, y estos tamaños de penca son considerados como desperdicio.

En México existen cerca de 100 especies de nopales, la mayor parte de ellos localizados en las zonas áridas (Cervantes, 2005), estas opuntias también son aprovechados comercialmente por sus frutos, como forraje, y como cerco vivo como las especies *Opuntia streptacantha*, *O. rastrera*, *O. robusta*, *O. megacantha*, entre otras especies que también son utilizadas como ornamento (Claridades agropecuarias, 2001; Saénz, et al, 2006). Estas nopaleras silvestres ocupan una superficie aproximada de 3 millones de hectáreas, de las cuales las cosechas se destinan al autoconsumo y comercialización en los mercados regionales (Saénz, et al, 2006). En Querétaro existen 35 especies de Opuntias, de las cuales 30 son endémicas y 2 especies de *Nopalea* (Lerner, 2009).

## **El nopal como alimento.**

El nopal (*Opuntia spp*) presenta características alimenticias interesantes en cuanto a la disponibilidad de carbohidratos no fibrosos (CNF) con un contenido de 36 a 37%, los cuales se consideran como precursores de propionato, lo que permitiría un incremento en la disponibilidad de glucosa (Cerrillo y Juárez, 2004) y de carbohidratos estructurales (FND).

Las desventajas que presenta son el bajo contenido de MS (7%), y de PC (3%). Sin embargo, el contenido de lignina es reducido 4.4% indicando una elevada digestibilidad, además de presentar un elevado contenido mineral (22%) (Cerrillo y Juárez, 2004; Cerrillo et al., 2005, Ramírez et al., 2000; Ramírez et al., 2001).

## **Metabolitos secundarios**

Kwak (2005) publicó el uso de los flavonoides contenidos en el nopal (*Opuntia ficus indica* var. *saboten*) los cuales muestran una actividad inhibitoria de los radicales libres en el tejido neuronal, por lo que sugiere que podrían utilizarse estos compuestos en la prevención y en la disminución de desordenes degenerativos neuronales. Esta misma actividad antioxidante es utilizada en la búsqueda de tratamientos contra el cáncer. Otro factor antioxidante fue descrito por Ramadan y Mörsel (2003), donde hace un estudio cuantitativo de los lípidos y esteroides presentes en el nopal, lo que convierte al nopal en una buena fuente de ácidos grasos y antioxidantes.

El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una de las variedades más consumidas por la población, y esta especie ha sido de las más estudiadas en su composición, sin embargo aun no se han estudiado algunas características negativas derivadas del consumo de esta planta. Lee et al. (2002), trabajó *Opuntia ficus indica* var. saboten, y realizó extracciones etanólicas, demostrando la actividad antioxidante del nopal; Chifa (2005), al analizó cuantitativa y cualitativamente *Opuntia ficus indica* y demostró la ausencia de compuestos cianógenos, saponinas y antroquininas, sin embargo mediante el reactivo Drag, pudo observar trazas de alcaloides en tallos y frutos. Así mismo Torres et al. (2008) ha escrito acerca de la presencia de inhibidores de proteasas en cladodios , semillas y productos derivados del nopal, en los cuales se identificaron inhibidores de tripsina, en donde menciona que estos inhibidores son estables al calor, sin embargo son inestables al pH estomacal, por lo que no podría tener efecto inhibitorio.

### **III. HIPOTESIS Y OBJETIVOS**

### **3.1. Experimento 1: Efecto del tamaño de la penca del nopal verdulero (*Opuntia ficus indica* var. Copena) en la composición nutricional, digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal**

#### **3.1.1. Hipotesis**

Las pencas de nopal grandes pueden ser utilizadas en la alimentación de ganado caprino.

#### **3.1.2. Objetivo general**

Estudiar el efecto que presenta el tamaño o madurez de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) en su composición bromatológica y en la digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal de la MS, MO, FDN y FDA, así como en el balance de nitrógeno (N) como una alternativa en la alimentación de caprinos del semidesierto.

#### **3.1.3. Objetivos particulares**

- a) Conocer el efecto de la madurez de la penca de nopal *Opuntia ficus indica* var. Copena en su composición bromatológica.
- b) Conocer el efecto de la madurez del nopal *Opuntia ficus indica* var. Copena en la digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia, digestibilidad intestinal y balance de nitrógeno en caprinos.

### **3.2. Experimento 2. Comparación de 5 especies de nopal silvestre**

#### **3.2.1. Hipótesis**

Las especies silvestres de nopal presentan características similares que las especies de cultivo, por lo que pueden ser usadas en la alimentación animal.

#### **3.2.2. Objetivo general**

Caracterizar y comparar nutricionalmente diferentes especies de nopal silvestre (*Opuntia megacantha*, *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *O. robusta* y *Opuntia ficus indica* var. Copena), para su uso como alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas.

#### **3.2.3. Objetivo particulares:**

- a) Caracterizar nutricionalmente 4 especies de Nopal silvestre (*Opuntia megacantha*, *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *O. robusta* y *Opuntia ficus indica*).
- b) Evaluar 5 especies de nopal silvestre (*O. megacantha*, *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha* y *O. robusta* y *O. ficus indica*) a partir de su comportamiento degradativo como posibles alternativas de suplementación en caprinos del semidesierto.

## IV. METODOLOGÍA

#### **4.1. Experimento 1: Efecto del tamaño de la penca del nopal verdulero (*Opuntia ficus indica* var. *Copena*) en la composición nutricional, digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal**

##### **4.1.1. Diseño del experimento**

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP CENID-Fisiología animal) localizado en Ajuchitlán municipio de Colon, Qro., con un clima semidesértico y lluvias en verano, temperatura media anual de 15°C y precipitación pluvial anual de 450 a 630 mm (Síntesis geográfica,1986) y en los laboratorios de Nutrición Animal y de Biología Celular de la Facultad de Ciencias Naturales (UAQ-FCN) en la Universidad Autónoma de Querétaro.

##### **4.1.2. Colección del nopal**

El nopal utilizado en el experimento fue *Opuntia ficus indica* var. *Copena*, procedente de un sembradío ubicado en Atongo, El Marques, Querétaro, México. El tamaño de la penca se determinó por medio de la multiplicación del ancho por el largo de la penca, siendo dos tamaños, penca chica (Pch) con un promedio de  $147.03 \pm 19.2 \text{ cm}^2$  y la grande (Pgd) de  $705.25 \pm 101.3 \text{ cm}^2$ . La colecta del material vegetal se realizo por la mañana en el mes de marzo. El nopal obtenido se puso a la sombra.

#### 4.1.3. Elaboración de dietas experimentales

Las dietas experimentales consistieron en una dieta control (Ctr) (cuadro 1), y dos raciones experimentales que contenían el 80% de la ración control en MS y el 20% restante de penca chica de nopal (Pch) o penca grande de nopal (Pgr) (cuadro 2), el nopal ofrecido fue picado el día que se ofreció. El alimento se ofreció en forma restringida (56 g de MS/kg PV<sup>0.75</sup> equivalente a 2.1% del PV nivel de mantenimiento) (NRC, 2007). La adaptación a la alimentación fue de 15 días y 7 días de muestreo por periodo (2 periodos).

**Cuadro 1. Contenido porcentual en ingredientes de la ración control**

Ingrediente	%
Rastrojo de Sorgo	53.2
Alfalfa	20
Sorgo molido	19.8
Melaza	5
Premix Mineral y vitamínica	2

**Cuadro 2. Composición de las raciones experimentales (%)<sup>1</sup>**

Ración	Control	Pch	Pgr
Control	100	80	80
Penca Chica (Pch)		20	
Penca Grande (Pgr)			20

<sup>1</sup> El contenido de ingredientes de las raciones está expresado como % de MS.

#### **4.1.4. Composición nutricional**

Las muestras de alimentos y heces colectadas, fueron secadas en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas. Posterior a esto, las muestras ya secas, se molieron con criba de 2 mm y se comenzaron las pruebas analíticas. Las pruebas analíticas para la caracterización del nopal fueron: determinación de la materia seca (MS), cenizas, materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) ( $N \times 6.25$ ) de acuerdo a AOAC (1984), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa según Van Soest *et al.* (1991), así como también el nitrógeno unido a FND de acuerdo a Licitra *et al.* (1996). La determinación de los componentes minerales del nopal se realizó por espectrometría de emisión óptica inductiva acoplada a plasma (OES-IP), de acuerdo a la técnica usada por Kawas y Pérez (2008).

#### **4.1.5. Digestibilidad *in vivo* y balance de nitrógeno.**

Estas pruebas se realizaron con 10 caprinos machos adultos, con un peso promedio de  $44.7 \pm 3.3$  kg, los cuales permanecieron en jaulas metabólicas de 1.4x 0.50 m, que contaban con comedero, bebedero individual y un sistema para la recolección de heces y orina.

Las pruebas de digestibilidad y balance de nitrógeno se realizaron de acuerdo a Osuji *et al.* (1993), y tuvieron una duración de 22 días realizándose 2 repeticiones (44 días), es decir, 15 días como periodo de adaptación y 7 días de muestreo.

Los animales estuvieron con alimentación restringida y de mantenimiento (56 g de MS/Kg PV<sup>0.75</sup> o 2.1% del peso corporal), (NRC ,2007) y agua a libre acceso.

El alimento ofrecido, rechazado, y las heces se pesaron diariamente, se tomaron muestras de alimento ofrecido, alimento rechazado y heces, los cuales se congelaron a -20° C hasta su posterior análisis.

La colección de orina se realizó diariamente de manera individual, para evitar la contaminación bacteriana y garantizar la conservación de la misma, la orina se colectó en cubetas con 100 ml de ácido sulfúrico al 10 %. Diariamente se midió la producción de orina, obteniéndose dos muestras por animal, las cuales fueron congeladas a -20° C. La orina se colectó para evaluar el Balance de Nitrógeno. El consumo de agua se determinó diariamente, ofreciendo 4 litros diarios y se midió la cantidad de agua rechazada.

Para calcular el coeficiente de digestibilidad se aplicó la siguiente fórmula de acuerdo a Osuji et al, (1993).

$$\text{Coeficiente de digestibilidad} = \frac{\text{nutriente consumido} - \text{nutriente excretado}}{\text{Nutriente consumido}} \times 100$$

#### **4.1.6. Balance de nitrógeno**

El balance de nitrógeno se obtuvo a partir de la cantidad de nitrógeno en orina y heces de acuerdo a la AOAC (1984), este balance se determina de la siguiente manera:

Balance de Nitrógeno = Nitrógeno consumido – (nitrógeno orina+ nitrógeno heces).

#### **4.1.7. Consumo de Agua**

El consumo de agua se determinó de acuerdo a la cantidad de agua ofrecida en bebederos de 4 litros y midiendo la cantidad de agua rechazada así como la cantidad de agua contenida en el nopal.

#### **4.1.8. Degradabilidad *in vitro***

La degradabilidad *in vitro* se realizó en el Laboratorio de Morfofisiología Animal de La Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro; la metodología utilizada fue la recomendada por Mehrez y Ørskov (1977) para la evaluación de la degradabilidad *in situ* con adaptaciones a las condiciones *in Vitro*. Se utilizaron bolsas Ankom F57 previamente pesadas y numeradas, en las que se colocó muestra de nopal molido, se utilizaron 2 bolsas con muestra y una muestra blanco por cada tiempo de muestreo (0,2,4,6,8,10,12,24,36,48 y72 horas).

#### 4.1.9. Cinética de la degradación

La degradabilidad de la MS, PC, FDN y FDA se estimó de acuerdo a la ecuación recomendada por Ørskov y McDonald (1979):

$$Dg = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

Dg = Degradación del nutriente en el tiempo de incubación t (%)

a = Fracción soluble o rápidamente degradable (%)

b = Fracción potencialmente degradable (%)

c = Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h)

t = Tiempo (h)

#### 4.1.10. Coeficiente de Digestibilidad aparente por diferencia.

Para determinar la digestibilidad aparente del nopal incluido en las dietas, se estimó con el coeficiente de digestibilidad del concentrado, y el coeficiente de digestibilidad de la ración completa. De esta forma se aplica la ecuación (Meneses 2002) por la que se calcula la digestibilidad aparente de un alimento en una ración mixta.

$$D_A = X_i D_x + Y_i D_y$$

Al conocer  $D_A$ ,  $X_i$ ,  $D_x$  y  $Y_i$  la ecuación de la incógnita nos resolverá la digestibilidad del alimento problema

$$D_y = \frac{D_A - X_i D_x}{Y_i}$$

Donde

$D_A$  = Digestibilidad aparente de la ración

$X_i$  = Cantidad de nutriente ingerido del alimento x

$D_x$  = Digestibilidad del alimento x

$Y_i$  = Cantidad de nutriente ingerido del alimento Y

$D_y$  = Digestibilidad del alimento y (problema).

#### 4.1.11. Digestibilidad intestinal

A partir de los valores de degradabilidad ruminal y de la digestibilidad *in vivo* de la MS, FDN y FDA se estimó la digestibilidad intestinal, con la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad intestinal} = \text{Digestibilidad in vivo} - \text{Degradabilidad ruminal}.$$

Los valores de degradabilidad ruminal considerados fueron los de la degradación potencial (DP), a 72 horas (a+b), y la degradabilidad efectiva  $(a+b*(c/c*kp))$  con dos valores de tasa fraccional de paso (kp)  $kp = 0.026/h$  (Tisserand, 1991) equivalentes a 38.46 y 0.08/h (Pch) y 0.083/h (Pgr), estos valores fueron obtenidos a través de la fórmula #32 de Tedeschi et al (2010), que son equivalentes a 12.5 y 12.04 horas de permanencia en el rumen, lo que indica el efecto de la kp en la digestibilidad ruminal y paso de alimento al intestino.

#### 4.1.12. Análisis estadístico

El diseño estadístico fue cruzado (Steel y Torrie, 1986), y consistió en 2 periodos de muestreo por animal y en cada uno recibió una dieta diferente cada periodo. Se realizó un análisis de varianza, tomando en cuenta el tratamiento, periodo y la interacción entre estos bajo el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + T_j + (L \times T)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

$Y_{ijk}$  = la observación de el  $i$ -ésimo tipo de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el  $j$ -ésimo periodo con el  $k$ -ésimo error experimental.

$\mu$  = la media general.

$L_i$  = el  $i$ -ésimo tipo de nopal.

$T_j$  = el  $j$ -ésimo periodo.

$(L \times T)_{ij}$  = la  $ij$ -ésima interacción entre L y T.

- $\varepsilon_{ijk}$  = el  $ijk$ -ésimo error experimental.

El test de medias que se utilizó en los análisis de varianza fue Duncan. Para el caso de la composición bromatológica se realizara una comparación de medias mediante la prueba t- Student ( $P < 0.01$ ).

## **4.2. Experimento 2. Comparación de 5 especies de nopal silvestre**

### **4.2.1. Diseño del experimento**

La colección de los nopales silvestres se realizó en las áreas de agostadero de la Facultad de Ciencias Naturales campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, las especies fueron seleccionadas de acuerdo a la presencia de las especies. La colección de líquido ruminal se llevó a cabo con animales fistulados que se encontraban en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP CENID-Fisiología animal). La degradación *in vitro* fue realizada en el Laboratorio de Morfofisiología Animal de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

#### 4.2.2. Composición nutricional

Las pruebas analíticas para la caracterización del nopal fueron: determinación de la materia seca (MS), cenizas, materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) (N x 6.25) de acuerdo a AOAC (1984), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa según Van Soest *et al.* (1991), así como también el nitrógeno unido a FND y a FDA de acuerdo a Licitra *et al.* (1996). La determinación de los componentes minerales del nopal se realizó por espectrometría de emisión óptica inductiva acoplada a plasma (OES-IP), de acuerdo a la técnica recomendada por Kawas y Pérez (2008).

#### 4.2.3. Degradabilidad *in vitro*

Para la degradabilidad *in vitro* se utilizaron las cuatro especies de nopales silvestres identificados en el campus Amazcala y *Opuntia ficus indica*. La metodología utilizada fue la recomendada por Mehrez y Ørskov (1977) para la evaluación de la degradabilidad *in situ* con adaptaciones a las condiciones *in Vitro*.

#### 4.2.4. Cinética de la degradación

La degradabilidad de la MS, PC, FDN y FDA se estimaron de acuerdo a la ecuación recomendada por Ørskov y McDonald (1979):

$$Dg = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

Dg = Degradación del nutriente en el tiempo de incubación t (%)

- a = Fracción soluble o rápidamente degradable (%)
- b = Fracción potencialmente degradable (%)
- c = Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h)
- t = Tiempo (h)

#### 4.2.5. Análisis estadístico

El diseño estadístico fue completamente al azar teniendo como modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$  = la observación de el  $i$ -ésimo tipo de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el  $j$ -ésimo error.

$\mu$  = la media general.

$T_i$  = el  $i$ -ésimo tipo de nopal.

$\varepsilon_{ij}$  = el  $ij$ -ésimo error experimental.

El test de medias que se utilizó en los análisis de varianza fue Duncan. Para el caso de la composición nutrimental y cinética de la degradación se realizó una comparación de medias mediante la prueba t- Student ( $P < 0.01$ ).

Para la degradación *in vitro* se realizó un análisis de varianza, para un diseño completamente al azar con arreglo factorial (5 tratamientos y 11 tiempos), se comparó cada tratamiento a diferentes tiempos y en cada tiempo se comparó entre tratamientos.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**5.1. Experimento 1. Efecto del tamaño de la penca del nopal verdulero (*Opuntia ficus indica* var. Copena) en la composición nutricional, digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal.**

**5.1.1. Composición nutricional**

En el cuadro 3, se muestra la composición nutrimental de la penca de nopal de acuerdo a su tamaño, en el cual se puede observar que las pencas de mayor tamaño presentaron un menor contenido de Materia Seca (MS) y Materia Orgánica (MO) y lignina. Sin embargo, el contenido de Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Acido (FDA), Proteína Cruda unida a Fibra Detergente Acido (PC-FDA) y Cenizas fueron mayores en la penca grande ( $P < 0.001$ ), lo cual ha sido mencionado por varios autores (Van Soest, 1994; Ben Salem y T. Smith, 2008; NRC, 2007). Por otra parte, el contenido de diferentes nutrientes es muy variable, y es afectado en forma importante por la variedad de *Opuntia* utilizada. Sin embargo, los resultados observados en este trabajo se encuentran dentro de los rangos encontrados por otros autores con diferentes especies de nopal (Ben Salem y T. Smith, 2004; Misra et al., 2006; Tegegne et al., 2007; Vierira et al., 2008). Los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que el nopal evaluado, presentó un reducido contenido de materia seca (MS) y de proteína cruda (PC), sin embargo, el contenido de carbohidratos no fibrosos ( $CNF = 100 - (PC + FDN + Cenizas + EE)$ ) fue de 35 al 40 %, lo que se puede considerar como una característica deseable al estar asociado con el contenido de energía y con el aporte de cadenas carbonadas a los microorganismos ruminales

estimulando su síntesis. Por otra parte, el reducido contenido de MS y por lo tanto exceso de agua, es considerado como uno de los elementos de mayor importancia en las *Opuntias*, principalmente en regiones en donde el agua es el nutriente deficiente, tales como las regiones semiáridas, en donde se encuentra la mayor parte de la población caprina. Se ha observado que la suplementación con nopal, permite una reducción en el consumo de agua de bebida, al ser substituido por el agua consumida por medio del nopal (Tegegne et al. 2007; Costa et al.2009).

**Cuadro 3.- Composición nutricional (%) de las pencas de nopal (*Opuntia ficus indica* var. Copena) de acuerdo a su tamaño (Penca chica : Pch; Penca grande: Pgd)**

	Pch	Pgd	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
MS	16.52	15.47	0.993	***
MO	86.60	83.54	0.099	***
PC	4.55	5.22	0.113	***
FDN	35.85	39.63	1.307	***
FDA	20.23	21.33	0.825	***
Lignina	2.54	2.35	0.466	***
PC-FDN	4.50	5.19	0.606	NS
PC-FDA	1.36	1.76	0.045	***
Cenizas (minerales)	13.39	16.45	0.099	***

<sup>1</sup>EE±: Error Estandar. <sup>2</sup>Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

En el cuadro 4 se presenta la composición mineral de las pencas de nopal de acuerdo a su tamaño. En forma general, los nopales presentan un elevado contenido de cenizas (minerales) que en este trabajo fue de 13.39% y 16.45% para la penca de nopal chica y grande respectivamente (P<0.001), de los cuales

hay que destacar el elevado contenido de calcio (3.6 – 3.8%), el cual es superior al observado en otros granos o forrajes. El grano de maíz presenta un contenido de 0.02% a 0.10% de Ca en relación a MS, y la alfalfa de 1.2 a 1.7% NRC (1980). Por otro lado, la cantidad de Selenio contenido en las pencas de nopal estudiadas fue reducido, la penca grande presentó un contenido de 35.59ppb y en la penca chica no se pudo detectar en el análisis de laboratorio, de la misma forma el contenido de cobalto también fue reducido (2463 y 551 ppb, en la penca chica y grande respectivamente), esto sugiere la necesidad de considerar estos elementos en la suplementación cuando se usa el nopal como fuente de forraje. Por otra parte, es importante considerar que no se evaluó la disponibilidad de dichos minerales, siendo esto un factor a considerar, además del contenido de estos en forma de Oxalatos que presenta una reducida disponibilidad, Rodriguez-Garcia et al (2007) trabajando con distintos tamaños de penca de nopal *Opuntia ficus indica* encontró que nopales pequeños con peso de 60 gramos, contenían 7.95 mg/g de oxalato de calcio, y pencas mas grandes (200g) contenían 3.47 mg/g.

**Cuadro 4. Composición mineral de las pencas de nopal de acuerdo a su tamaño**

	<b>Pch</b>	<b>Pgd</b>
Ca(%)	3.63	3.86
P(%)	0.12	0.11
Mg(%)	1.24	1.24
Na(%)	0.02	0.02
K(%)	0.99	1.38
Fe(ppm)	4305.83	1275.92
Mn(ppm)	38.18	15.33
Zn(ppm)	20.53	10.09
Cu(ppm)	2.47	1.88
Mo(ppm)	2.99	2.65
Se(ppb)		35.59
Co(ppb)	2463.33	551.25

En el cuadro 5, se presenta el contenido nutricional de las dietas experimentales, debiéndose considerar que las raciones que contenían el nopal (Pch y Pgd) se encontraban compuestas por 80% de la ración control y 20% de penca de nopal ya sea chica (Pch) o grande (Pgd). Las raciones diseñadas eran isoprotéicas e isoenergéticas, siendo su función el evitar efectos debidos al contenido nutricional de la ración y solo evaluar el efecto de la utilización de pencas de nopal; sin embargo, la inclusión de penca, permitió una disminución del 14% en el contenido

de MS y 4% en el de fracciones fibrosas, sin afectar en el contenido de PC y MO (Cuadro 5).

**Cuadro 5.- Contenido nutricional de las dietas experimentales (%)**

	<b>Control</b>	<b>Pch</b>	<b>Pgd</b>
Nutriente			
MS	88.97	74.5	74.3
FDA	38.30	34.6	34.9
FDN	53.00	49.2	49.9
PC	7.56	6.9	7.0
Lignina	4.07	3.8	3.8
MO	87.85	87.6	87.0
PC-FDN (%MS)	5.00	5.00	5.3
PC-FDA (%MS)	1.70	1.70	1.8
PC-FDN (%PC)	66.13	72.46	75.71
PC-FDA (%PC)	22.48	24.63	25.71
Cenizas	12.14	12.4	13.0

En el cuadro 6 se presenta el efecto de la inclusión de penca de nopal de diferente tamaño o madurez en el consumo de alimento, pudiéndose observar que, aún cuando el alimento se ofreció en forma restringida (56 g/kg de PV<sup>0.75</sup> o 2.1% del PV), el consumo de materia seca fue el mismo en la dieta control y las dietas experimentales. Así mismo, se presentó una disminución en el consumo de PC y fracciones fibrosas (P<0.01) en las raciones que contenían nopal, lo que probablemente se debió al menor contenido de estos nutrientes en la penca. Sin

embargo, la ingestión de PC y de las fracciones fibrosas fue mayor en las dietas adicionadas con Pgd en comparación con la Pch. En relación a esto, Veras et al (2002) en un experimento con ovinos, menciona que el adicionar nopal a la dieta no afectó el consumo.

**Cuadro 6.- Efecto del tamaño de la penca en la ingestión de nutrientes de las raciones experimentales**

	Control	Pch	Pgd	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
IMS g/día	968	956	986	42	NS
IMOG/día	883	885	904	11	NS
IPC g/día	80 <sup>a</sup>	71 <sup>b</sup>	76 <sup>c</sup>	10	***
IFDN g/día	513 <sup>a</sup>	468 <sup>b</sup>	495 <sup>c</sup>	60	***
IFDA g/día	403 <sup>a</sup>	351 <sup>b</sup>	370 <sup>c</sup>	50	***
IMS g/kg PV <sup>0.75</sup>	55.72	56.48	55.50	0.62	NS
IMO g/kg PV <sup>0.75</sup>	51.00	52.00	51.00	0.001	NS
IPC g/kg PV <sup>0.75</sup>	4.63 <sup>a</sup>	4.20 <sup>b</sup>	4.27 <sup>c</sup>	0.04	***
IFDN g/kg PV <sup>0.75</sup>	29.70 <sup>a</sup>	27.71 <sup>b</sup>	27.72 <sup>b</sup>	0.35	***
IFDA g/kg PV <sup>0.75</sup>	23.35 <sup>a</sup>	20.76 <sup>b</sup>	20.86 <sup>b</sup>	0.24	***

<sup>1</sup> EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

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

En el cuadro 7 se presenta el efecto del tamaño de la penca de nopal en el coeficiente de digestibilidad de la MS, MO, PC, y fracciones fibrosas, observándose, que la inclusión de pencas grandes mejoró ( $P < 0.01$ ) la digestibilidad de la MO. Por otra parte, la inclusión de penca chica en la ración provocó una disminución en la digestibilidad de la PC ( $P < 0.05$ ), sin afectar la digestibilidad de las fracciones fibrosas. Los coeficientes de digestibilidad observados en ovinos por Tegegne et al (2007) con raciones con 20% de nopal), son similares a los observados en este experimento con rangos de 45 a 55%. Este autor menciona que aún cuando la digestibilidad de las Opuntias es elevada, su inclusión no estimula la digestibilidad de la dieta, por otra parte, menciona que la degradabilidad puede incrementarse por la inclusión de Opuntias. En relación a esto, Veras et al (2002) y Bezerra de Andrade (2002) en un experimento con ovinos y con un 25 % de inclusión de nopal en la dieta obtuvieron valores mayores a los presentados en este trabajo (60 al 70 % ) y concluyen que al adicionar el nopal en la dieta no se ve afectado el consumo de nutrientes y la digestibilidad de los mismos.

### **5.1.3. Balance de nitrógeno**

En el cuadro 8 se presenta el efecto del tamaño de la penca de nopal en el balance de nitrógeno (N), observándose que el consumo de nitrógeno (N) fue menor ( $P < 0.001$ ) en las raciones con *Opuntia*, Sin embargo, el balance de nitrógeno solo fue menor en la ración con penca chica, la cual presentó un menor contenido de PC (4.5 % vs 5.2 % para Pch y Pgd respectivamente). El balance de

nitrógeno, fue positivo en todos los casos, y el consumo por kg de PV<sup>0.75</sup> se encuentra por arriba de los requerimientos de NRC (2007). Sin embargo, el contenido de PC-FDN en las Pch y Pgd corresponde a valores superiores del 90% de la proteína en el alimento, lo cual podría indicar una baja digestibilidad de ésta, demostrándose con el mayor contenido de N en heces (Van soest, 1994 y Licitra et al., 1996). Los resultados coinciden con los de diferentes autores (Ben Salem et al., 2004 y Misra et al., 2006).

**Cuadro 7.- Efecto del tamaño de la penca de nopal en la digestibilidad aparente (%) de los nutrientes.**

	Control	Pch	Pgd	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
<b>DMS</b>	57.2	59.3	61.8	1.2	NS
<b>DMO</b>	63.2 <sup>a</sup>	64.3 <sup>a</sup>	67.7 <sup>b</sup>	1.2	***
<b>DPC</b>	56.7 <sup>a</sup>	49.3 <sup>b</sup>	57.5 <sup>a</sup>	1.9	*
<b>DFDN</b>	45.3	44.6	47.9	1.7	NS
<b>DFDA</b>	43.2	41.6	45.3	1.9	NS

<sup>1</sup> EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Cuadro 8.-Efecto del tamaño de la penca de nopal en el balance de nitrógeno**

	Control	Pch	Pgd.	EE± <sup>1</sup>	Sig <sup>2</sup>
<b>N consumido</b>	12.7 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	12.1 <sup>c</sup>	0.1	***
<b>N en Heces</b>	4.8	5.7	4.9	0.3	NS
<b>N en orina</b>	3.1	3.2	3.3	0.2	NS
<b>Balance de nitrógeno</b>	4.8 <sup>a</sup>	2.4 <sup>b</sup>	3.7 <sup>a</sup>	0.3	***
<b>N consumido (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.74 <sup>a</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.68 <sup>c</sup>	0.06	***
<b>N en orina (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.18	0.19	0.2	0.01	NS
<b>N en heces (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.27 <sup>a</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.16	*

<sup>1</sup>EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

#### 5.1.4. Consumo de agua

En el cuadro 9, se presenta el consumo de agua tanto fresca como contenida en el alimento, pudiéndose observar que el consumo de agua fluida fue menor (P<0.001) en los animales que consumieron raciones que contenían nopal. Sin embargo, el consumo de agua total (agua de bebida y contenida en el alimento) (ml/d) fue mayor en la ración Pch (P<0.01) debido al mayor contenido de este líquido en el nopal pequeño. Aún cuando la producción de orina (ml/d) fue mayor en las raciones Pgd (P<0.001) cuando ésta y el consumo se ajustaron al peso metabólico (kg PV<sup>0.75</sup>) los animales consumiendo la Pch presentaron una mayor producción de orina relacionado con el consumo y contenido de agua de la penca.

Datos similares fueron obtenidos por Costa et al (2009), quien encontró que el consumo de agua fresca disminuyó al incrementarse el consumo de *Opuntias*. Sin embargo, el consumo de agua total incluyendo la contenida en el alimento se incrementó. Por su parte Vieira et al (2008), menciona que además del incremento en el consumo de agua total con el uso de *Opuntias*, también se incrementa la diuresis, lo cual podría estar asociado al elevado contenido de potasio (0.99-1.38%) en las *Opuntias*.

**Cuadro 9.- Consumo de agua fresca y contenida en el alimento de caprinos alimentados con raciones con 20% de penca de nopal (*Opuntia ficus indica* var. *Copena*) de diferentes tamaños.**

	Control	Pch	Pgd	EE± <sup>1</sup>	Sig.
Consumo de agua fresca (ml)/d	1907.2 <sup>a</sup>	1644.3 <sup>a</sup>	1420.7 <sup>b</sup>	107.5	***
Consumo de H <sub>2</sub> O <sup>1</sup> total (ml/d)	2030.19 <sup>a</sup>	2946.31 <sup>b</sup>	2696.68 <sup>c</sup>	107.5	***
				56.1	
Orina ml/d	743.07 <sup>a</sup>	1161.64 <sup>b</sup>	1228.03 <sup>b</sup>		***
Consumo de agua fresca (ml)/kg PV <sup>0.75</sup>	113.48 <sup>a</sup>	97.41 <sup>a</sup>	80.44 <sup>b</sup>	6.2	**
Consumo de H <sub>2</sub> O total (ml/kg de PV <sup>0.75</sup> )	120.66 <sup>a</sup>	174.24 <sup>b</sup>	152.57 <sup>c</sup>	6.5	***
Orina ml/kg de PV <sup>0.75</sup> )	44.34 <sup>a</sup>	71.87 <sup>b</sup>	69.71 <sup>c</sup>	3.8	***

<sup>1</sup> Se consideró el consumo de agua fresca y el consumo de agua contenida en el alimento.

Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

### **5.1.5. Degradación *in vitro* de la Materia Seca en pencas de nopal de dos tamaños**

Los resultados de la degradación de la MS se pueden observar en el cuadro 10 y grafica 1, en donde se puede observar que, las degradaciones de las pencas de diferente tamaño fueron similares a través del tiempo ( $P>0.005$ ). El comportamiento degradativo inició con una degradación promedio de 32.7%, y así continuó su degradación hasta las 6 horas, en donde se estabilizó hasta las 8 horas y continuó con un incremento entre las 12 a las 72 horas, alcanzando un total de 51.9% de degradación.

Villegas-Díaz et al.(2009) realizando pruebas de degradabilidad *in situ* en caprinos y comparando pencas de nopal de diferentes tamaños, encontró valores similares en la degradación de la MS en los dos tamaños de penca (27-29%) al inicio de la degradación, sin embargo, a partir de las 24 horas de incubación, los resultados difieren de los obtenidos en este experimento, ya que aumenta del 50 hasta 85% a las 72 horas, en comparación con el 50 % obtenido a 72 horas en este experimento.

En la gráfica 1 se puede observar el comportamiento degradativo de la MS a través del tiempo (hasta 72 horas) en donde la penca de nopal grande, desde el inicio de la degradación alcanza un porcentaje de degradación mayor que la penca chica; al final de la degradación la penca grande alcanzó un 53.7% en contra de 50.1% en la penca chica, en relación a esto Teixeira et al (1999), menciona que la degradabilidad de la materia seca de las pencas de nopal es similar a lo

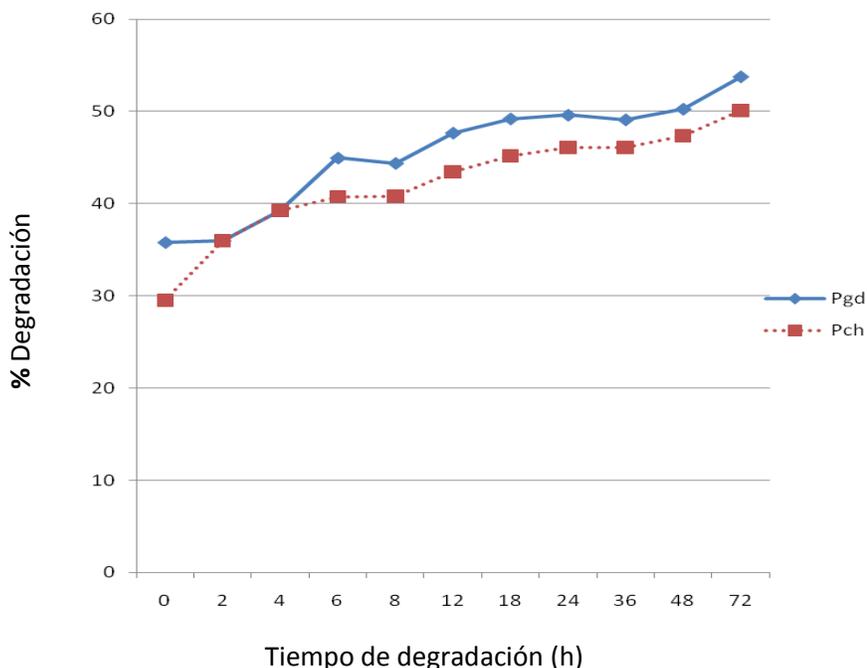
observado en este trabajo, sin embargo, se ve influenciada por la edad, es decir, a mayor edad de la penca, mayor será su degradabilidad.

**Cuadro 10. Degradación *in vitro* de la MS de dos tamaños de penca de nopal verdulero**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	35.8 <sup>a</sup>	36.0 <sup>b</sup>	39.2 <sup>b</sup>	44.9 <sup>c</sup>	44.3 <sup>c</sup>	47.6 <sup>c</sup>	49.2 <sup>c</sup>	49.6 <sup>d</sup>	49.1 <sup>d</sup>	50.3 <sup>e</sup>	53.7 <sup>f</sup>	45.8	2.2	***
<b>EE±</b>	2.2	2.5	2.5	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2			
Pch	29.5 <sup>a</sup>	36.0 <sup>b</sup>	39.2 <sup>b</sup>	40.7 <sup>c</sup>	40.8 <sup>c</sup>	43.5 <sup>c</sup>	45.8 <sup>c</sup>	46.1 <sup>d</sup>	46.1 <sup>d</sup>	47.4 <sup>e</sup>	50.1 <sup>f</sup>	42.2	2.5	***
<b>EE±</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
X	32.7	36.0	39.3	42.9	42.6	45.6	47.2	47.9	47.6	48.8	51.9			
<b>EE±</b>	3.13	0	0	2.1	1.79	2.10	2.01	1.75	1.52	1.44	1.84	1.0		
Sig	NS	***												

EE±: Error Estandar. Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001), a , b, c, d, e , f = Dif (P<0.05) dentro de renglón.

**Gráfica 1. Degradación *in vitro* de la Materia seca de dos tamaños de penca de nopal en el tiempo**



### **5.1.6. Cinética de degradación *in vitro* de MS**

En el cuadro 11 se presenta la cinética de degradación de la MS, los resultados muestran que la penca grande presenta una mayor ( $P < 0.001$ ) fracción soluble (a) (32.26%). En cuanto al comportamiento de fracciones de lenta degradación (b) la penca grande presentó una degradación de 17.11% en comparación a la penca chica que mostró un valor más bajo de 16.48 ( $P < 0.001$ ). La tasa fraccional de paso también fue menor ( $P < 0.001$ ) en la penca chica, con un valor de 0.136. El resultado de esto nos da una mayor ( $P < 0.001$ ) degradabilidad potencial en la penca grande (49.38%) en comparación a la penca chica (47.41%).

En la gráfica 2 se aprecia mejor la cinética de la degradación de la MS a través del tiempo, en donde se observa una alta fracción soluble(a) que se degrada en las primeras 12 horas, siendo mayor en la penca grande (32.26%), y a partir de las 24 horas se observa una degradación más lenta hasta la 72 horas (49.38%). Cerrillo et al. (2004) utilizando la técnica de producción de gas en *Opuntia spp* observó también una degradabilidad de 44.8%, lo cual es similar a los resultados obtenidos en este experimento, por el contrario, Villegas-Díaz (2009) obtuvo una degradación potencial del 80 al 90%; Teixeira et al (1999) y Carvalho et al (2006) , encontraron comportamientos similares a los encontrados en este trabajo, sin embargo, los resultados de la degradación potencial fueron mayores (68%).

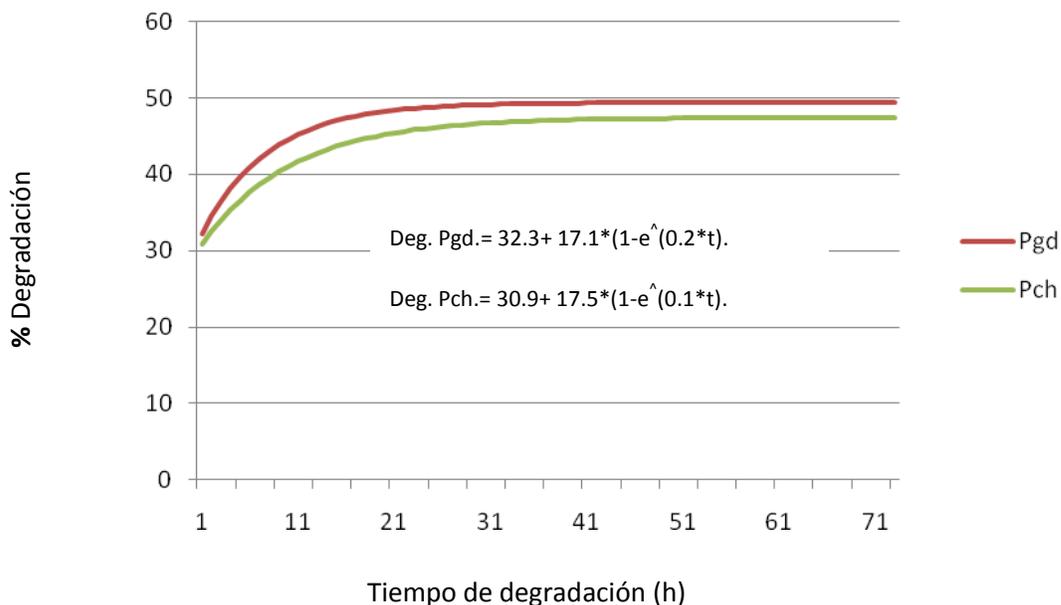
Al aplicar una tasa de paso ( $K_p$ ) se considera el tiempo de permanencia del alimento en el rumen, por lo que mientras menos tiempo permanezca en el rumen, menor será su degradación efectiva ruminal.

**Cuadro 11. Cinética de la degradación *in vitro* de la MS de dos tamaños de penca de nopal.**

MS	a	b	c	Deg. Potencial <sup>1</sup>	Deg. Efectiva				R <sup>2</sup>	EE±
				a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Pgd	32.3 <sup>a</sup>	17.1 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	49.4 <sup>a</sup>	47.2 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	45.1 <sup>a</sup>	44.2 <sup>a</sup>	85.5	2.4
Pch	30.9 <sup>b</sup>	16.5 <sup>b</sup>	0.1 <sup>b</sup>	47.4 <sup>b</sup>	44.8 <sup>b</sup>	43.7 <sup>b</sup>	42.4 <sup>b</sup>	41.3 <sup>b</sup>	86.1	1.9
<b>X</b>	31.3	16.8	0.1	48.4	46.0	45.0	43.8	42.7	85.8	2.2
<b>EEM±</b>	0.9	0.4	0.1	1.4	1.7	1.8	1.9	2.0	0.5	0.3
<b>Sig.</b>	**	**	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h) D.efectiva= a+b/(c+kp), kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 2. Cinética de la degradación *in vitro* de la MS de dos tamaños de penca de nopal.**



### **5.1.7. Degradación *in vitro* de la Proteína Cruda en dos tamaños de penca de nopal verdulero.**

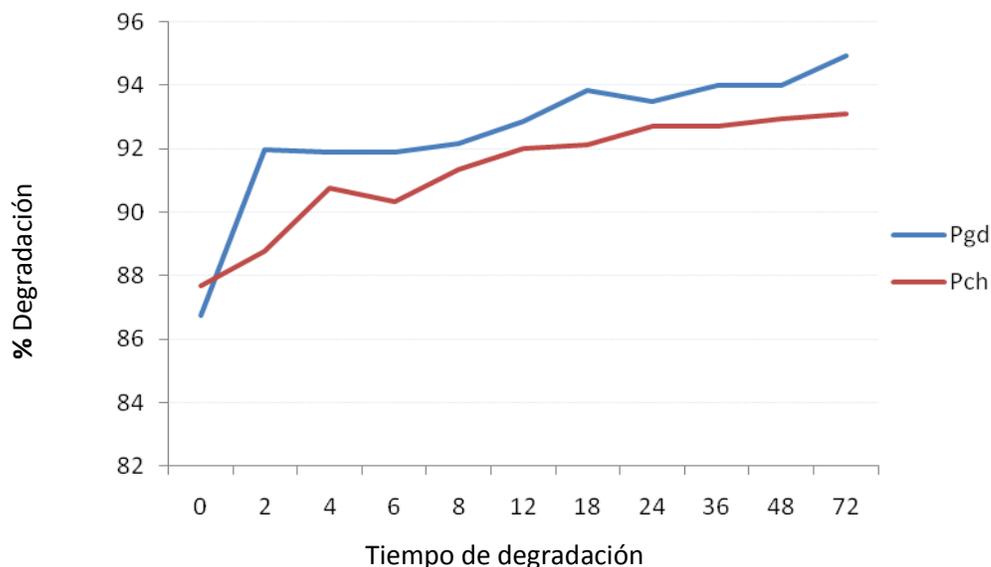
La degradación de la PC de la penca chica y grande se observan en el cuadro 12, donde se puede observar que al tiempo 0 se degrada un promedio de 87.21% de la Pc, y a partir de ahí sube ligeramente a las 2 horas y se estabiliza en adelante hasta las 72 horas, siendo mayores los valores de degradación en la penca grande, estos resultados pueden ser debido a la poca cantidad de PC que contienen los nopales. Carvalho et al (2006) en su trabajo de degradabilidad de nopal, encontró que la degradación de la PC del nopal llegaba hasta el 94%, mientras que, Villegas –Díaz (2009) mostró con *Opuntia ficus indica* un comportamiento diferente, al iniciar con un 17- 20 % de degradación al tiempo 0 con incrementos hasta las 24 horas, alcanzando valores de 80 a 90 % de degradación a las 72 horas. Teixeira et al (1999) en degradaciones *in situ* con nopales de distintas edades también encontró que la PC se degradó de un 80 a 90 %, iniciando la degradación con valores del 30 al 40 %, mencionando que en cladodios más viejos es mayor la cantidad de N no ligado a la pared celular. Este comportamiento se aprecia mejor en la grafica 3, en donde, la penca grande de nopal es superior en la degradación, desde las primeras horas, hasta las 72 horas de digestión.

**Cuadro 12. Degradación *in vitro* de la PC de dos tamaños de penca de nopal verdulero**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	86.7	93.9	91.9	91.9	92.1	92.8	93.8	93.5	94.0	93.9	94.9	92.7	7.5	NS
<b>EE±</b>	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5			
Pch	87.7	88.7	90.7	90.3	91.3	91.9	92.2	88.6	92.7	92.9	93.1	90.9	7.5	NS
<b>EE±</b>	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6			
X	87.2	91.4	91.3	91.1	91.7	92.4	92.9	91.0	93.9	93.5	94.0	91.8	7.5	
<b>EE±</b>	0.5	2.6	0.6	0.8	0.4	0.4	0.8	2.4	0.6	0.5	0.9	0.8		
Sig	NS													

EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001) a , b, = Dif (P<0.05) dentro de renglón.

**Gráfica 3. Degradación *in vitro* de la PC de dos tamaños de penca de nopal.**



#### **5.1.8. Cinética de la degradación *in vitro* de PC**

En el cuadro 13 se observa la cinética de degradación *in vitro* de la PC, en donde se puede ver que en la fracción soluble (a) es mayor ( $P < 0.001$ ) en la penca chica del nopal (77.36%), mientras que la fracción (b) es mayor en ( $P < 0.001$ ) en la penca grande (14.19%), la tasa fraccional de paso (c) fue diferente ( $P < 0.001$ ) para ambos tamaños, siendo la penca grande la que presentó una mayor tasa de paso (0.40). Como resultado de esto, se obtuvieron degradaciones potenciales de 85.39% (Pch) y 89.29% (Pgd). Esta diferencia en la fracción (a) hace que el nopal chico se degrade rápidamente dentro de las primeras horas, como se puede observar en el gráfico 3 y 4, sin embargo, el nopal grande al tener una mayor fracción (b), se degrada lentamente hasta las 72 horas, alcanzando así un porcentaje más alto de degradación.

Teixeira et al (1999) y Carvalho et al (2006) observaron degradaciones potenciales similares a las encontradas en este trabajo, pero los resultados de la fracciones soluble (a) y la fracción lentamente degradable (b) son menores a los aquí mostrados, sin embargo, el comportamiento del nopal es similar, es decir, la PC de la penca grande de nopal es mejor degradada que la PC de la penca chica.

Villegas-Díaz (2009), mostró resultados en la degradación potencial de 65% en las pencas grandes, sin embargo para la penca chica los resultados obtenidos fueron mayores (105.92%). Los valores de las fracciones solubles fueron menores a los que presentados en este trabajo, mientras que, los valores de la fracción lenta pero potencialmente degradable (b) fueron superiores (50 -80%).

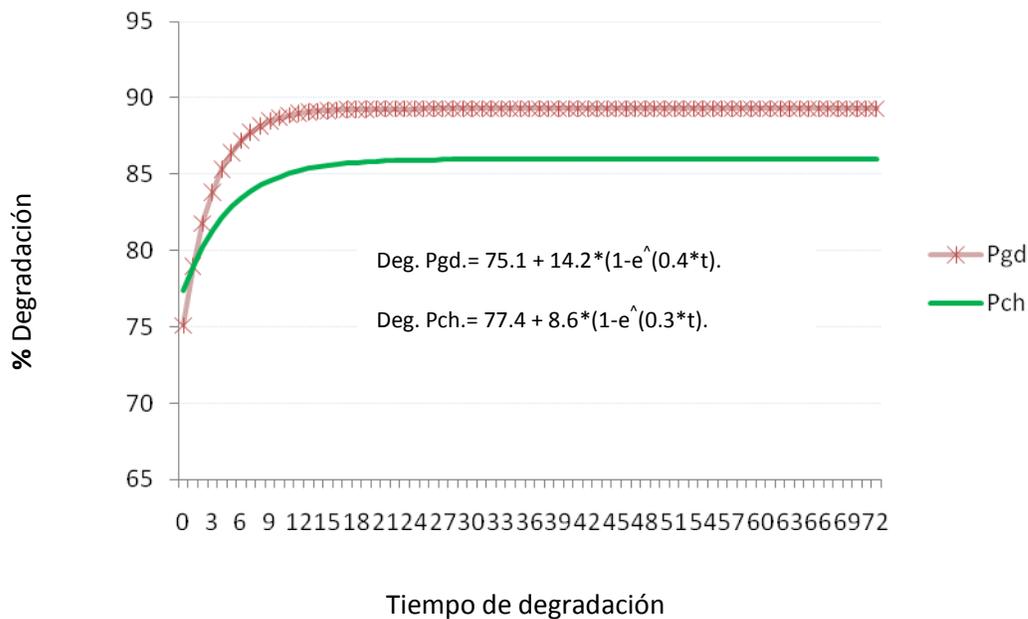
La cinética de la degradación de la PC se puede observar mejor en la grafica 4 en donde se aprecia como la fracción soluble (a) en la penca chica es superior y es degradada en las primeras 3 horas, y a partir de ese momento, se ve superada por la penca grande, que se va degradando lenta pero constantemente hasta llegar a su máxima degradación a las 24 horas de y estabilizándose hasta las 72 horas. Con estos valores se podría inferir que la PC del nopal es fácilmente degradada en el rumen.

**Cuadro 13. Cinética de la degradación *in vitro* de la PC de dos tamaños de penca nopal verdulero**

PC	a	b	c	Deg. Potencial	Deg. Efectiva				R <sup>2</sup>	EE±
				a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Pgd	75.1 <sup>a</sup>	14.2 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	89.3 <sup>a</sup>	88.4 <sup>a</sup>	88.0 <sup>a</sup>	87.5 <sup>a</sup>	87.0 <sup>a</sup>	83.3	1.9
Pch	77.4 <sup>b</sup>	8.6 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	85.9 <sup>b</sup>	85.2 <sup>b</sup>	84.8 <sup>b</sup>	84.4 <sup>b</sup>	83.9 <sup>b</sup>	28.1	3.6
<b>X</b>	76.2	11.4	0.3	87.6	86.8	86.4	85.9	85.5	55.7	2.7
<b>EEM±</b>	1.6	3.9	0.1	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1		
<b>Sig.</b>	***	***	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h). D.efectiva=  $a+b/(c+kp)$ , kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 4. Cinética de la degradación *in vitro* de la PC de pencas de nopal de dos tamaños.**



### **5.1.9. Degradación *in vitro* de FDN en dos tamaños de penca de nopal verdulero**

El comportamiento degradativo de la FDN se muestra en el cuadro 14, iniciando al tiempo 0 con un valor promedio de 30.46% y aumentando su valor hasta las 12 horas, de ahí en adelante se estabiliza su degradación. Villegas- Díaz (2009) obtuvo resultados similares a los aquí mostrados, ya que al tiempo 0 encontró degradabilidades del 19 al 38 %; sin embargo, a partir de las 9 horas los resultados difieren, alcanzando a las 72 horas una degradación alrededor del 80% (vs. 44.09% en el presente experimento).

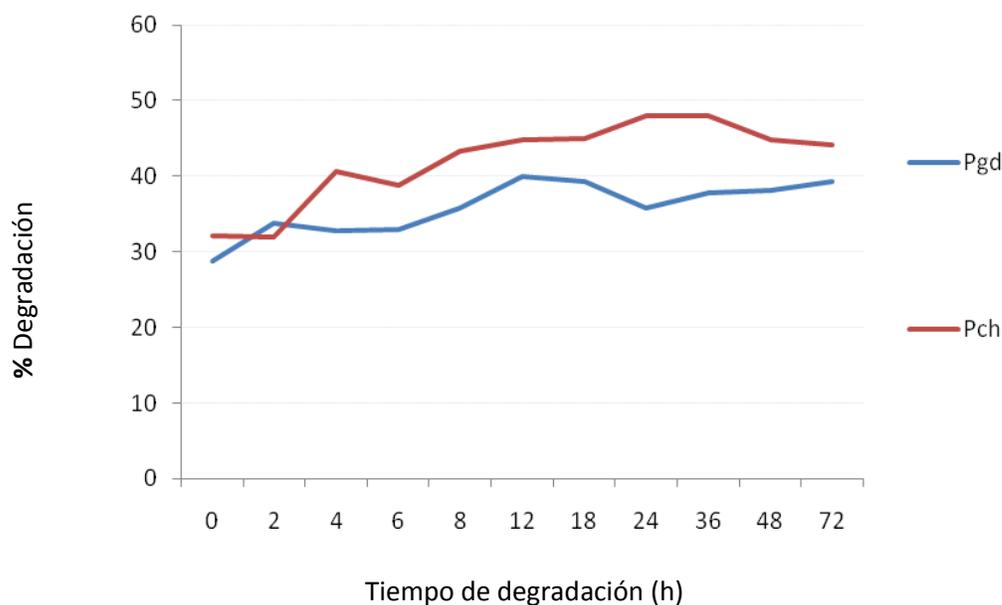
La degradabilidad de un alimento depende de sus características químicas así como del contenido de FDN y FDA (Van Soest et al, 1982, Andrade 2005), por lo que en las plantas jóvenes como la penca chica se observa una mayor degradación y digestibilidad esto se puede apreciar mejor en la gráfica 5, donde desde las primeras horas, la degradación de FDN de la penca de nopal chica es superior. Teixeira et al (1999) en su trabajo con distintas edades de nopal encontró en pencas jóvenes una mayor degradación potencial (95%), esto debido a la menor fracción fibrosa que presenta la planta. Ramírez et al. (2000) menciona que los forrajes con reducido contenido de pared celular y elevada degradabilidad efectiva son altamente consumidos por los animales, ya que altos niveles de pared celular limitan la tasa y grado de degradación ruminal de los forrajes. La degradación del nopal puede ser comparada con la degradación de otro tipo de forrajes utilizados más comúnmente tal como la alfalfa (*Medicago sativa*) (Ramírez et al 2000).

**Cuadro 14. Degradación *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	28.8 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>	32.7 <sup>b</sup>	32.9 <sup>b</sup>	35.8 <sup>b</sup>	39.9 <sup>b</sup>	39.2 <sup>c</sup>	35.7 <sup>c</sup>	37.7 <sup>c</sup>	38.2 <sup>c</sup>	39.3 <sup>c</sup>	35.2	3.3	***
<b>EE±</b>	3.5	3.9	3.2	3.2	3.2	3.9	3.2	3.9	3.2	3.2	3.2			
Pch	32.1 <sup>a</sup>	32.0 <sup>a</sup>	40.6 <sup>b</sup>	38.7 <sup>b</sup>	43.3 <sup>b</sup>	44.8 <sup>b</sup>	45.1 <sup>c</sup>	53.6 <sup>c</sup>	48.0 <sup>c</sup>	44.9 <sup>c</sup>	44.1 <sup>c</sup>	42.6	3.4	***
<b>EE±</b>	3.9	3.5	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.9	3.9	3.2	3.9			
X	30.4	32.8	36.7	35.8	39.5	42.4	42.2	44.6	42.8	41.5	41.7	38.9	3.3	
<b>EE±</b>	3.7	0.9	3.9	2.9	3.7	5.6	2.9	8.9	5.1	3.3	2.4	3.7	0.1	
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	NS	*			

EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001) a , b, c, d, e , f = Dif (P<0.05) dentro de renglón.

**Gráfica 5. Degradación *in vitro* de la FDN en el tiempo**



#### **5.1.10. Cinética de la degradación *in vitro* de FDN**

Los resultados de la cinética de degradación de la FDN se puede observar en el cuadro 15, la fracción soluble (a) presentó un valor promedio de 31.56%, la fracción (b) presentó una media de 15.62 % sin encontrar diferencias significativas entre ambos tratamientos, sin embargo la tasa fraccional de paso (c) presentó diferencias, teniendo la penca chica una mayor ( $P < 0.001$ ) tasa de fraccional de degradación ( $0.28\% / h$ ) en comparación a la penca grande ( $0.06\%/h$ ). Estos valores dan como resultado una degradación potencial mayor ( $P < 0.001$ ) en la Pch (47.81%) al compararlo con la penca grande (46.57%).

A diferencia de Villegas-Díaz (2009) en la cinética de la degradación, la Pch se observó con valores superiores que la Pgd, aunque los resultados encontrados en este experimento son menores que los encontrados por Villegas-Díaz (70-90%) y Ramírez et al (2000) en *Opuntia lindehimeri* del 82%.

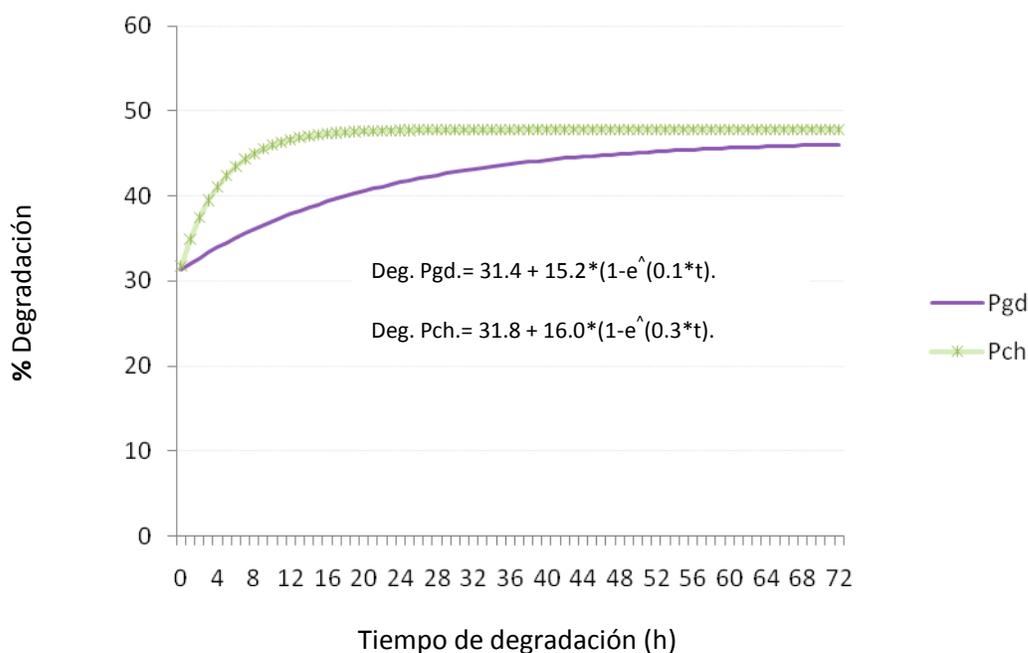
La cinética de la degradación de los dos tamaños de nopal se pueden observar en la gráfica 6, en donde la Pch inicia con valores superiores a la Pgd, estabilizándose su degradación cerca de las 12 horas, mientras que la penca grande de nopal, inicia su degradación y continua lenta y paulatinamente durante las 72 horas, sin embargo su degradación potencial y efectiva es menor que el de la Pch. A diferencia del comportamiento del nopal aquí mostrado Teixeira et al (1999) en su trabajo con diferentes edades de nopal, observó que los nopales con más edad tienden a aumentar la degradabilidad efectiva, esto debido a que presentan una mayor fracción fibrosa.

**Cuadro 15. Cinética de la degradación *in vitro* de FDN**

Fdn	Deg. Potencial			Deg. Efectiva				R <sup>2</sup>	EE±	
	a	b	c	a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06			Kp=0.08
Pgd	31.4 <sup>a</sup>	15.2 <sup>b</sup>	0.1 <sup>a</sup>	46.6 <sup>a</sup>	47.2 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	45.1 <sup>a</sup>	44.2 <sup>a</sup>	9.6	6.8
Pch	31.8 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	47.8 <sup>b</sup>	46.5 <sup>b</sup>	45.8 <sup>b</sup>	44.3 <sup>b</sup>	44.3 <sup>a</sup>	18.4	10.1
<b>X</b>	31.6	15.6	0.2	47.2	46.8	46.1	44.7	44.2	14.0	1.7
<b>EEM±</b>	0.3	0.6	0.1	0.9	0.5	0.3	0.6	0.1	6.2	2.3
<b>Sig.</b>	**	***	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$ , kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 6. Cinética de la degradación de la FDN en el tiempo**



### 5.1.11. Degradación *in vitro* de la FDA

La degradación *in vitro* de la FDA se presenta en el cuadro 16, donde se observan elementos de rápida degradación al tiempo 0, con un promedio de 23.77%, incrementando nuevamente hasta las 8 horas de digestión, y estabilizándose de las 12 a las 72 horas, teniendo una degradación final promedio de 34.55%. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en la gráfica 7 se puede observar que el nopal chico presentó una degradación promedio más alta (35.78%) que la Pg, esto debido a que las plantas jóvenes presentan una menor cantidad de fracción fibrosa (Teixeira et al 1999).

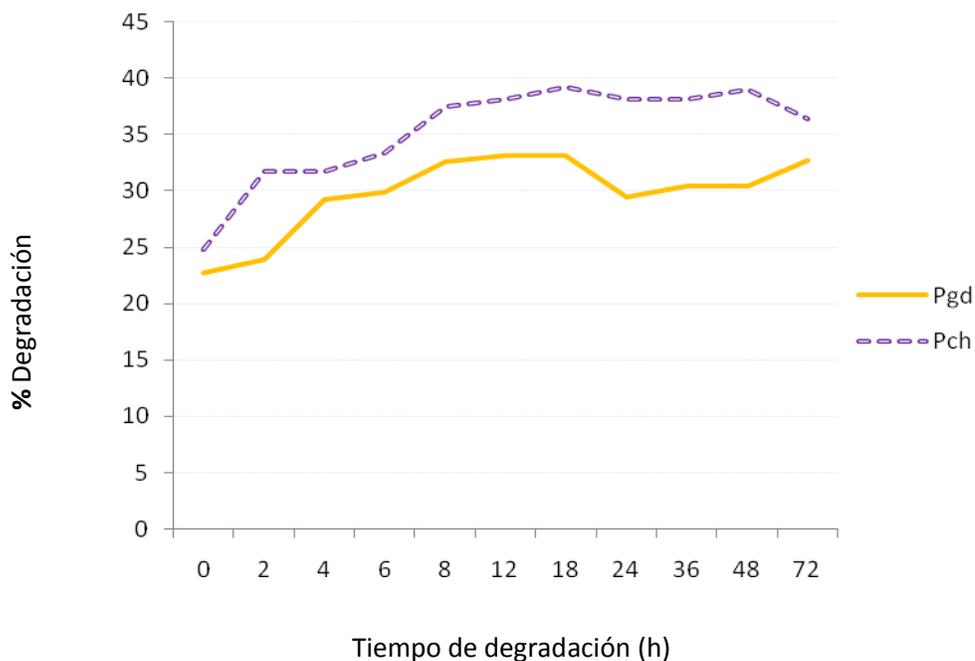
Los resultados al tiempo 0 son similares a los encontrados a Villegas-Díaz (2009) y a partir de la primera hora de digestión difieren con lo encontrado en este experimento, alcanzando una degradación promedio de 88 -100% a las 72 horas.

**Cuadro 16. Degradación *in vitro* de la FDA de dos tamaños de penca de nopal verdulero**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	22.7 <sup>a</sup>	23.9 <sup>b</sup>	29.2 <sup>b</sup>	29.9 <sup>b</sup>	32.6 <sup>b</sup>	35.7 <sup>b</sup>	33.1 <sup>b</sup>	29.5 <sup>b</sup>	30.5 <sup>b</sup>	30.4 <sup>b</sup>	32.7 <sup>b</sup>	30.0	2.3	***
<b>EE±</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4			
Pch	24.8 <sup>a</sup>	34.3 <sup>b</sup>	31.7 <sup>b</sup>	33.4 <sup>b</sup>	37.5 <sup>b</sup>	38.1 <sup>b</sup>	39.3 <sup>b</sup>	34.0 <sup>b</sup>	38.2 <sup>b</sup>	39.0 <sup>b</sup>	36.4 <sup>b</sup>	35.8	2.7	***
<b>EE±</b>	3.4	3.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6			
X	23.7	29.1	30.4	31.6	35.1	36.9	36.2	31.7	34.3	34.7	34.5	32.9		
<b>EE±</b>	1.0	5.2	1.2	2.0	2.0	1.2	2.1	2.2	3.4	3.2	1.8	2.8		
Sig	NS	NS	NS	***	*	Ns	**	NS	**	**	NS			

EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001), a , b, c, d, e , f = Dif (P<0.05) dentro de renglón.

**Gráfica 7. Degradación *in vitro* de FDA**



### **5.1.12. Cinética de la degradación de FDA**

En el cuadro 17 se presenta la cinética de la degradación de la FDA en los dos tamaños de *Opuntia ficus indica* var. Copena, en donde, los resultados indican, que la penca de nopal chica presenta una mayor ( $P < 0.001$ ) fracción soluble (a) (25.36%) que la Pg, así mismo, en la fracción (b) Pch presentó valores más altos ( $P < 0.001$ ) (14.75%) y la Pg (11.10%). En la tasa fraccional de degradación la Pg presentó valores más altos ( $P < 0.001$ ) siendo (0.54%/h), dando como resultado una degradación potencial promedio de 26.98%, siendo mayor ( $P < 0.001$ ) en la Pch (42.12%), esto se puede observar mejor en gráfica 8, donde la penca chica

desde las primeras horas se degrada rápidamente hasta las 18 horas, mientras la penca grande se degrada en menor cantidad.

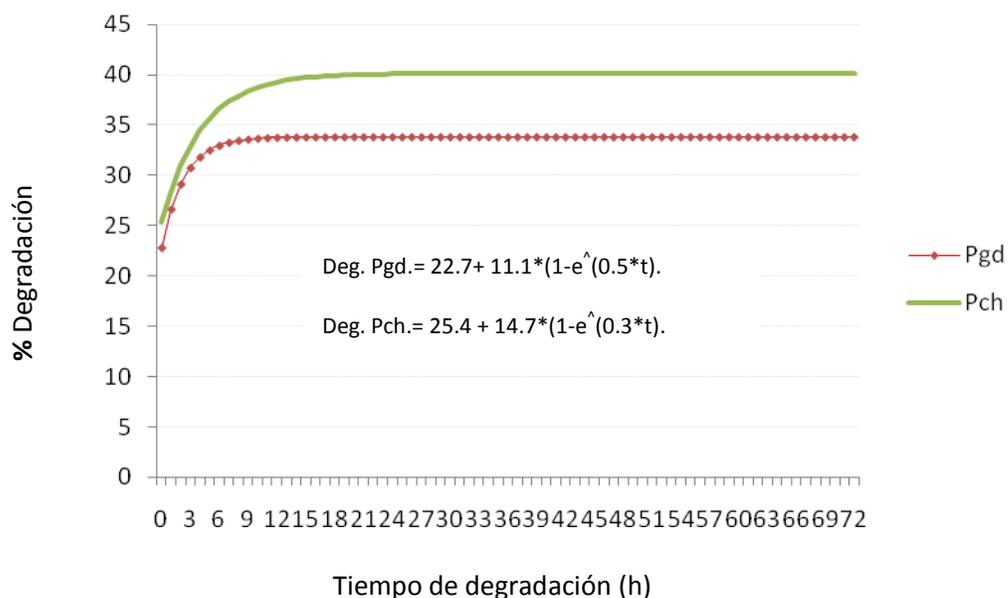
Los resultados encontrados en este experimento son más bajos a los encontrados por Villegas –Díaz (2009), quien menciona una degradación potencial del 80 al 90% (vs. 35-40%), sin embargo los valores de la fracción (C) son mayores (0.002 vs 0.54). Teixeira et al (1999) reportó una degradación efectiva con *Nopalea cochinillifera* (L) Lyons-Cactaceae del 15 al 19 %; estos resultados son menores que los presentados en este experimento.

**Cuadro 17. Cinética de la degradación *in vitro* de FDA**

Fda	a	b	c	Deg. Potencial	Deg. Efectiva				R <sup>2</sup>	EE±
				a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Pgd	22.7 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	33.8 <sup>a</sup>	33.3 <sup>a</sup>	33.1 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	32.4 <sup>a</sup>	43.4	4.2
Pch	25.4 <sup>b</sup>	14.7 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	40.1 <sup>b</sup>	38.9 <sup>b</sup>	38.4 <sup>b</sup>	37.7 <sup>b</sup>	37.0 <sup>b</sup>	44.7	5.3
<b>X</b>	24.0	12.9	0.4	27.0	36.1	35.8	35.2	34.74	44.1	4.8
<b>EEM±</b>	1.3	1.8	0.1	3.1	2.8	2.6	2.5	2.31	0.7	0.6
<b>Sig.</b>	***	***	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h) D.efectiva= a+b/(c/c+kp), kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 8. Cinética de la degradación *in vitro* de FDA**



### 5.1.13. Digestibilidad por diferencia y Digestibilidad intestinal

La digestibilidad por diferencia se calculó a partir del coeficiente de digestibilidad del concentrado y el coeficiente de digestibilidad de la ración completa, para de este modo, poder obtener la digestibilidad aparente del nopal que se encontraba en una ración mixta, utilizando la ecuación de Meneses (2002). Para la digestibilidad intestinal se consideró la digestibilidad *in vivo* menos la degradabilidad ruminal, considerada como la degradabilidad efectiva  $(a + b \cdot (c / (c + k_p)))$  con valores de tasa fraccional de paso ( $k_p$ )  $k_p = 0.026/h$  (Tisserand 1991) equivalentes a 38.46, y 0.08/h (Pch) y 0.083/h (Pgr), estos valores fueron obtenidos a través de la fórmula #32 de Tedeschi et al (2010), que

son equivalentes 12.5 y 12.04 horas de permanencia en el rumen , lo que indica el efecto de la kp en la digestibilidad ruminal y paso de alimento al intestino.

En el cuadro 18 se presenta el efecto que tiene el tamaño de la penca de nopal en la degradabilidad y digestibilidad de la materia seca, observándose que la degradabilidad potencial y efectiva de la MS de la penca grande es mayor ( $P < 0.001$ ) en relación a la de la a penca chica. Al utilizar las distintas tasas de paso, el tiempo de permanencia del alimento en el rumen afecta la digestibilidad ruminal. Esto va a determinar la digestibilidad intestinal (menor permanencia en el rumen , mayor digestión a nivel intestinal y viceversa), lo cual en el caso de la MS varió de 20 a 30 %. La capacidad de digestión del alimento en el intestino está limitada a la cantidad de enzimas que pueda producir el animal y el tiempo que estas enzimas pueden actuar (Orskov, 1986).

El tamaño de penca no afectó ( $P > 0.05$ ) la digestibilidad *in vivo* y degradabilidad de FDN y FDA (Cuadro 19 y 20). Así mismo, la digestibilidad intestinal de la MS, FDN y FDA tampoco fue afectada ( $P > 0.05$ ) al ser considerado para su estimación la degradabilidad potencial (72 h) así como la efectiva a 0.08/h (Pch) y 0.083/h (Pgr) (Tedeschi et al 2010). Con excepción del efecto de la disminución en la digestibilidad intestinal de la FDN en la que se consideró la degradabilidad potencial (72 h) en su estimación, provocó una mayor degradación ruminal y menor paso y digestibilidad en el intestino. En los resultados obtenidos por Souza et al (2009) muestran una tasa fraccional de paso de 0.07/h , similar a la tasa de desaparición obtenida en este trabajo utilizando la formula de Tedeschi et al (2010) . Con estas tasas de paso y de acuerdo a las estimaciones, se muestra una

digestibilidad intestinal de 29 a 32 % de la materia seca por hora, esto de acuerdo a Tisserand et al.(1991) sería por digestión cecal. Orskov (1986) al probar la fermentación cecal con borregos, encontró una baja en la concentración de Ms en heces, observando así la digestión intestinal.

**Cuadro 18.-Efecto del tamaño de la penca del nopal (*Opuntia ficus indica*) en la digestibilidad *in vivo* por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva considerando dos estimaciones de kp (Tedeschi et al 2010 y Tisserad et al. 1991) y digestibilidad intestinal de la MS.**

	Digestibilidad In vivo (Por diferencia)	D.P a 72 hr (a+b)	Deg.ef <sup>1</sup> Tisserad et al. (1991)	Deg.ef <sup>2</sup> Tedeschi et al. (2010)	D.I <sup>2</sup> (D.P:72 hr)	D.I Tisserad et al. (1991)	D.I Tedeschi et al. (2010)
Penca chica	61.70	47.41a	39.81	29.86a	14.29	21.89	31.84
Penca grande	62.99	49.41b	43.21	33.93b	13.61	19.78	29.06
SEM±	1.5	3.01	8.47	3.01	1.5	2.66	1.5
Sig.	NS	0.001	NS	0.001	NS	NS	NS

D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$  kp= tasa fraccional de paso/h.<sup>1</sup> kp= Pch 0.08/h, Pgd 0.083/h (Tedeschi et al. 2010).<sup>2</sup> kp= 0.024/h (Tisserad et al. 1991). D.P= Deg. Potencial=  $a+b*(1-e^{-(c*tiempo)})$ . D.I.= Digestibilidad intestinal = Digestibilidad in vivo- Degradabilidad ruminal.

**Cuadro 19.- Efecto del tamaño de la penca del nopal (*Opuntia ficus indica*) en la digestibilidad *in vivo* por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva (KP: 02, 04) y digestibilidad intestinal de la FDN.**

	Digestibilidad In vivo (Por diferencia)	D.P a 72 hr (a+b)	Deg.ef <sup>1</sup> Tisserad et al. (1991)	Deg.ef <sup>2</sup> Tedeschi et al. (2010)	D.I <sup>2</sup> (D.P:72 hr)	D.I Tisserad et al. (1991)	D.I Tedeschi et al. (2010)
Penca chica	49.21	47.81	43.75	37.19	26.64	5.46	12.02
Penca grande	44.92	46.57	32.49	19.54	6.97	12.43	25.38
SEM±	3.7	8.47	8.47	8.47	1.98	2.66	2.74
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$  kp= tasa fraccional de paso/h.<sup>1</sup> kp= Pch 0.08/h, Pgd 0.083/h (Tedeschi et al. 2010).<sup>2</sup> kp= 0.024/h (Tisserad et al. 1991). D.P= Deg. Potencial=  $a+b*(1-e^{-(c*tiempo)})$ . D.I.= Digestibilidad intestinal = Digestibilidad in vivo- Degradabilidad ruminal.

**Cuadro 20.-Efecto del tamaño de la penca del nopal (*Opuntia ficus indica*) en la digestibilidad *in vivo* por diferencia, degradabilidad potencial (a+b a 72 hr), degradabilidad efectiva (KP: 02, 04) y digestibilidad intestinal de la FDA.**

	Digestibilidad In vivo (Por diferencia)	D.P a 72 hr (a+b)	Deg.ef <sup>1</sup> Tissera d et al. (1991)	Deg.ef <sup>2</sup> Tedeschi et al. (2010)	D.I <sup>2</sup> (D.P:72 hr)	D.I Tisserad et al. (1991)	D.I Tedeschi et al. (2010)
Penca chica	47.87	40.12	36.98	31.81	21.12	10.89	16.06
Penca grande	43.84	33.84	32.31	29.39	16.26	11.53	14.45
SEM±	3.7	4.8	4.8	4.8	2.5	2.5	2.4
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$  kp= tasa fraccional de paso/h. <sup>1</sup> kp= Pch 0.08/h, Pgd 0.083/h (Tedeschi et al. 2010). <sup>2</sup> kp= 0.024/h (Tisserad et al. 1991). D.P= Deg. Potencial=  $a+b*(1-e^{-(c*tiempo)})$ . D.I.= Digestibilidad intestinal = Digestibilidad in vivo- Degradabilidad ruminal.

## 5.2. Experimento 2. Comparación nutricional de 5 especies de nopal silvestre

Las diferentes especies de nopal pueden tener características nutricionales diferentes en comparación a los nopales de cultivo, por lo que, para ser una alternativa en la suplementación alimentación del ganado caprino en el semidesierto, fueron caracterizados químicamente y evaluados en sus características digestivas, 4 variedades de nopal silvestre (*Opuntia hyptiacantha* (*Oh*), *Opuntia megacantha* (*Om*), *Opuntia robusta* (*Or*), *Opuntia streptacantha* (*Os*) y *Opuntia ficus indica*(*Ofi*).

Los resultados de la composición bromatológica se observan en el cuadro 21, en donde, el contenido de materia seca presente en los nopales varia de 7 al 13 %, siendo *Or* quien presenta el valor más alto.

El contenido de materia orgánica (MO), Cenizas, y Proteína Cruda (PC) son diferentes entre especies ( $P < 0.001$ ); el contenido de FDN es mayor ( $P < 0.001$ ) en *Or* (54.25%), y con menor contenido *Ofi* (45.98%). El contenido de FDA que presentaron los nopales, varia de 18 al 28 %, siendo *Ofi* el que mayor ( $P < 0.001$ ) contenido presenta (28.74%), y *Om* el de menor contenido (18.39). El contenido de Lignina , Proteína cruda unida a Fibra Detergente Neutro (PC-FDN)y Proteína Cruda Unida a Fibra Detergente Acido (PC-FDA), no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre especies; estos porcentajes son similares a los mencionados por distintos autores que han trabajado con especies silvestres de nopal (Fuentes , 1997; FAO, 2003; Guevara, 2004).

En el contenido mineral (cuadro 22) difiere entre las variedades de nopal en la mayor parte de los casos, sin embargo es importante destacar que, *Ofi* presentó un mayor ( $P<0.001$ ) contenido de cenizas (25.09%), de los cuales el contenido de calcio fue el mayor ( $P<0.001$ ) (5.6%). Esta cantidad de Ca en relación al Fosforo es muy alta (25:1), Tegegne, et al. (2006) reportó una relación de (16:1) de estos mismos elementos, sin embargo, NRC (1980) menciona que la relación ideal de Ca:P es de 2:1, y en rumiantes puede ser hasta de 7:1. El contenido de Ca varía dependiendo de las especie de planta y de la parte de esta, así como de la madurez; la mayoría de los alimentos vegetales varían de 0.02% (algunos granos), hasta 1.7 (alfalfa o avena), de contenido de Ca (NRC, 1980). El calcio presente en el nopal está asociado a la acumulación de oxalatos de calcio, que son utilizados por la planta como almacén de malato (Nobel, 1998); nutritivamente estos cristales de calcio son indisponibles para el animal, sin embargo Underwood, (1999) y Duncan (2000) han mencionado un metabolismo ruminal de los oxalatos, siempre y cuando los animales hayan sido adaptados a dietas altas en oxalatos.

*O. hyptiacantha* presenta mayor cantidad de fosforo ( $P<0.05$ ), *Or* y *Oh* fueron superiores en el porcentaje de Mg ( $P<0.01$ ) y *Ofi* y *Om* mostraron los niveles mas altos de Na ( $P<0.01$ ) y potasio ( $P<0.05$ ). El contenido de Mn en *Om* y *Os* fue superior a 400 ppm ( $P<0.001$ ); NRC (1980) menciona niveles de 1000ppm como un nivel máximo de consumo, sin causar efectos adversos.

Los niveles de Se fueron reducidos en general, siendo mayor ( $P<0.001$ ) en *Om* y *Ofi*, sin embargo, estos niveles son bajos y en algunos casos (*Oh*) no se detectó; estos niveles de Se no alcanzan a cubrir los requerimientos del animal de acuerdo

a la NRC (2007) de 0.16mg por día, sin embargo la dieta con el resto de los ingredientes debe cubrir estas necesidades. El contenido de cobalto es mayor ( $P < 0.001$ ) en *Om* (102.97 ppb) y en *Os* (95.21) y de igual forma no se detecto en *Oh*; estas cantidades no cubren con las necesidades del animal de acuerdo a la NRC (2007) para un animal de 40 kg en mantenimiento requiere de 0.10 mg por día.

**Cuadro. 21 Composición bromatológica de 5 especies de nopales silvestres (% MS).**

	Om	Oh	Or	Os	Ofi	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
MS	12.15 <sup>b</sup>	13.76 <sup>b</sup>	12.61 <sup>b</sup>	10.93 <sup>ab</sup>	7.81 <sup>a</sup>	1.63	*
Cenizas	16.48 <sup>a</sup>	19.73 <sup>b</sup>	17.77 <sup>c</sup>	16.73 <sup>d</sup>	25.09 <sup>e</sup>	0.11	***
MO	83.51 <sup>a</sup>	80.26 <sup>b</sup>	82.22 <sup>c</sup>	83.26 <sup>d</sup>	74.90 <sup>e</sup>	0.11	***
FDN	47.75 <sup>ab</sup>	51.06 <sup>bc</sup>	54.25 <sup>c</sup>	48.29 <sup>a</sup>	45.98 <sup>a</sup>	1.59	**
FDA	18.39 <sup>a</sup>	23.00 <sup>b</sup>	20.27 <sup>abc</sup>	18.78 <sup>ac</sup>	28.74 <sup>d</sup>	1.55	***
PC	4.49 <sup>a</sup>	5.97 <sup>b</sup>	7.23 <sup>c</sup>	4.85 <sup>d</sup>	6.89 <sup>e</sup>	0.11	***
Lignina	1.25	2.01	2.12	1.47	2.54	0.55	NS
PC-FDA(%MS)	1.8	1.6	1.8	0.06	3.0	1.27	NS
PC-FDN(%MS)	4.21	4.26	5.26	4.17	3.94	0.97	NS

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiakantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptacantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

**Cuadro 22. Composición mineral de 5 especies de nopal silvestre**

Mineral	Om	Oh	Or	Os	Ofi	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
Ca(%)	2.92 <sup>a</sup>	4.78 <sup>b</sup>	2.77 <sup>a</sup>	3.45 <sup>c</sup>	5.26 <sup>d</sup>	0.10	***
P(%)	0.22 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.26 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.01	*
Mg(%)	1.43 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>	1.71 <sup>b</sup>	1.52 <sup>abd</sup>	1.27 <sup>c</sup>	0.05	**
Na(%)	0.05 <sup>a</sup>	0.0 <sup>4b</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.003	**
K(%)	1.87 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>	2.51 <sup>ab</sup>	1.20 <sup>ac</sup>	1.90 <sup>a</sup>	0.25	*
Fe(ppm)	70.14 <sup>a</sup>	62.81 <sup>b</sup>	47.62 <sup>c</sup>	62.52 <sup>b</sup>	43.37 <sup>c</sup>	1.47	***
Mn(ppm)	470.91 <sup>a</sup>	103.13 <sup>b</sup>	131.13 <sup>b</sup>	469.06 <sup>a</sup>	294.58 <sup>c</sup>	11.75	***
Zn(ppm)	16.16 <sup>a</sup>	9.7 <sup>b</sup>	15.16 <sup>a</sup>	18.91 <sup>a</sup>	25.66 <sup>c</sup>	1.24	***
Cu(ppm)	5.09 <sup>a</sup>	4.30 <sup>a</sup>	4.34 <sup>a</sup>	5.01 <sup>a</sup>	8.29 <sup>b</sup>	0.25	***
Mo(ppm)	15.56 <sup>a</sup>	14.88 <sup>b</sup>	14.90 <sup>b</sup>	15.29 <sup>ab</sup>	15.50 <sup>a</sup>	0.15	*
Se(ppb)	86.49 <sup>a</sup>		40.95 <sup>b</sup>	51.54 <sup>c</sup>	107.84 <sup>d</sup>	1.79	***
Co(ppb)	102.97 <sup>a</sup>		42.55 <sup>b</sup>	95.21 <sup>c</sup>	55.02 <sup>d</sup>	2.21	***

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiacantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptacantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

### 5.2.1. Degradación *in vitro* de la materia seca de 5 especies de nopal silvestre.

En el cuadro 23 se muestra la degradación de la materia seca de 5 especies de nopal silvestre, y se observó una rápida degradación inicial, teniendo al Tiempo 0 un promedio de 34.8% y terminando a las 72 horas con un promedio de degradación de 48.3%, observándose que Os presentó la menor degradación (P<0.001) en cada tiempo de medición, siendo en el tiempo 0 de 24.16% y a 72 horas de 39.67%. El comportamiento general de los nopales es de una rápida

degradación inicial, con una estabilización a las 6 horas, en el cual se mantiene con una degradación lenta hasta las 36 horas y después otro incremento a las 72 horas; estos resultados son superiores a los encontrados por Villegas-Díaz (2009) y Fuentes (2003).

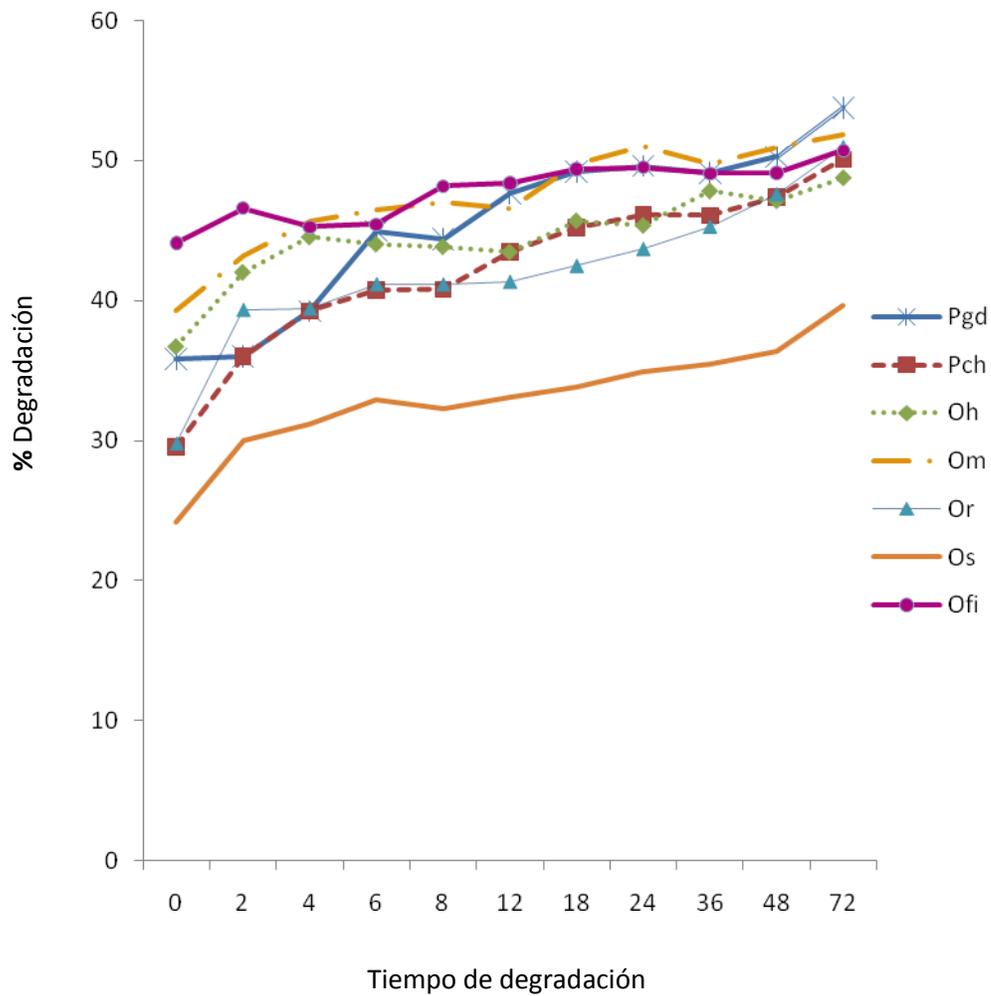
**Cuadro 23. Degradación *in vitro* de la MS de 5 especies de nopal.**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	35.8 <sup>ac</sup>	36.0 <sup>ad</sup>	39.2	44.9 <sup>ac</sup>	44.3 <sup>ab</sup>	47.6 <sup>a</sup>	49.2 <sup>a</sup>	49.6 <sup>ab</sup>	49.1	50.3	53.7 <sup>a</sup>	45.8	2.23	***
<b>EE±</b>	2.2	2.5	2.5	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2			
Pch	29.5 <sup>a</sup>	36.0 <sup>ad</sup>	39.2	40.7 <sup>c</sup>	40.8 <sup>a</sup>	43.5 <sup>ab</sup>	45.8 <sup>ab</sup>	46.1 <sup>ab</sup>	46.1	47.4	50.1 <sup>ab</sup>	42.2	2.5	***
<b>EE±</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Oh	36.7 <sup>ab</sup>	42.0 <sup>ab</sup>	44.5	44.0 <sup>ac</sup>	43.8 <sup>ab</sup>	43.5 <sup>ab</sup>	45.7 <sup>ab</sup>	45.4 <sup>b</sup>	47.8	47.1	48.7 <sup>b</sup>	44.5	2.0	***
<b>EE±</b>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0			
Om	39.3 <sup>ab</sup>	43.2 <sup>b</sup>	45.7	46.5 <sup>ab</sup>	47.1 <sup>ab</sup>	46.6 <sup>a</sup>	49.8 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	49.7	50.9	51.8 <sup>ab</sup>	47.4	2.0	***
<b>EE±</b>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			
Or	29.8 <sup>ac</sup>	39.4 <sup>abc</sup>	39.4	41.2 <sup>ac</sup>	41.2 <sup>a</sup>	41.4 <sup>b</sup>	42.5 <sup>b</sup>	43.7 <sup>bc</sup>	45.3	47.6	51.0 <sup>ab</sup>	42.0	2.5	***
<b>EE±</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
Os	24.2 <sup>c</sup>	30.0 <sup>d</sup>	31.2 <sup>a</sup>	32.9 <sup>b</sup>	32.2 <sup>c</sup>	33.1 <sup>c</sup>	33.8 <sup>c</sup>	34.9 <sup>d</sup>	35.5 <sup>a</sup>	36.4 <sup>a</sup>	39.6 <sup>c</sup>	33.0	2.5	***
<b>EE±</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	2.5			
Ofi	44.1 <sup>b</sup>	46.6 <sup>c</sup>	45.3	45.4 <sup>ac</sup>	48.1 <sup>ab</sup>	48.4 <sup>a</sup>	49.4 <sup>ab</sup>	49.5 <sup>abc</sup>	49.1	49.1	50.7 <sup>ab</sup>	43.6	2.6	
<b>EE±</b>	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
X	34.2	39.0	40.6	42.2	42.7	43.4	45.0	45.7	46.0	46.9	49.4			
<b>EE±</b>	1.6	0.96	0.97	0.79	0.72	0.70	0.76	0.85	0.76	0.63	0.67			
Sig	*	***	*	***	***	***	***	***	***	***	***			

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiakantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptacantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

En la gráfica 9 se muestra la degradación *in vitro* de la MS, observándose una rápida degradación dentro de las primeras 4 horas, y después una lenta y constante degradación hasta las 48 horas. Os es la especie que presentó la menor degradabilidad, el resto de las especies son similares entre si en el comportamiento degradativo. La mayor degradación de la materia seca en *Om* puede deberse a la menor cantidad de FDA que presenta, ya que la degradabilidad de un alimento depende de sus características químicas, así como del contenido de FDN y FDA (Andrade-Montemayor, 2005).

**Grafica 9. Degradación *in vitro* de la materia seca de 5 especies de nopal en el tiempo.**



### 5.2.2. Cinética de la degradación *in vitro* de la materia seca de 5 especies de nopal

En el cuadro 24 se presenta la cinética de degradación *in vitro* de la Ms de las 5 especies de nopal, en donde se observó en la fracción soluble (a) una media de 33.99%  $\pm$  2.27, siendo diferentes ( $P < 0.001$ ) entre Opuntias, siendo Os la que presentó la menor solubilidad (26.06%) y Ofi la especie que contiene la mayor cantidad de fracción (a) soluble (45.24), en forma contraria, la fracción de lenta degradación potencial (b) presentó una menor degradación, siendo menor en Os (13.84%) y mayor en Ofi (31.75%), al estimarse la degradación potencial (a+b) se observó un promedio de (54.91%) con una menor tasa de degradación en Os (39.9) y mayor en Ofia (76.81%). La tasa fraccional de paso resultó ser muy variable, desde 0.016 (Os) hasta 0.177 (Oh), estas tasas de degradación varían dependiendo de la solubilidad de las fracciones de carbohidratos y proteínas (Kozloski, 2009).

Los resultados de la degradación potencial son resultados similares a los encontrados por Teixeira et al (1999) y Carvalho et al (2006) en su trabajo con *Opuntia ficus indica* en degradaciones *in situ* con caprinos, sin embargo, muestra menores valores en la fracción (a) (4-14), mientras que Cerrillo et al. (2004) utilizando la técnica de producción de gas, observó una degradabilidad potencial en *Opuntia spp.* de 44.8%, lo cual es inferior a lo encontrado en este trabajo con Ofi. En la degradación efectiva, los resultados obtenidos en este experimento son superiores a los mostrados por Teixeira et al (1999), esto puede deberse a que las Opuntias usadas en este experimento no eran jóvenes, por lo que el mayor contenido de FDN y FDA las hace más degradables.

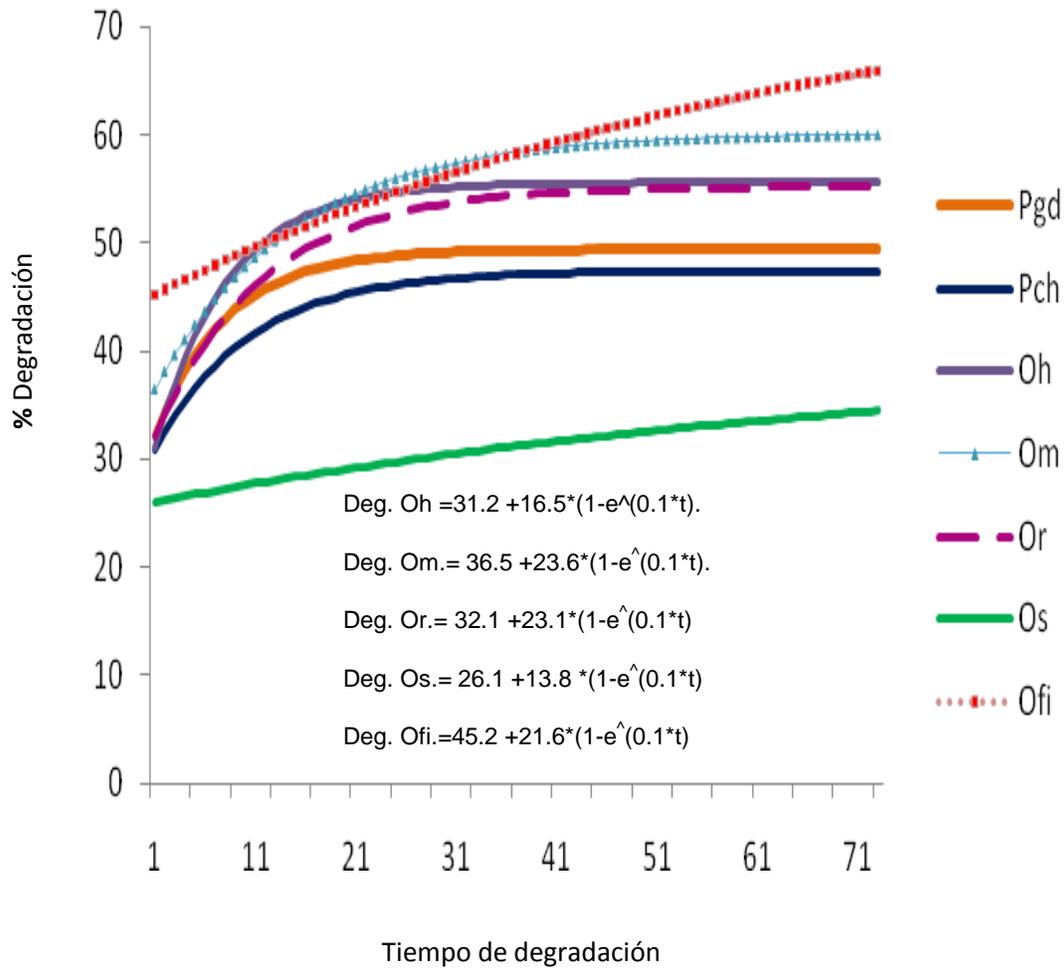
**Cuadro 24. Cinética de la degradación *in vitro* de la MS de 5 especies de nopal**

MS	Deg. Potencial <sup>1</sup>			Deg. Efectiva <sup>2</sup>				R <sup>2</sup>	EE±	
	a	b	c	a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06			Kp=0.08
Pgd	32.3 <sup>a</sup>	17.1 <sup>a</sup>	0.18	49.4 <sup>a</sup>	47.2 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	45.1 <sup>a</sup>	44.2 <sup>a</sup>	85.5	2.4
Pch	30.9 <sup>b</sup>	16.5 <sup>b</sup>	0.13	47.4 <sup>b</sup>	44.8 <sup>b</sup>	43.7 <sup>b</sup>	42.4 <sup>b</sup>	41.3 <sup>b</sup>	86.1	1.9
Oh	31.2 <sup>c</sup>	24.4 <sup>c</sup>	0.17 <sup>a</sup>	55.6 <sup>c</sup>	53.1 <sup>c</sup>	51.1 <sup>c</sup>	49.4 <sup>c</sup>	47.9 <sup>c</sup>	62.3	5.2
Om	36.5 <sup>d</sup>	23.6 <sup>c</sup>	0.09	60.1 <sup>d</sup>	56.0 <sup>d</sup>	53.1 <sup>d</sup>	50.9 <sup>d</sup>	49.2 <sup>d</sup>	65.8	3.4
Or	32.1 <sup>b</sup>	23.1 <sup>bc</sup>	0.11	55.2 <sup>e</sup>	51.9 <sup>e</sup>	49.4 <sup>e</sup>	47.5 <sup>e</sup>	45.9 <sup>e</sup>	85.8	2.1
Os	26.1 <sup>e</sup>	13.8 <sup>d</sup>	0.01 <sup>a</sup>	39.9 <sup>f</sup>	32.3 <sup>f</sup>	30.1 <sup>f</sup>	29.1 <sup>f</sup>	28.4 <sup>f</sup>	83.7	1.5
Ofi	45.2 <sup>f</sup>	31.7 <sup>abd</sup>	0.01	76.8 <sup>g</sup>	60.6 <sup>g</sup>	55.4 <sup>g</sup>	52.8 <sup>g</sup>	51.3 <sup>g</sup>	73.2	1.1
X	33.9	21.5	0.1	54.9	49.4	46.9	45.3	44.0	77.5	2.5
EEM±	2.3	2.3	0.1	4.4	3.4	3.2	3.0	2.8	3.8	1.3
Sig.	**	**	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h) D.efectiva= a+b/(c/c+kp), kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

Los resultados de la cinética de la degradación se pueden apreciar mejor en la gráfica 10, en la cual se observa como Os tiene una mínima degradación de la MS, mientras que Ofi se degrada lenta y constantemente hasta las 72 horas, este comportamiento también es observado en Om sin embargo cerca de las 48 horas se estabiliza esta degradación.

**Gráfica 10. Cinética de la degradación *in vitro* de la materia seca de 5 especies de nopal en el tiempo.**



### 5.2.3. Degradación *in vitro* de la PC de 5 especies de nopal

En el cuadro 25 se presenta la degradación de la PC en el cual se observa, al tiempo 0 se inicia la degradación con valores de 55.22% ( $P < 0.05$ ) en el caso de Os, hasta 98.17% ( $P < 0.05$ ) en Ofi, y a partir de las 2 horas todas las especies se comienzan a degradar poco pero constantemente. Solo Ofi, se degrado

rápidamente en la primera hora alcanzando su máximo nivel, por lo que las siguientes horas, permaneció constante.

La PC se degradó rápidamente, alcanzándose cerca del 80 al 90 % en las primeras 13 horas (ver gráfica 11), transcurridas las 13 horas se estabilizó, teniendo ligeros aumentos en la degradación. Este comportamiento en la degradación de la PC puede deberse a la cantidad de PC que contiene el nopal (4-7%) y que además de esto, una gran parte de esta PC está unida a FDA, por lo que la cantidad de PC digestible es todavía menor; y por lo tanto, se degrada rápidamente en las primeras horas de la digestión. Ofi, alcanzó su máxima degradación a las 4 horas, al contrario de las especies silvestres, que iniciaron su degradación con valores más bajos (50-70%) y finalizando su degradación en un máximo de 83% (*Or*, 83.83% vs *Ofi* 98.79%). Por otro lado, *Os* fue la especie que presentó más baja degradabilidad de proteína a 72 horas (71.65% vs *Ofi*, 98.79%).

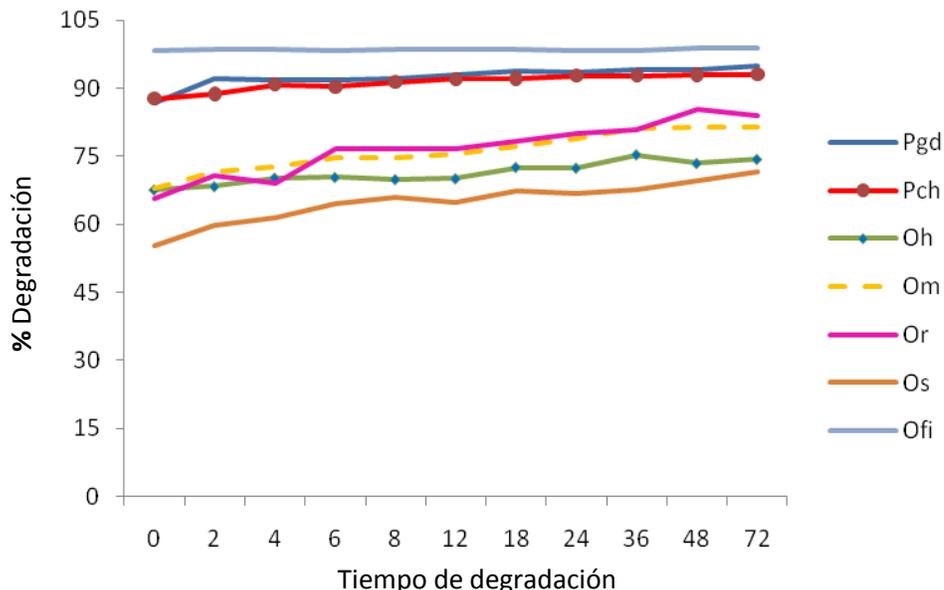
Estos resultados difieren de los encontrados por Villegas-Díaz,(2009), en los que muestra una degradación de la PC inicial de 16 a 23% y final a 72 horas de 80 a 90%, esta diferencia entre resultados, puede estar dada por la cantidad de FDA que está unida a la PC. Por otro lado, Teixeira et al (1999) menciona que la degradabilidad de la PC es mejor en las hojas más viejas, debido a la gran cantidad de N no ligado a la pared celular.

**Cuadro 25. Degradación *in vitro* de la PC de 5 especies de nopal**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	86.7 <sup>ac</sup>	93.9 <sup>ac</sup>	91.9 <sup>ac</sup>	91.9 <sup>ad</sup>	92.1	92.8 <sup>ac</sup>	93.8 <sup>ac</sup>	93.5 <sup>ad</sup>	94.0 <sup>ac</sup>	93.9 <sup>ac</sup>	94.9 <sup>ac</sup>	92.7	7.5	NS
<b>EE±</b>	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5			
Pch	87.7 <sup>ac</sup>	88.7 <sup>abc</sup>	90.7 <sup>ac</sup>	90.3 <sup>abd</sup>	91.3	91.9 <sup>ac</sup>	92.2 <sup>ac</sup>	88.6 <sup>abd</sup>	92.7 <sup>ac</sup>	92.9 <sup>ac</sup>	93.1 <sup>ac</sup>	90.9	7.5	NS
<b>EE±</b>	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6			
Oh	67.6 <sup>abc</sup>	68.3 <sup>bd</sup>	70.2 <sup>ab</sup>	70.3 <sup>bc</sup>	69.9	70.1 <sup>b</sup>	72.5 <sup>b</sup>	72.4 <sup>bc</sup>	75.3 <sup>b</sup>	73.4 <sup>b</sup>	74.3 <sup>b</sup>	71.3	6.1	NS
<b>EE±</b>	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1			
Om	67.8 <sup>ab</sup>	71.6 <sup>abd</sup>	72.6 <sup>ab</sup>	74.6 <sup>abc</sup>	74.5	75.5 <sup>ab</sup>	77.1 <sup>ab</sup>	78.9 <sup>abc</sup>	81.0 <sup>abc</sup>	81.3 <sup>ab</sup>	81.5 <sup>ab</sup>	76.0	6.1	NS
<b>EE±</b>	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.7	6.1	6.1			
Or	65.6 <sup>ab</sup>	70.7 <sup>abd</sup>	68.9 <sup>ab</sup>	76.7 <sup>abc</sup>	86.3	76.7 <sup>ab</sup>	78.4 <sup>ab</sup>	80.1 <sup>abc</sup>	80.71 <sup>abc</sup>	85.39 <sup>abc</sup>	83.83 <sup>abc</sup>	77.86	7.1	NS
<b>EE±</b>	7.5	6.7	7.5	6.7	6.7	7.5	6.7	6.2	7.5	6.7	7.5			
Os	55.2 <sup>b</sup>	59.7 <sup>d</sup>	61.6 <sup>b</sup>	64.6 <sup>c</sup>	65.8	64.7 <sup>b</sup>	67.4 <sup>b</sup>	66.8 <sup>c</sup>	67.6 <sup>b</sup>	69.6 <sup>b</sup>	71.6 <sup>b</sup>	64.9	7.6	NS
<b>EE±</b>	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	8.7	7.6	7.6	7.6			
Ofi	98.2 <sup>a</sup>	98.4 <sup>c</sup>	98.5 <sup>c</sup>	98.4 <sup>d</sup>	98.6	98.6 <sup>b</sup>	98.5 <sup>c</sup>	98.4 <sup>d</sup>	98.4 <sup>c</sup>	98.7 <sup>c</sup>	98.8 <sup>c</sup>	98.5	7.5	NS
<b>EE±</b>	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5			
X	75.56	78.79	79.2	80.9	82.6	81.5	82.8	82.6	84.2	85.0	85.4			
<b>EE±</b>	3.5	3.0	2.9	2.7	3.1	2.6	2.3	2.4	2.3	2.2	2.0			
Sig	*	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**			

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiacantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptacantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 11. Degradación in vitro de la PC en el tiempo de 5 especies de nopal**



#### **5.2.4. Cinética de la degradación *in vitro* de la PC de 5 especies de nopal**

La cinética de degradación de la PC se presenta en el cuadro 26 y gráfica 12, observándose que todos los tratamientos muestran diferencias ( $P < 0.001$ ); *Ofi* mostró una fracción soluble (a) de 98.2% y una fracción (b) de 0.699%, por lo que esta especie tiene una degradación de Pc muy rápida, alcanzando una degradación potencial (a+b) de 98.89%, al contrario, las especies silvestres, muestran una fracción (a) más baja ( $P < 0.001$ ) que va del 31.96% en *Oh*, hasta 66.68% en *Or*; la fracción lenta y potencialmente degradable (b) presenta valores desde 0.699 hasta 37.74 ( $P < 0.001$ ) siendo *Ofi* quien presenta el valor más bajo 0.699, seguido por *Om* (11.06%). Las especies que mostraron valores más altos fueron *Oh* (25.8%) y *Or* (37.74%).

La tasa fraccional de degradación (c) también muestra diferencias entre las especies ( $P < 0.001$ ), siendo el valor más bajo el de *Or* (0.057), y el más alto el de *Om* (0.827).

En las especies silvestres *Or* presentó una fracción de rápida degradación (a) de 66.68% y una fracción (b) de 37.74%, por lo que la degradación potencial (a+b) es de 104.42%, sin embargo al tener una tasa de degradación de 0.057, el nopal tendría que permanecer por más tiempo dentro del rumen para poder ser digerido al 100%, al contrario de *Om*, que tuvo una tasa de paso alta (0.82). Los resultados aquí mostrados son superiores a los encontrados por Villegas-Díaz (2009) en *Opuntia ficus indica* var. *Copena* en distintos tamaños, mostrando una degradabilidad potencial de 65%.

Teixeira et al (1999) y Carvalho et al (2006) en degradabilidades *in situ* mostraron que en la cinética de la degradación de la proteína cruda en *Opuntia* spp. la fracción (a) es menor que la fracción (b), siendo diferentes a los resultados aquí mencionados, sin embargo en la degradabilidad potencial y efectiva no hay diferencia.

El nopal tiene una mayor degradabilidad efectiva que otros alimentos, como la mandioca, o algunos pastos (Carvalho, 2006), y esta degradabilidad efectiva se ve mejorada conforme madura la planta, ya que con la edad, hay una mayor cantidad de nitrógeno no ligado a la pared celular (Teixeira, 1999).

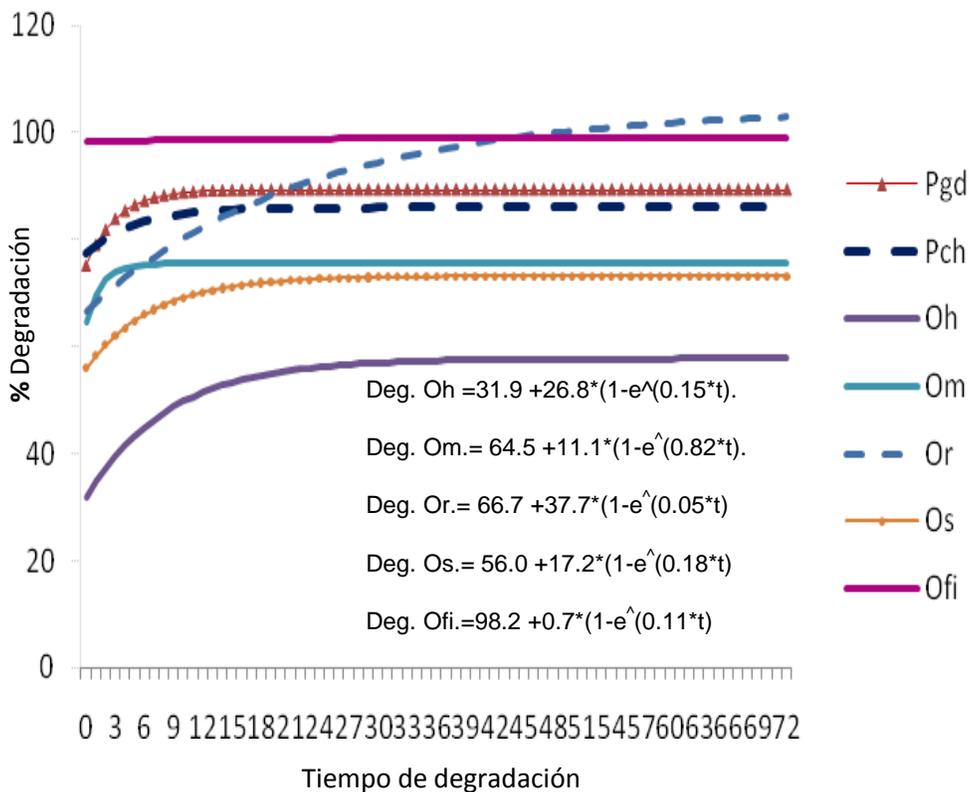
**Cuadro 26. Cinética de la degradación *in vitro* de la PC de 5 especies de nopal**

Pc	a	b	C	Deg. Potencial <sup>1</sup>	Deg. Efectiva <sup>2</sup>				R <sup>2</sup>	EE±
				a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Pgd	75.1 <sup>a</sup>	14.2 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	89.3 <sup>a</sup>	88.4 <sup>a</sup>	88.0 <sup>a</sup>	87.5 <sup>a</sup>	87.0 <sup>a</sup>	83.3	1.9
Pch	77.4 <sup>b</sup>	8.6 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	85.9 <sup>b</sup>	85.2 <sup>b</sup>	84.8 <sup>b</sup>	84.4 <sup>b</sup>	83.9 <sup>b</sup>	28.1	3.6
Oh	31.9 <sup>c</sup>	25.8 <sup>c</sup>	0.15 <sup>cf</sup>	57.8 <sup>c</sup>	54.7 <sup>c</sup>	52.3 <sup>c</sup>	50.4 <sup>c</sup>	48.8 <sup>c</sup>	83.6	3.1
Om	64.5 <sup>d</sup>	11.1 <sup>d</sup>	0.82 <sup>d</sup>	75.5 <sup>d</sup>	75.3 <sup>d</sup>	75.0 <sup>d</sup>	74.7 <sup>d</sup>	74.5 <sup>d</sup>	51.7	3.4
Or	66.7 <sup>e</sup>	37.7 <sup>e</sup>	0.05 <sup>e</sup>	104.4 <sup>e</sup>	94.6 <sup>e</sup>	88.8 <sup>e</sup>	85.1 <sup>e</sup>	82.4 <sup>e</sup>	73.6	3.2
Os	56.0 <sup>f</sup>	17.2 <sup>f</sup>	0.18 <sup>f</sup>	73.2 <sup>f</sup>	71.5 <sup>f</sup>	70.1 <sup>f</sup>	68.9 <sup>f</sup>	68.0 <sup>f</sup>	85.7	1.9
Ofi	98.2 <sup>g</sup>	0.7 <sup>g</sup>	0.11 <sup>ce</sup>	98.9 <sup>g</sup>	98.8 <sup>g</sup>	98.7 <sup>g</sup>	98.6 <sup>g</sup>	98.6 <sup>g</sup>	27.5	0.0
X	67.1	16.5	0.28	83.6	81.2	79.7	78.5	77.6	61.9	2.5
EE±	7.7	4.5	0.1	6.1	5.7	5.7	5.8	6.0	9.8	0.5
Sig.	***	***	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h) D.efectiva= a+b/(c/c+kp), kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

En la grafica 12 se aprecia como todas las especies a excepción de *Or*, se degradan rápidamente casi a las 2 horas de la degradación, alcanzando su máxima degradación cerca de las 16 horas. La especie *Or* se degrada más lenta y constantemente, alcanzando su máxima degradación cerca de las 48 horas, por lo que tiene que permanecer por más tiempo en el rumen, esto puede estar influenciado por la cantidad de PC que presentó esta especie (7.23%), que fue superior al resto de las especies.

**Gráfica 12. Cinética de la degradación *in vitro* de la PC de 5 especies de nopal**



### 5.2.5. Degradación *in vitro* de la FDN en 5 especies de nopal

En el cuadro 27 se observa la degradación de la fibra detergente neutro de las distintas especies de nopal; en donde al tiempo 0 se presenta un promedio de degradación de 37.3% siendo *Ofi* la especie que presentó el valor más alto ( $P < 0.001$ ) (49.78%), y en las especies silvestres *Or* fue el más alto (45.09%) y *Os* el más bajo con 29.46% de degradación. Terminando la degradación, a 72 horas, *Ofi* presentó el valor más alto ( $P < 0.001$ ) (60.54%) y de las especies silvestres *Om* con degradación final de 53.4%. El comportamiento degradativo de la FDN de las

distintas especies se aprecia mejor en la gráfica 13, en donde *Ofi* alcanza mayores niveles de degradación, sin embargo el comportamiento en todas las especies es similar, es decir, la degradación de la FDN es lenta pero constante, siendo apreciable su digestión hasta las 72 horas.

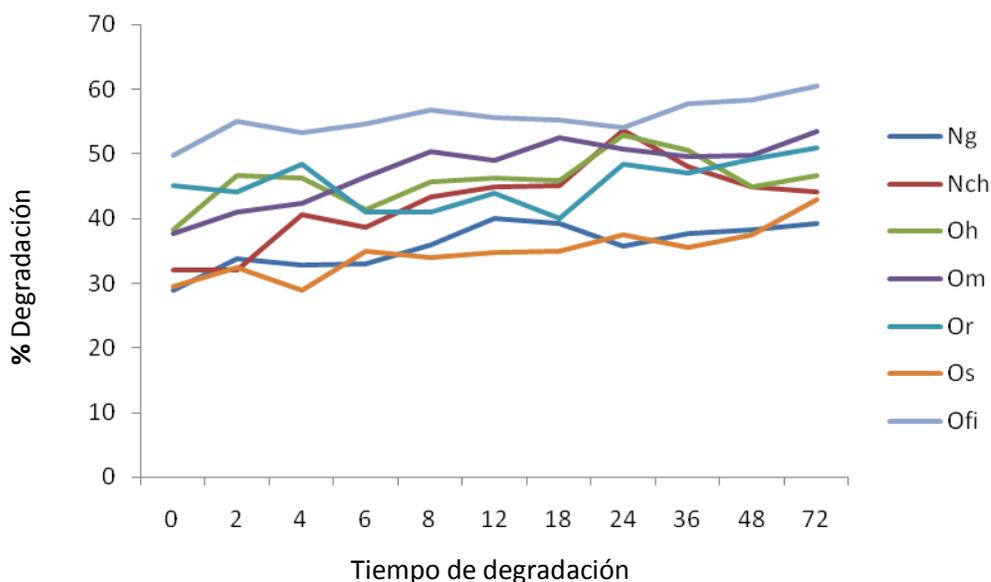
El contenido de FDN está relacionado con la digestibilidad y degradabilidad de los alimentos (Van Soest, et al, 1982), por lo que *Ofi* presentó una mayor degradación en comparación a las demás especies; así mismo la degradación de la FDN constituye un sustrato de fermentación microbiana que proporciona energía a un ritmo más lento, y su degradación depende de factores relacionados a las condiciones ruminales y el alimento (Andrade-Montemayor, 2005).

**Cuadro 27. Degradación *in vitro* de la FDN de 5 especies de nopal**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	28.8 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>	32.7 <sup>ad</sup>	32.9 <sup>ac</sup>	35.8 <sup>ac</sup>	39.9 <sup>a</sup>	39.2 <sup>ac</sup>	35.7	37.7 <sup>a</sup>	38.2 <sup>a</sup>	39.3 <sup>ad</sup>	35.2	3.3	***
<b>EE±</b>	3.5	3.9	3.2	3.2	3.2	3.9	3.2	3.9	3.2	3.2	3.2			
Pch	32.1 <sup>ab</sup>	32.0 <sup>a</sup>	40.6 <sup>ab</sup>	38.7 <sup>ab</sup>	43.2 <sup>bc</sup>	44.8 <sup>bcd</sup>	45.1 <sup>ab</sup>	53.6	48.0 <sup>ab</sup>	44.9 <sup>ab</sup>	44.1 <sup>bd</sup>	42.6	3.4	***
<b>EE±</b>	3.9	3.5	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.9	3.9	3.2	3.9			
Oh	38.2 <sup>b</sup>	46.6 <sup>bc</sup>	46.2 <sup>bc</sup>	41.3 <sup>ab</sup>	45.7 <sup>abd</sup>	46.2 <sup>bd</sup>	45.7 <sup>abd</sup>	52.8	50.6 <sup>b</sup>	44.8 <sup>bc</sup>	46.5 <sup>bd</sup>	46.7	3.7	***
<b>EE±</b>	3.4	3.8	3.4	4.4	3.8	3.4	3.4	3.8	3.4	3.8	3.4			
Om	37.7 <sup>b</sup>	41.0 <sup>ab</sup>	42.3 <sup>ab</sup>	46.5 <sup>bd</sup>	50.4 <sup>bd</sup>	48.9 <sup>d</sup>	52.5 <sup>bd</sup>	50.6	49.6 <sup>b</sup>	49.8 <sup>bc</sup>	53.4 <sup>bc</sup>	47.5	3.2	***
<b>EE±</b>	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2			
Or	45.1 <sup>bc</sup>	44.1 <sup>abc</sup>	48.4 <sup>c</sup>	26.5 <sup>c</sup>	41.0 <sup>cb</sup>	43.8 <sup>bd</sup>	40.0 <sup>ac</sup>	48.3	47.0 <sup>ab</sup>	49.3 <sup>bc</sup>	50.9 <sup>b</sup>	45.2	4.0	***
<b>EE±</b>	3.8	4.4	4.4	5.4	4.4	3.1	3.8	3.8	3.1	3.4	3.4			
Os	29.5 <sup>a</sup>	32.5 <sup>a</sup>	28.9 <sup>d</sup>	34.9 <sup>ac</sup>	33.9 <sup>c</sup>	34.7 <sup>ab</sup>	35.0 <sup>c</sup>	37.5	35.5 <sup>a</sup>	37.4 <sup>ad</sup>	42.9 <sup>ad</sup>	34.7	4.0	***
<b>EE±</b>	3.9	3.9	3.9	4.4	3.9	3.9	4.4	4.4	3.9	3.9	3.9			
Ofi	49.9 <sup>c</sup>	55.0 <sup>c</sup>	53.3 <sup>c</sup>	54.6 <sup>d</sup>	56.7 <sup>d</sup>	55.7 <sup>c</sup>	55.3 <sup>d</sup>	54.1	57.8 <sup>b</sup>	58.3 <sup>c</sup>	60.5 <sup>c</sup>	55.6	3.8	***
<b>EE±</b>	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9			
X	37.3	40.7	41.7	39.3	43.8	43.5	44.6	47.52	46.6	46.7	49.4			
<b>EE±</b>	1.0	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.2	1.9	1.5	1.2	0.96			
Sig	***	**	**	***	**	**	**	Ns	*	**	***			

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiakantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptakantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 13. Degradación *in vitro* de la FDN de 5 especies de nopal en el tiempo**



### 5.2.6. Cinética de la degradación de la FDN de 5 especies de nopal

La cinética de la degradación de la FDN se observa en el cuadro 28, la fracción soluble (a) media fue de 36.56%, *Ofi* presentó el valor más alto ( $P < 0.01$ ) (49.5%) y de las especies silvestres fue *Or*, que presentó 42.35%; la fracción soluble (b) presentó una media de 24.55%, *Ofi* presentó 10.01%, y en las especies silvestres *Om* presentó el valor más alto ( $P < 0.001$ ) (69.9.32%) y *Os* el valor más bajo ( $P < 0.001$ ) con 9.73%.

Se observó que todas las especies son diferentes entre sí, como se muestra en la gráfica 14, con una degradabilidad potencial (a+b) media de 61.01%, siendo *Om* quien alcanzó la mayor degradación, por el contrario, *Os* presentó el valor más bajo ( $P < 0.001$ ) (37.56%). Esta degradación potencial, se ve afectada por la tasa de paso (c), por lo que las especies silvestres requieren de mayor tiempo en

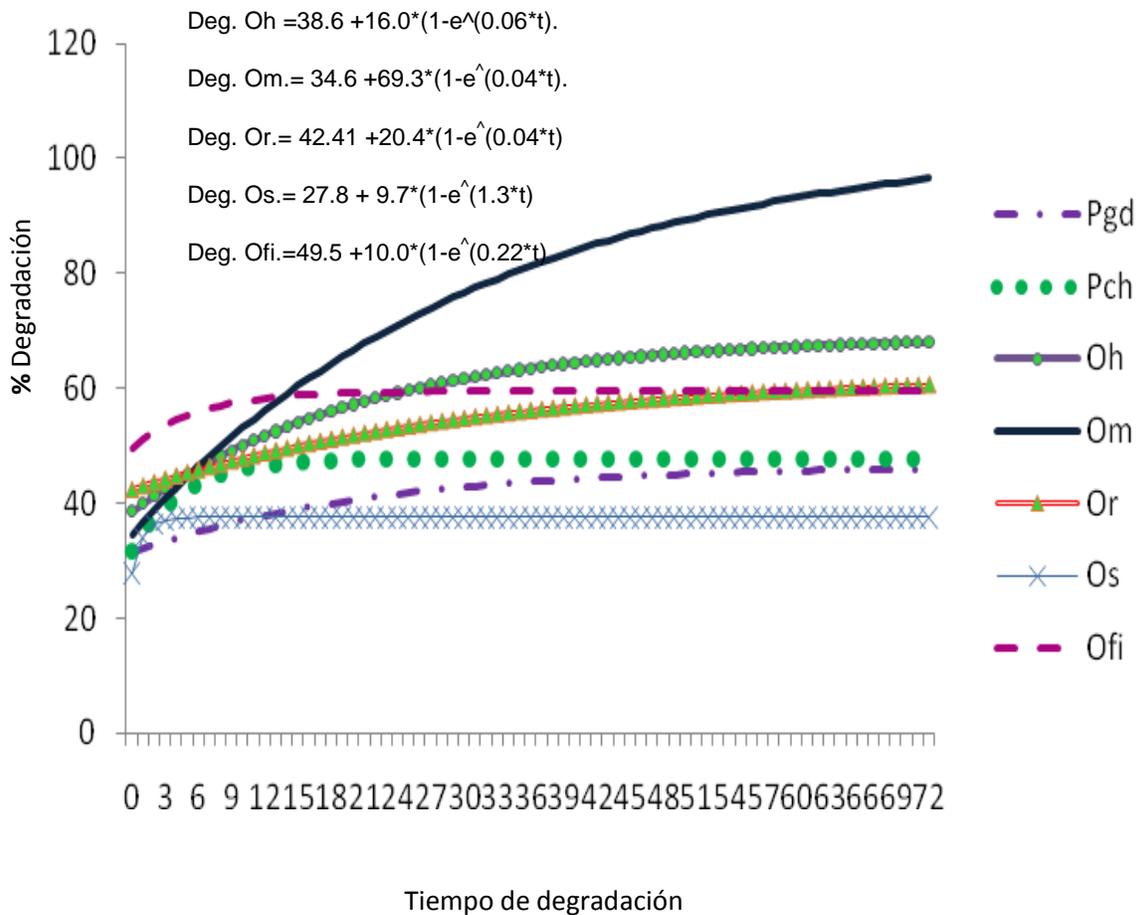
el rumen, al haber presentado valores de 0.04% /h a 0.06%/h, mientras que *Ofi* presentó una tasa de paso más rápida ( $P<0.001$ ) (0.224%/h). Carvalho et al (2006) en degradación potencial y, Teixeira et al (1996) en degradabilidad efectiva encontraron resultados similares a los aquí mostrados, mientras que, Ramírez et al (2000) reportó una degradación potencial de FDN en *O. lindehimieri* del 82%, mientras Villegas-Díaz (2009), mostró resultados más elevados que los presentados en este trabajo para la mayoría de las especies.

**Cuadro 28. Cinética de la degradación *in vitro* de FDN de 5 especies de nopal**

Fdn	Deg. Potencial <sup>1</sup>			Deg. Efectiva <sup>2</sup>				R <sup>2</sup>	EE±	
	a	b	c	a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06			Kp=0.08
Pgd	31.4 <sup>a</sup>	15.2 <sup>b</sup>	0.06 <sup>a</sup>	46.6 <sup>a</sup>	47.2 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	45.1 <sup>a</sup>	44.2 <sup>a</sup>	9.6	6.8
Pch	31.8 <sup>a</sup>	16.0 <sup>b</sup>	0.28 <sup>b</sup>	47.8 <sup>b</sup>	46.5 <sup>b</sup>	45.8 <sup>b</sup>	44.3 <sup>b</sup>	44.3 <sup>a</sup>	18.4	10.1
Oh	38.6	30.5 <sup>c</sup>	0.06 <sup>a</sup>	69.1 <sup>c</sup>	61.5 <sup>c</sup>	56.9 <sup>c</sup>	53.9 <sup>c</sup>	51.7 <sup>b</sup>	49.1	4.6
Om	34.6	69.3 <sup>d</sup>	0.04 <sup>a</sup>	103.9 <sup>d</sup>	80.8 <sup>d</sup>	69.2 <sup>d</sup>	62.3 <sup>d</sup>	57.7 <sup>c</sup>	68.6	5.7
Or	42.4	20.4 <sup>abc</sup>	0.04 <sup>a</sup>	62.7 <sup>e</sup>	55.9 <sup>e</sup>	52.5 <sup>e</sup>	50.5 <sup>e</sup>	49.1 <sup>d</sup>	46.3	3.1
Os	27.8	9.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>c</sup>	37.6 <sup>f</sup>	37.4 <sup>f</sup>	37.3 <sup>f</sup>	37.1 <sup>f</sup>	36.9 <sup>e</sup>	42.4	3.5
Ofi	49.5	10.0 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b</sup>	59.5 <sup>g</sup>	58.7 <sup>g</sup>	57.9 <sup>g</sup>	57.4 <sup>g</sup>	56.9 <sup>f</sup>	53.9	2.6
X	36.6	24.5	0.3	61.0	55.4	52.3	50.1	48.7	41.2	5.2
EEM±	2.8	8.0	0.2	8.2	5.3	3.9	3.2	2.8	7.8	1.0
Sig.	**	***	***	***	***	***	***	***		

D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$ , kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS:  $P>0.05$ ; \*  $P<0.05$ ; \*\*\*  $P<0.001$ )

**Gráfica 14. Cinética de la degradación *in vitro* de la FDN de 5 especies de nopal en el tiempo**



### 5.2.7. Degradación de *in vitro* de la FDA en 5 especies de nopal

En el cuadro 29 y gráfica 15, se muestra la degradación de la FDA, esta degradación es poca y lenta en el tiempo; se observa al tiempo 0 una degradación promedio de 29.7%; *Ofi* presentó un valor inicial de 16.28% y en las especies silvestres, *Or* presentó el valor más alto ( $P < 0.001$ )(48.77%) y *Oh* el más bajo

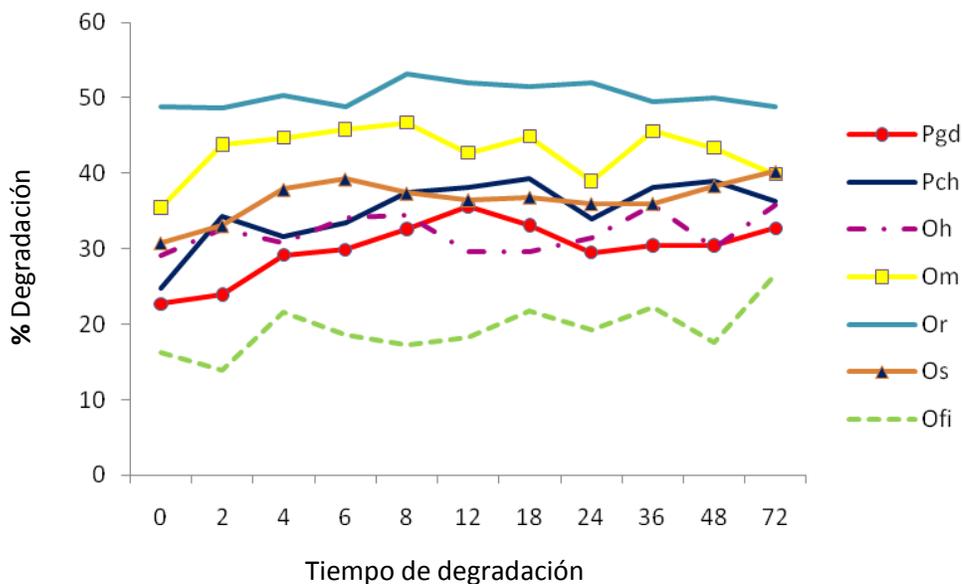
(29.19%); al finalizar la digestión a 72 horas, se terminó la degradación con un promedio de 37.7%, *Ofi* presentó un valor de 26.55%. En la gráfica 15 se puede apreciar el comportamiento degradativo de la FDA, en el cual, *Or* tiene el valor más alto de degradación, seguido de *Om*. Teixeira et al (1999) y Carvalho et al (2006), mostraron resultados similares en la degradación de FDA.

**Cuadro 29. Degradación *in vitro* de la FDA de 5 especies de nopal**

	0	2	4	6	8	12	18	24	36	48	72	X	EE±	Sig.
Pgd	22.7 <sup>ad</sup>	23.9 <sup>ad</sup>	29.2	29.9 <sup>a</sup>	32.6 <sup>a</sup>	35.7	33.1 <sup>ab</sup>	29.5	30.5 <sup>a</sup>	30.4 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	30.03	2.3	***
<b>EE±</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4			
Pch	24.8 <sup>ad</sup>	34.3 <sup>ab</sup>	31.7	33.4 <sup>b</sup>	37.5 <sup>b</sup>	38.1	39.3 <sup>b</sup>	34.0	38.2 <sup>bc</sup>	39.0 <sup>bc</sup>	36.4 <sup>ab</sup>	35.8	2.7	***
<b>EE±</b>	3.4	3.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6			
Oh	29.2 <sup>abd</sup>	32.7 <sup>ab</sup>	30.7	34.1 <sup>ab</sup>	34.4 <sup>ab</sup>	29.6	29.6 <sup>a</sup>	31.4	35.8 <sup>ab</sup>	30.1 <sup>ac</sup>	35.8 <sup>ab</sup>	31.9	3.7	***
<b>EE±</b>	4.2	4.2	3.4	4.2	4.2	4.2	2.9	2.9	3.4	3.4	4.2			
Om	35.5 <sup>b</sup>	43.8 <sup>bc</sup>	44.7	45.8 <sup>c</sup>	46.7 <sup>c</sup>	42.7	44.9 <sup>c</sup>	38.9	45.6 <sup>cd</sup>	43.4 <sup>bc</sup>	39.8 <sup>b</sup>	43.2	3.0	***
<b>EE±</b>	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
Or	48.8 <sup>c</sup>	48.6 <sup>c</sup>	50.4	48.7 <sup>c</sup>	53.2 <sup>d</sup>	52.0	51.6 <sup>d</sup>	52.0	49.6 <sup>d</sup>	50.0 <sup>d</sup>	48.8 <sup>c</sup>	51.1	2.5	***
<b>EE±</b>	2.9	2.6	2.4	2.9	2.6	3.3	2.6	2.9	2.9	2.6	2.9			
Os	30.8 <sup>ab</sup>	33.1 <sup>ab</sup>	37.9	39.3 <sup>b</sup>	37.4 <sup>b</sup>	36.5	36.9 <sup>b</sup>	36.0	36.0 <sup>ab</sup>	38.4 <sup>c</sup>	40.3 <sup>b</sup>	36.5	2.8	
<b>EE±</b>	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.3	3.3	2.9	2.9			
Ofi	16.3 <sup>d</sup>	13.9 <sup>d</sup>	21.6	18.6 <sup>d</sup>	17.3 <sup>e</sup>	18.3	21.8 <sup>e</sup>	19.2	22.2 <sup>e</sup>	17.5 <sup>e</sup>	26.5 <sup>d</sup>	19.5	3.4	
<b>EE±</b>	4.2	4.2	5.8	3.4	3.4	3.4	3.4	5.8	2.9	2.9	2.9			
X	29.7	32.9	35.2	36.0	37.2	36.8	36.0	34.4	37.1	35.6	37.7			
EE	1.3	1.6	1.2	0.69	0.66	2.2	0.63		1.1	0.97	0.88			
Sig	***	***		***	***	Ns	***		***	***	***			

*O. megacantha*(Om), *O. hyptiacantha* (O h), *O. robusta*(Or), *O. streptacantha*(Os), *O. ficus indica* (Ofi) EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 15. Degradación *in vitro* de la FDA de 5 especies de nopal en el tiempo**



### 5.2.8. Cinética de la degradación de FDA

La cinética de la degradación de la FDA se muestra en el cuadro 30 y gráfica 15, en donde se puede observar, que el promedio de la fracción soluble (a) fue de 25.23%; *Ofi* presentó 5.14%; la fracción (b) en *Ofi* fue de 45.46% y en *Om* de 36.66%. La degradación potencial (a+b) promedio fue de 47.44%, *Ofi* presentó una degradación potencial (a+b) de 50.6% y *Os* de 71.79%, sin embargo, la degradación está influenciada por la velocidad y tiempo que permanezca el alimento en el rumen, así mismo con la calidad del alimento (Andrade – Montemayor, 2005), por lo que, con una tasa de aso (c) de 0.009%/h, *Os* tendría que permanecer por un tiempo más prolongado dentro del rumen para alcanzar una digestión potencial.

Villegas-Díaz (2009) reportó para *O. ficus indica* var. Copena a diferentes edades una degradabilidad potencial del 80 al 90%, estos valores son superiores a los mostrados en este trabajo; sin embargo, Teixeira et al. (1999) reportó una degradación efectiva de FDA con *Nopalea cochenillifera* (L.) Lyons-Cactaceae del 15 al 19%. Carvalho et al (2006), mostró en su trabajo con *Opuntia* spp una degradabilidad similar (39.40%).

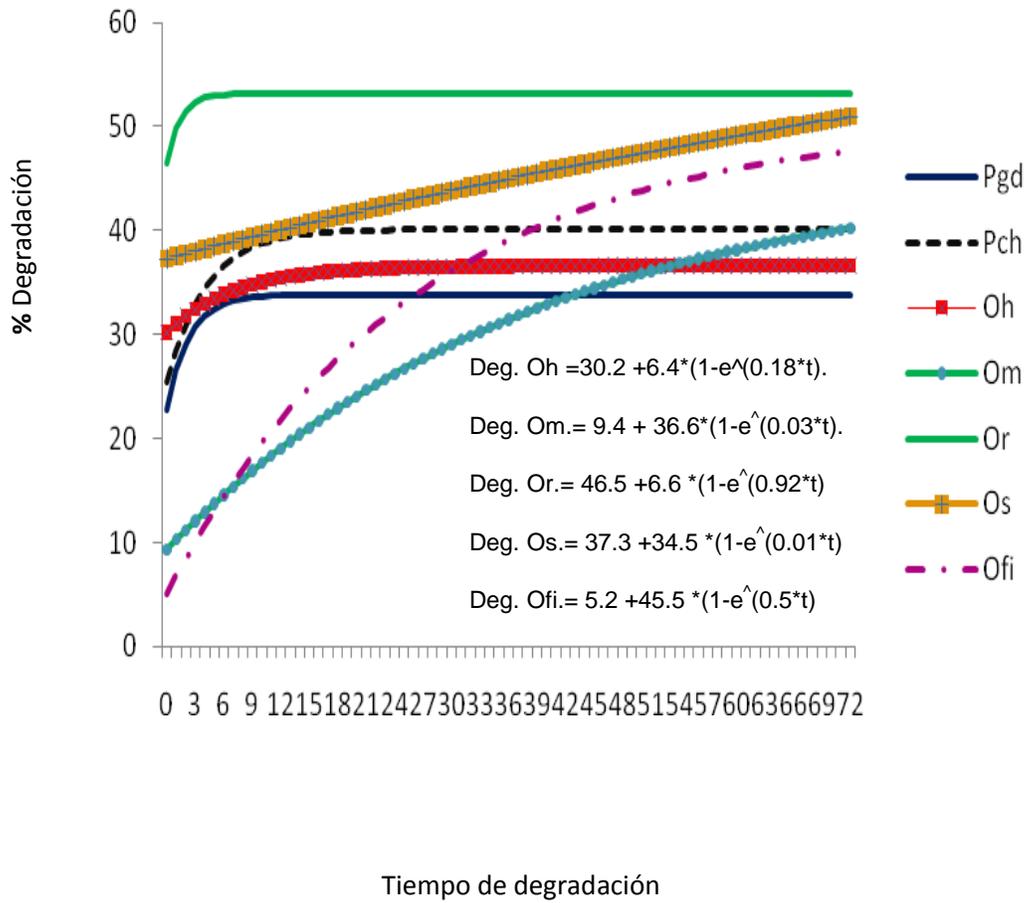
En la grafica 16 se puede apreciar mejor el comportamiento degradativo de las 5 especies de nopal, en donde claramente se ve que *Or*, alcanza los valores más altos en las primeras 9 horas alcanzando su máximo nivel de degradación, por otro lado, *Os* se va degradando lenta y paulatinamente hasta las 72 horas.

**Cuadro 30. Cinética de degradación *in vitro* de la FDA de 5 especies de nopal**

Fda	a	b	c	Deg. Potencial <sup>1</sup>	Deg. Efectiva <sup>2</sup>				R <sup>2</sup>	EE±
				a+b	Kp=0.02	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Pgd	22.7 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	0.54 <sup>c</sup>	33.8 <sup>a</sup>	33.3 <sup>a</sup>	33.1 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	32.4 <sup>a</sup>	43.4	4.2
Pch	25.4 <sup>b</sup>	14.7 <sup>b</sup>	0.30 <sup>d</sup>	40.1 <sup>b</sup>	38.9 <sup>b</sup>	38.4 <sup>b</sup>	37.7 <sup>b</sup>	37.0 <sup>b</sup>	44.7	5.3
Oh	30.2 <sup>c</sup>	6.4 <sup>c</sup>	0.18 <sup>a</sup>	36.6 <sup>c</sup>	36.0 <sup>c</sup>	35.5 <sup>c</sup>	35.0 <sup>c</sup>	34.6 <sup>c</sup>	40.2	2.2
Om	9.4 <sup>d</sup>	36.6 <sup>abc</sup>	0.03 <sup>ab</sup>	46.0 <sup>d</sup>	28.6 <sup>d</sup>	20.8 <sup>d</sup>	16.3 <sup>d</sup>	13.4 <sup>d</sup>	21.3	6.7
Or	46.5 <sup>e</sup>	6.6 <sup>c</sup>	0.92 <sup>e</sup>	53.1 <sup>e</sup>	53.9 <sup>e</sup>	52.9 <sup>e</sup>	52.7 <sup>e</sup>	52.6 <sup>e</sup>	39.2	2.5
Os	37.3 <sup>f</sup>	34.5 <sup>abc</sup>	0.01 <sup>b</sup>	71.8 <sup>f</sup>	48.0 <sup>f</sup>	43.6 <sup>f</sup>	41.8 <sup>f</sup>	40.8 <sup>f</sup>	14.7	2.5
Ofi	5.2 <sup>g</sup>	45.5 <sup>ab</sup>	0.5 <sup>b</sup>	50.6 <sup>g</sup>	37.4 <sup>g</sup>	30.2 <sup>g</sup>	25.6 <sup>g</sup>	22.4 <sup>g</sup>	51.8	6.1
X	25.2	22.2	0.29	47.4	39.3	36.3	34.6	33.3	36.5	4.2
EEM±	5.5	6.1	0.12	4.9	3.2	3.8	4.4	4.7	5.1	0.7
Sig.	***	***	***	***	***	***	***	***		

a=Fracción soluble o rápidamente degradable (%), b=Fracción potencialmente degradable (%), c= Velocidad o ritmo de degradación de la fracción b (tasa/h) D.efectiva=  $a+b(c/c+kp)$ , kp= tasa fraccional de paso, EE±: Error Estándar., Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Gráfica 16. Cinética de degradación *in vitro* de la FDA de 5 especies de nopal**



## VI. CONCLUSIONES.

**VI.1. Experimento 1. Efecto entre tamaño de la penca del nopal verdulero (*Opuntia ficus indica* var. Copena) en la composición nutricional, digestibilidad *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, digestibilidad por diferencia y digestibilidad intestinal.**

Las pencas grandes del nopal presentaron pequeñas diferencias en su composición nutricional en comparación con las pencas pequeñas, como un mayor contenido de PC y cenizas y menor contenido de lignina, sin embargo, en los dos casos, el contenido de PC-FDN puede ser un limitante en su digestibilidad. Por otra parte, la digestibilidad de MO fue superior en las raciones con Pgd, y la digestibilidad de la PC cruda fue menor en las raciones con Pch, al igual que el balance de N, sin embargo no fue negativo en ninguno de los casos. El consumo de agua contenida en el alimento se incrementó en forma importante con el consumo de penca y disminuyó el consumo de agua de bebida.

En la degradabilidad de la MS y la PC, la Pgd fue superior a la Pch, mientras que en las fracciones de FDN y FDA la Pch fue superior, sin embargo, la digestibilidad intestinal de la MS, FDN y FDA no fueron afectados. En la degradabilidad del nopal, la penca grade alcanza una mayor degradación que la penca chica, y esto mismo sucede en la cinética de degradación, además de esto, al adicionar las pencas de nopal, el consumo de agua se ve incrementado, lo cual puede demostrar que, la penca grande o madura, del nopal, considerada como un desperdicio o subproducto puede ser utilizado como un suplemento alimenticio y de agua para caprinos en regiones semiáridas.

## **VI.2. Experimento 2. Comparación nutricional de 5 especies de nopal silvestre**

La composición bromatológica de las 5 especies de nopal silvestre es diferente para cada una de ellas, sin embargo, *Ofi* presentó la menor cantidad de MS y MO, y las mayores cantidades de cenizas y FDA. Comparando *Ofi* con las demás especies silvestres, *Or* presentó una menor cantidad de FDA y una mayor cantidad de PC. En la cantidad de minerales todos son diferentes, siendo *Ofi* la que mayor cantidad de Ca, sin embargo, en todos los casos son pobres en Cu y Se. En la degradación de la MS, PC, FDN y FDA, *Ofi* presentó los mayores valores, mientras que de las especies silvestres *Or* y *Om*, mientras que *Os* mostró la menor degradación en todos los casos. Las especies silvestres de nopal pueden ser utilizadas en la suplementación alimenticia de ganado caprino ya que presenta características similares a *Ofi*, sin embargo, se debe tener en cuenta al adicionarlas a la dieta, que algunas especies presentan mayor cantidad de espinas y más grandes, por lo que deberán ser retiradas antes de ser adicionadas a la dieta. La especie *Om* presentó buenas características en su composición así como en el comportamiento degradativo, por lo tanto, es una especie que puede considerarse en la alimentación animal, además de esto, presenta otras características importantes, pudiéndose utilizar esta especie como cerco vivo, y como productora de tuna para consumo humano; por otra parte, se debe considerar que esta especie tiene espinas grandes, por lo que deberán ser retiradas antes de ofrecerlas como alimento.

## **VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

- A.O.A.C. (1984). Official Methods of Analysis. (14<sup>th</sup> Edition). Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. pp 152-157.
- Andrade – Montemayor, H. 1992. Nutricion y Alimentacion de la cabra manejada en agostadero. Ed. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arkansas. USA.
- Andrade- Montemayor,H. 2005. Valoración nutritive de dos sistemas de alimentacion y evaluacion del uso de Fuentes alternativas de proteína vegetal en la alimentación de caprinos. Tesis doctoral. Dp. Producción Animal. Universidad de Murcia. España.
- Ben Salem, H ; Nefzaoui, A. ; Ben Salem,L. (2004). Spinless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. Small Ruminant Research 51, 65-73
- Ben Salem, H y T.Smith.2008.Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. Small Ruminant Research, 77: 174-194.
- Bezerra de Andrade, D. K. Andrade Ferreira,M. Chaves Véras, A. Wanderley,W. ; Evandro da Silva, L. Ramos de Carvalho F. F; Souza Alves, K; Samay de Melo, W. 2002. Apparent digestibility and absortion od holstein cows fed diets with forage

cactus )Opuntia ficus indica. Mill) in replacement of sorghum silage (Sorghum bicolor (L.) moench). R. Bras. Zootec. Vol. 31 no.5 Viçosa Sep/Oct.

- Carrera C. y Cano. J. 1968. Plantas aprovechadas por el ganado carpino en una zona de matorral desertico y su análisis químico proximal. Rev. Mex. Prod. Animal.
- Carvalho, GG.P; Pires,A.J:V; Veloso,C; Detman, E.; Silva, F.F, Silva,R.R; 2006. Degradabilidade rumial do feno de alguns alimentos volumosos para ruminantes. ARQ. Bras. Med. Vet. Zootec. V.58 (4). 575-580.
- Cerrillo M A and Juarez R A S (2004). In vitro gas production parameters in cacti and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. Livestock Research for Rural Development. 16 (4)1-8 2004
- Cerrillo, M. A., O. O. López, C. G. Nevárez, R.G . Ramirez y R. A. S.Juaréz. 2005. Nutrient content, intake and in vitro gas production of diets by Spanish goats browsing a thorn shrubland in North Mexico. Small. Rumin. Res. 66: 76-
- Cervantes, Ramirez; M. C; 2005., Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Anais do X Encontro de Geógrafos da America Latina. Universidade de São Paulo. 3388-3407.
- Chifa, C, Ricciardi,A. 2000. Cactaceas medicinales en la flora chaqueña de Argentina usadas por las comunidades aborígenes Toba y Wichí. [www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar), consultado en 2009.

- Claridades agropecuarias, El nopal, numero 98, Octubre de 2001, consultado en <http://www.infoaserca.gob.mx> , 2009.
- Costa R. G, Mesquite Beltrao Filho, Nunes de Medeiros A., Naves Givisiez, R. R. C. Ramos do Egypto Queiroga, A. A. Silva Melo. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia fícus-indica* L.Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water.. Small Ruminant Research in line.
- Degen, A.A., 2006. Sheep and goat milk in pastoral societies. Small ruminant research (68) 7-19. Disponible en linea 19 de octubre de 2006.
- Delgadillo, J. A. 2005. Fotoperiodo y bioestimulación: Métodos naturales para controlar la reproducción caprina. XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa. 5,6,7, Octubre de 2005.131-141.
- Delgadillo, J.A., J. A. Flores, F. G. Véliz, H. F. Hernández, G. Duarte, J. Vielma, P-Poindron, P. Chemineau, and B. Malpoux. 2002. Inducción of sexual activity in lactating anovulatory females goats using male goats treated only with artificially long days. J. Anim. Sci. 2002. 80: 2780-2786.
- Duncan, A.J.; Frutos, P. and Young, S. A. (2000). The effect of rumen adaptation to oxalic acid on selection of oxalic acid rich plants by goats. British Journal of Nutrition, 83:59-65.
- Dutton, R., Clarke,J.,Battikhi,A.,(1998). Arid land resources and their management. Kegan Paul International. London and New York. 3-5.

- Fuentes Rodriguez J. M, 2003. Evaluación nutricional de cuatro especies de nopal (*Opuntia* spp.) forrajero. Publicaciones Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Disponible en: [www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/Zaridas/opuntia.pdf](http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/Zaridas/opuntia.pdf), Consultado en 2009.
- Flores V., C.A., & Aranda O., G. 1997. Opuntia-based ruminant feeding systems in Mexico. J. Prof. Assoc. Cactus Development, **2**: 3-8.
- Guevara, J. C, O. R. Estevez, C. R. Stasi. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. Small Ruminant Research. 34: 41-48.
- Instituto Nacional de Ecología. (2005). ubicado en : <http://www.ine.gob.mx/> Consultado en : sep 2008.
- Kawas. R. J; pérez,B. 2008. Determinacion de minerales en forrajes por Espectrometría de Emision  ptica Inductiva Acoplada a Plasma (OES-ICP). Laboratorios AQUA. Monterrey , NL. México.
- Kozloski, V.G. 2009. Bioquímica dos ruminantes. 2a edi o revista e ampliada. Ed. UFSM. 216.
- Kwak KP . Neuroprotective effects of the flavonoids isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* . Eur Neuropsychopharmacol . 2005 ; 15 (suppl 3): S567.
- Lascano, C. y R. Quiroz. 1992. Methodology for study of digestion dynamics in ruminants. Pags: 103-105. En: Ruminant Nutrition Research, Methodological guide

lines. Ruiz y Ruiz (eds). Edt. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. San José de Costa Rica

- **Lee G. C., Kim H. R. y Jang Y.S.** 2002. Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. *J. Agric. Food Chem.* 50, 6490-6496.
- **Lerner de Scheinvar, L.A;** Olalde Parra, G. ; Gaytán Villafuerte, A.; Olvera Sule, D.; Mena Mendieta, M.; Silva Mijangos, L.; Matías Hernández, E.; Sánchez-Cordero, V.; Linaje, M.; Filardo-Kerstupps, S.; Gallegos-Vazquez, C. 2009. Representación conocida de nopales silvestres mexicanos en ANP's. Propuestas de conservación. VII Congreso sobre Áreas Naturales Protegidas de México. Memorias de congreso, Disponible en : [www.congresoanps.gob.mx/descargar.php?f=memorias/EXTENSOS/CoFOe/CoFO1607e-34.pdf](http://www.congresoanps.gob.mx/descargar.php?f=memorias/EXTENSOS/CoFOe/CoFO1607e-34.pdf). Consultado en: diciembre, 2010.
- Licitra G.G; T.M. Hernández y P.J. Van soest, 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminal feeds. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 57:347-358.
- Loro, J.F. Del río, I. Pérez –Santana L. 1999. Preliminary studies of analgesic and antiinflammatory properties of *Opuntia dillenii* aqueous extract.. *Journal of ethnopharmacology.* 67(2) Nov. 213-218.
- Mainguet, M. 1999. *Aridity, Droughts and Human Development.* Springer- Verlag berlin Heidelberg. 6, 23-24.

- Malpaux, B. 2005. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa. 5,6,7, Octubre de 2005.99.131
- Mehrez A.Z. ; E.R. Orskov. 1977. A study of the artificial bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agr. Sci. Camb. 88 : 645-650.
- Mellado, M. 2005.Métodos para incrementar la eficiencia reproductiva de caprinos en agostaderos.XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA- FMVZ: UAS. Culiacán Sinaloa. 99-131.
- Misra, A.K., A. S. Mishra, M. K. Tripathi, O. H. Chaturvedi, S. Vaithyanathan, R. Prasad, R. C. Jakhmola. 2006. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) with or without groundnut meal. Small Ruminant. Research. 63:125-134.
- Nobel P.S. 1998. Los incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. México.
- NRC, 1980. Mineral Tolerance of domestic animal. Primera edición. Edit. National academy of sciences. Washington D.C.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids/Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants. Board on Agriculture and Natural Resources. Division on Earth and Life Studies. NRC. First Edition. Washington, DC. Pp:362.

- OEIDRUS, 2008. Oficina Estatal de Información para el desarrollo Rural Sustentable. Anuario Estadístico del Sector rural. Sistema de información para el desarrollo sustentable.
- Orskov. E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 1986.63:1624;1633.
- Ørskov, E. R. y I. McDonald 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci., Camb.* 92: 499-503.
- Osuji, P. O; Nsahlai, I. V., Khalili, H. 1993. Feed evaluation. ILCA Manual 5. ILCA. (International Livestock Centre for Africa), Addis Ababa, Ethiopia. Pp.40.
- Ramadan, M. ; Mörsel, J-T. 2003 Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus indica*(L.) Mill] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83(3) pp. 447-456.
- Ramirez, L. R., 1989. Estudios nutricionales de las cabras en el noreste de México, Segunda parte, Universidad Autónoma de Nuevo Leon, cuadernos de investigación(13), agosto, 1989. México.3-10.
- Ramirez, R. G., R. R. Neira-Morales, R. A. Ledezma-Torres, C.A. Garibaldi-González. 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* (36) 49-55.

- Ramirez, R. G., G.F.W. Haenlein., M. A. Nuñez-González. 2001. Seasonal variation on macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern Mexico. *Small Rumin Research*. 39: 153-159.
- Rodríguez –García, M.E; de Lira,C; Hernández – Becerra, E; Cornejo – Villegas, M.A; Palacios-Fonseca, A.J; Del- Real, A; Zepeda, T.A; Muñoz- Torres, C. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as function of the maturation. *Plant Foods Nutr*. 62:107-112.
- Rojo, R. R ; Rebollar R. S. JuvencioH. M; FelipeG. R.; Albarran P.B.M Dorantes C. E.J.; Cardoso, j.D.; López A.D; Navarro P.M; Vázquez M.O.V 2007. Valor nutricional de cuatro especies forrajeras arbóreas que consumen las cabras en el sur del Estado de México. *Memorias XXII reunión nacional sobre caprinocultura*. Zacatecas, Zactecas.
- SAGARPA. 2000. Estadísticas ganaderas. Disponible en [http://sagarpa.gob mx/](http://sagarpa.gob.mx/), consultado Sep 2005.
- SIAP, 2008, Inventarios ganaderos. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> consultado en 2009.
- Saénz,C. ; Bergues,H.;Corrales G.,J; Galleti,L; García de Cortázar, V.; Higuera, I. ; Mondragón C.; Rodríguez – Félix, A.; Sepúlveda,E. Varnero, M.; 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 162. Ed. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.

- Snyman, H.A. 2006. Soil-water utilization and sustainability in a semi-arid grassland. *Water South Africa*, 26, 330–341.
- Souza,E.J; Guim,A.;Batista,A.M.V;Santos,K.L; Silva,J.R;Morais,N.A.P; Mustafa,A.F. (2009). Effects of soybean hulls inclusion on intake, total tract nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spinelees cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. *Small Rumin. Res.* 85, 63-69.
- Steel,G.R.; Torrie,Torrie,1986. *Bioestadística, principios y procedimientos*. Mc. Graw Hill. México.
- Stintzing G. C, Reinhold C. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry technology and uses. , *Mol. Nutr, Food Res.* 49:175,194.
- Stretta, J.P. 2008. Los problemas Geohidrológicos que plantean las zonas áridas de la república Mexicana. Disponible en : <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca03/1961-24-2%20Stretta.pdf> . consultado en 2008.
- Tedeschi, L.O;Cannas,A.; Fox,D.G (2010),A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Res.* doi: 10.1016/j.smallrumres.2009.12.041.

- Tegegne, F.; Kijora, C.; Peters K.J.; (2007) Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus- indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*. 72:157-174.
- Teixeira J.C.; Evangelista, J.R.O; Perez, I.A.C; Molina,I.R.; Moron. 1999. Cinética da digestão ruminal da palma forrageira (*Nopalea cochinillifera* (L.) Lyons – cactaceae) em bovinos e caprinos, *Cienc. E.A* 23 179-186.
- Tisserand,J.I; Hadjipanayiotou,M; Gihad,E.A (1991), Chapter 5 Digestion in goats, In: Morand-Fehr(ed) :Goat Nutrition. Wageningen: Pudoc. p 46-60
- Torres,C.JA.; Mondragon, J.C; Blanco,L.A. 2008. Inhibidores de proteases en semillas de opuntia, Sociedad Mexicana de Bioquímica. A.C XXVII Congreso Nacional 2008.
- UNESCO, 2005. Mapa de Zonas áridas y semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Informe del taller realizado en Buenos Aires Argentina. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/381/1/040120copia.pdf> consultado en 2009.
- Underwood. E.j. 1985. Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural bureaux, London. Pp. 107- 109
- Van Soest J. P. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Edit. Ithaca, New York. USA. Cornell University Press.

- Van Soest, J. P., J. B. Robertson y B. A. Lewis. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74: 3583-3597.
- Van Soest , J. P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. . 2nd ed. Ithaca, New York. USA. Cornell University press
- Veras,R.M.L., Andrade F. M, Ramos Carvalho. F; Chaves, A. 2002. Farelo de palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) em substituição ao milho: digestibilidade aparente de nutrientes. *R. Bras. Zootec.* Vol.31. n3. 1302-1306.
- Vieira, E.L; Batista,Â.M.V.; Mustafa.A.F.; Araújo, R.F.S; Soares, P.C. Ortolane, E.L.; Mori, C.K. 2008. Effects off feeding high levels of cactus (*Opuntia fícus indica*. Mill) cladodes on urinary output and electrolyte excretion in goats. *Livestock science* 114. pp 354-357.
- Veras,R.M.L., Andrade F. M, Ramos Carvalho. F; Chaves, A. 2002. Farelo de palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) em substituição ao milho: digestibilidade aparente de nutrientes. *R. Bras. Zootec.* Vol.31. n3. 1302-1306.
- Vieira, E.L; Batista,Â.M.V.; Mustafa.A.F.; Araújo, R.F.S; Soares, P.C. Ortolane, E.L.; Mori, C.K. 2008. Effects off feeding high levels of cactus (*Opuntia fícus indica*. Mill) cladodes on urinary output and electrolyte excretion in goats. *Livestock science* 114. pp 354-357.
- Villegas-DiazJ.L.O; Aguilar Borjas,J. Andrade Montemayor, H. Basurto Gutierrez, R; Jimenez Severino,H. Vera Avila HR. 2009. Efecto del tamaño de la penca de

nopal (*Opuntia ficus indica*) sobre la degradabilidad in situ y cinética de degradación de la proteína cruda en caprinos. XXII Reunión nacional sobre caprinocultura. Zacatecas, México. PP.1-7.

## VIII. ANEXOS



**VI Congreso Latinoamericano  
de la Asociación de Especialistas  
en Pequeños Rumiantes  
y Camélidos Sudamericanos**

**XXIV Reunión  
Nacional sobre  
Caprinocultura**

**XV Congreso Nacional  
Asociación Mexicana  
de Técnicos Especialistas  
en Ovinocultura**



**El nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas: efecto del tamaño o madurez de la penca en la digestibilidad *in vivo* y composición.**

Nopal (*Opuntia ficus indica*) can be an alternative to supplementation of goats in semiarid regions: Effect of maturity of the cladodeo on *in vivo* digestibility and composition.

**Cordova-Torres A<sup>1</sup>, Gutierrez-Berroeta L<sup>1</sup>, Kawas R J<sup>2</sup>, García-Gasca T<sup>3</sup>, Aguilera- Barreiro A<sup>1</sup>, Malda G<sup>4</sup>, Andrade-Montemayor H<sup>#1</sup>.**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Medicina Veterinaria y Zootecnia, Cuerpo Académico en Morfofisiología Animal, Universidad Autónoma de Querétaro. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Del. Santa Rosa Jáuregui. Querétaro, México. CP.76230

<sup>#1</sup> Autor de Correspondencia: [andrademontemayor@yahoo.com.mx](mailto:andrademontemayor@yahoo.com.mx).

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Zuázua-Marín km 17.5. Marín. Nuevo León. México. CP. 66477

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Nutrición. Cuerpo Académico Nutrición y Salud. Universidad Autónoma de Querétaro. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Del. Santa Rosa Jáuregui. Querétaro, México. CP.76230-

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Biología. Cuerpo Académico Biología y Aprovechamiento de la flora y microorganismos. Universidad Autónoma de Querétaro. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Del. Santa Rosa Jáuregui. Querétaro, México. CP.76230-

## Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica* variedad Copena), en su composición y digestibilidad *in vivo*, se utilizaron 10 machos caprinos adultos con un peso de 44.7±3.3 Kg. Las pruebas de digestibilidad *in vivo* se realizaron en dos periodos de 22 días (15 de adaptación y 7 de muestreo); se controló el consumo de alimento, la producción de heces y orina y el consumo de agua. El consumo de alimento fue restringido (56 g de MS/kg PV<sup>0.75</sup>). El tamaño de la penca se determinó por medio de la medición de ancho x el largo, teniendo la penca chica (Pch) 147.03±19.2 cm<sup>2</sup> y la grande (Pgr) 705.25±101.3 cm<sup>2</sup>. El diseño experimental fue cruzado, considerando 3 raciones en 2 periodos, las raciones fueron: Control (CRT), Pch (80% de CTR +20% Pch), Pgr (80% + 20% de penca grande). El contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y lignina fue menor en la Pch, y mayor el de proteína cruda (PC) y fracciones fibrosas en la Pgr, las raciones fueron isoproteicas. El consumo de PC y fracciones fibrosas fue menor (P<0.001) en las raciones con Pch y Pgr. La digestibilidad MO fue mayor (P<0.001) en las raciones con Pgr. El consumo de N fue menor (P<0.001) en raciones que contenían nopal, al igual que el balance de nitrógeno que fue positivo. El consumo de agua fresca fue menor (P<0.001) en las raciones con penca grande. Por otra parte, el consumo total de agua (del alimento más agua fresca), fue superior en raciones que contenían nopal (P<0.001), incrementándose la producción de orina. En conclusión, sin importar el tamaño de la penca de nopal y debido a sus características nutricionales y como fuente de agua, el nopal puede ser considerado un suplemento adecuado en zonas semiáridas, además de aportar alimentos para los pobladores de estas regiones.

## Justificación

El nopal (*Opuntia* spp), puede considerarse como una opción viable de suplementación, especialmente por su capacidad de adaptación en regiones de baja precipitación pluvial y en suelos degradados <sup>5</sup>, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/ha <sup>8</sup>. En algunos casos es considerado como el principal aporte de agua para el ganado en regiones con escasez de este líquido <sup>10</sup>, y presenta un considerable contenido de carbohidratos solubles y por lo tanto, su aporte energético es importante. Debido a estas y otras características se ha utilizado como una fuente de forraje desde tiempos remotos <sup>2,3,4</sup>. En México, la penca de nopal se utiliza como una fuente de alimentación para humanos, principalmente las pencas jóvenes o de menor tamaño, lo que genera un desperdicio de pencas de tamaños grandes o maduras, que puede ser usado como suplemento para el ganado. Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento digestivo en caprinos. En algunos trabajos se ha considerado como un buen aporte de agua <sup>4,5</sup>, en otros por su aporte de carbohidratos de rápida degradación <sup>2,3</sup> y como un alimento con buena producción y digestibilidad <sup>8</sup>. Sin embargo, es poca y muy variable la información sobre el efecto que presenta el tamaño de la penca del nopal en la digestibilidad y capacidad de utilización ruminal en caprinos. Por lo que el **objetivo** del presente trabajo fue estudiar el efecto que presenta el tamaño o madurez de la penca de nopal en su composición bromatológica y en la digestibilidad *in vivo* de la MS, MO, FDN y FDA, así como en el balance de nitrógeno (N).

## Metodología

### Localización

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del CENID-Fisiología localizado en el kilómetro 1 de la carretera Ajuchitlán-Colon, y en el laboratorio de Nutrición animal de la Facultad de ciencias naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla.

### Animales

Se utilizaron 10 machos caprinos encastados con Nubia con un peso de 44.7±3.3 kg, los cuales permanecieron en Jaulas metabólicas de 1.4x 0.50 mts, que contaban con comedero, bebedero individual y un sistema para la recolección de heces y orina.

### Variedad, Origen y determinación del tamaño de la penca del nopal

El nopal utilizado en el experimento fue *Ficus indica* var. *Copena*, que provino del mismo sembradío ubicado en Atongo, El Marques, Querétaro, México. El tamaño de la penca se determinó por medio de la multiplicación del ancho por el largo de la penca, siendo dos tamaños, penca chica (Pch) con un promedio de 147.03±19.2 cm<sup>2</sup> y la grande (Pgr) de 705.25±101.3 cm<sup>2</sup>.

### Alimentación .

Las dietas experimentales consistieron en una dieta control (Ctr) que se describe en el cuadro 1, y dos raciones experimentales que contenían el 80% de la ración control en MS y el 20% restante de penca de nopal chico (Pch) o penca de nopal grande (Pgr) (cuadro 2) . El alimento se ofreció en forma restringida (56 g de MS/kg PV <sup>0.75</sup> equivalente a 2.1% del PV) <sup>9</sup>. La adaptación a la alimentación fue de 15 días y 7 días de muestreo por periodo (2 periodos). Durante el muestreo los animales permanecieron en jaulas metabólicas que contaban con comedero y bebedero individual y un sistema de recolección de orina y excretas. Diariamente se controló la ingestión de alimento y la producción de orina y heces, de las que se tomaron muestras y fueron congeladas para su posterior análisis.

**Cuadro 1. Contenido porcentual en ingredientes de la ración control**

<b>Ingrediente</b>	<b>%</b>
Rastrojo de Sorgo	53.2
Alfalfa	20
Sorgo molido	19.8
Melaza	5
Premix Mineral y vitamínica	2

**Cuadro 2. Composición de las raciones Experimentales (%)<sup>1</sup>**

<b>Ración</b>	<b>Control</b>	<b>Pch</b>	<b>Pgr</b>
Control	100	80	80
Penca Chica (Pch)		20	
Penca Grande (Pgr)			20

<sup>1</sup> El contenido de ingredientes de las raciones está expresado como % de MS.

### **Análisis de laboratorio**

El alimento ofrecido, rechazado y las heces se secaron a 60°C durante 48 h, posteriormente se molieron en un molino Willey® con criba de 2 mm. Se determinó la materia seca (MS), cenizas, materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) (Nx6.25) <sup>1</sup>, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) <sup>11</sup> y proteína cruda unida a fibra detergente neutro (PC-FDN) y proteína cruda unida a detergente ácido (PC-FDA) <sup>7</sup>.

Se determinó el contenido de nitrógeno en muestras de orina <sup>1</sup>.

### **Cálculos y estimaciones**

Se determinó el **coeficiente de digestibilidad *in vivo* (CD)** de la MS, MO, PC, FDN y FDA <sup>6</sup>, en donde:

$$\text{CD nutriente (\%)} = \frac{\text{Nutriente ingerido (g)} - \text{Nutriente excretado (g)}}{\text{Nutriente ingerido (g)}} \times 100$$

---

**Nutriente ingerido (g)**

Así como el **balance de nitrógeno (BN)** se determinó como la diferencia entre el nitrógeno consumido y el excretado en orina y heces:

$$\text{BN( g/día): } N_i - (N_H + N_o)^6$$

El diseño fue cruzado considerando 3 tratamientos (**Ctr, Pch, Pgr**) en dos periodos.

### Resultados y discusión

En el cuadro 3, se muestra la composición nutrimental de la penca de nopal de acuerdo a su tamaño, en el cual se puede observar que las pencas de mayor tamaño presentaron un menor contenido de MS y MO y lignina. Sin embargo, el contenido de PC, FDN, FDA, PC-FDA y Cenizas fue mayor en la penca grande (P<0.01), así como la disminución en el contenido de MS y MO (P<0.01) ha sido mencionado por varios autores<sup>3,9,12</sup>. Sin embargo, el menor contenido de lignina a mayor madurez, es contrario a lo mencionado por<sup>12</sup>. Por otra parte, el contenido de diferentes nutrientes es muy variable, y es afectado en forma importante por la variedad de *Opuntia* utilizada. Sin embargo, los resultados observados en este trabajo se encuentran dentro de los rangos observados por otros autores<sup>3,8,10,13</sup>.

**Cuadro 3.- Composición nutrimental de las pencas de nopal (*Opuntia ficus indica* var. *Copena*) de acuerdo a su tamaño ( Penca chica : Pch; Penca grande: Pgr)**

	<b>Pch</b>	<b>Pgr</b>	<b>EE±<sup>1</sup></b>	<b>Sig.<sup>2</sup></b>
MS	16.52	15.47	0.993	***
MO	86.60	83.54	0.099	***
PC	4.55	5.22	0.113	***
FDN	35.85	39.63	1.307	***
FDA	20.23	21.33	0.825	***
Lignina	2.54	2.35	0.466	***
PC-FDN	4.50	5.19	0.606	NS
PC-FDA	1.36	1.76	0.045	***
Cenizas	13.39	16.45	0.099	***

---

<sup>1</sup>EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

En el cuadro 4, se presenta el contenido nutricional de las dietas experimentales, considerando que las raciones Pch y Pgr se encontraban compuestas por 80% de la ración control y 20% de penca de nopal ya sea chica o grande. Las raciones diseñadas tenían como función comparar raciones isoproteicas e

isoenergéticas, para evitar efectos debidos al contenido nutricional de la ración; sin embargo, la inclusión de penca, permitió una disminución del 14% en el contenido de MS y 4% en el de fracciones fibrosas, sin afectar en el contenido de PC, MO.

**Cuadro 4.- Contenido nutricional de las dietas experimentales (%)**

	<b>Control</b>	<b>Pch</b>	<b>Pgr</b>
Nutriente			
MS	88.97	74.5	74.3
FDA	38.30	34.6	34.9
FDN	53.00	49.2	49.9
PC	7.56	6.9	7.0
Lignina	4.07	3.8	3.8
MO	87.85	87.6	87.0
PC-FDN	5.0	5.0	5.3
PC-FDA	1.7	1.7	1.8
Cenizas	12.14	12.4	13.0

En el cuadro 5 se presenta el efecto de la inclusión de penca de nopal de diferente tamaño o madurez en el consumo de alimento, pudiéndose observar que, aún cuando el alimento se ofreció en forma restringida (56 g/kg de PV<sup>0.75</sup> o 2.1% del PV), se presentó una disminución en el consumo de PC y fracciones fibrosas (P<0.01) en las raciones que contenían nopal, lo cual se puede deberse al menor contenido de estos nutrientes en la penca.

**Cuadro 5.- Efecto del tamaño de la penca en la gestión de nutrientes de las raciones experimentales**

	Control	Pch	Pgr	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
IMS g/día	968	956	986	42	NS
IMOG/día	883	885	904	11	NS
IPC g/día	80a	71b	76c	10	***
IFDN g/día	513a	468b	495c	60	***
IFDA g/día	403a	351b	370c	50	***
IMS g/kg PV <sup>0.75</sup>	55.72	56.48	55.50	0.62	NS
IMO g/kg PV <sup>0.75</sup>	51.00	52.00	51.00	0.001	NS
IPC g/kg PV <sup>0.75</sup>	4.63a	4.20b	4.27c	0.04	***
IFDN g/kg PV <sup>0.75</sup>	29.70	27.71	27.72	0.35	***
IFDA g/kg PV <sup>0.75</sup>	23.35a	20.76b	20.86b	0.24	***

<sup>1</sup> EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

En el cuadro 6 se presenta el efecto del tamaño de la penca en el coeficiente de digestibilidad de la MS, MO, PC, y fracciones fibrosas, observándose, que la inclusión de pencas grandes mejoró (P<0.01) la digestibilidad de la MO. Por otra parte, la inclusión de penca chica en la ración provocó una ligera disminución en la digestibilidad de la PC (P<0.05), sin afectar la digestibilidad de las fracciones fibrosas. Los coeficientes de digestibilidad observados con raciones con 20% de nopal por <sup>10</sup> en ovinos, son similares a los observados en este experimento con rangos de 45 a 55%. Este autor menciona que aún cuando la digestibilidad de las *Opuntias* es elevada, su inclusión no estimula la digestibilidad de la dieta, Por otra parte, menciona que la degradabilidad puede incrementarse por la inclusión de *Opuntias*.

En el cuadro 7 se presenta el efecto del tamaño de la penca en el balance de nitrógeno (N), observándose que el consumo de nitrógeno (N) fue menor (P<0.001) en las raciones con *Opuntia*, Sin embargo, el balance de nitrógeno fue menor en la ración con penca chica, la cual presentó un menor contenido de PC ( 4.5 vs 5.2 para Pch y Pgr respectivamente). El balance de nitrógeno, fue positivo en todos los casos, y el consumo por kg de PV<sup>0.75</sup> se encuentra por arriba de los requerimientos de <sup>9</sup>. Sin embargo, el contenido de PC-FDN en las Pch y Pgr corresponde al valores superiores del 90%, lo cual podría indicar una baja digestibilidad de ésta, lo que se demuestra con el mayor contenido de N en heces <sup>7,12</sup>. Los resultados coinciden con los de diferentes autores<sup>2,8</sup>.

**Cuadro 6.- Efecto del tamaño de la penca en la digestibilidad de los nutrientes.**

	Control	Pch	Pgr	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
<b>DMS</b>	57.20	59.26	61.77	1.20	NS
<b>DMO</b>	63.23a	64.32a	67.67b	1.20	***
<b>DPC</b>	56.67a	49.28b	57.51a	1.99	*
<b>DFDN</b>	45.27	44.65	47.89	1.68	NS
<b>DFDA</b>	43.22	41.62	45.24	1.94	NS

<sup>1</sup>EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

**Cuadro 7.-Efecto del tamaño de la penca en el balance de nitrógeno**

	Control	Pch	Pgr.	EE± <sup>1</sup>	Sig <sup>2</sup>
<b>N consumido</b>	12.73a	11.40b	12.10c	0.1	***
<b>N en Heces</b>	4.81	5.72	4.98	0.3	NS
<b>N en orina</b>	3.13	3.23	3.34	0.2	NS
<b>Balance de nitrógeno</b>	4.78a	2.44b	3.77a	0.3	***
<b>N consumido (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.74a	0.67b	0.68c	0.06	***
<b>N en orina (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.18	0.19	0.190	0.008	NS
<b>N en heces (g/kg de pv<sup>0.75</sup> por día).</b>	0.27a	0.33b	0.28 <sup>a</sup>	0.16	*

<sup>1</sup>EE±: Error Estandar. <sup>2</sup> Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001)

En el cuadro 8, se presenta el consumo de agua tanto fresca como contenida en el alimento, pudiéndose observar que el consumo de agua fluida fue menor ( $P < 0.001$ ) en los animales que consumieron raciones que contenían nopal. Sin embargo, el consumo de total de agua (ml/d) fue mayor en la ración Pch ( $P < 0.01$ ) debido al mayor contenido de este líquido en el nopal pequeño. Aún cuando la producción de orina (ml/d) fue mayor en las raciones Pgr ( $P < 0.001$ ) cuando ésta y el consumo se ajustaron al peso metabólico ( $\text{kg PV}^{0.75}$ ) los animales consumiendo la Pch presentaron una mayor producción de orina relacionado con el consumo y contenido de agua de la penca, datos similares fueron obtenidos por <sup>4</sup>, en que el consumo de agua fresca disminuyó al incrementarse el consumo de Opuntias. Sin embargo, el consumo de agua total incluyendo la contenida en el alimento se incrementó. Por su parte <sup>13</sup>, menciona que además del incremento en el consumo de agua total con el uso de *Opuntias*, también se incrementa la diuresis, lo cual podría estar asociado al elevado contenido de potasio en dichas *Opuntias*.

**Cuadro 8.- Consumo de agua fresca y contenida en el alimento de caprinos consumiendo raciones con 20% de penca de nopal (*Opuntia ficus indica* var. *Copena*) de diferentes tamaños.**

	Control	Pch	Pgr	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
Consumo de agua fresca (ml)/d	1907.2a	1644.3a	1420.7b	107.5	***
					***
Consumo de H <sub>2</sub> O <sup>1</sup> total (ml/d)	2030.19a	2946.31b	2696.68c	107.5	
Orina ml/d	743.07a	1161.64b	1228.03b	56.1	***
Consumo de agua fresca (ml)/kg PV <sup>0.75</sup>	113.48a	97.41a	80.44b	6.2	**
Consumo de H <sub>2</sub> O total (ml/kg de PV <sup>0.75</sup> )	120.66a	174.24b	152.57c	6.5	***
Orina ml/kg de PV <sup>0.75</sup> )	44.34a	71.87b	69.71c	3.8	***

<sup>1</sup> Se consideró el consumo de agua fresca y el consumo de agua contenida en el alimento.

## Conclusiones

Las pencas grandes del nopal presentaron pequeñas diferencias en su composición nutricional con las pencas pequeñas, como un mayor contenido de PC y cenizas y menor contenido de lignina, sin embargo, en los dos casos, el contenido de PC-FDN puede ser un limitante en su digestibilidad. Por otra parte, la digestibilidad de MO fue superior en las raciones con Pgr, y la digestibilidad de la PC cruda fue menor en las raciones con PCh, al igual que el balance de N, pero el consumo de agua contenida en alimentos se incrementó en forma importante con el consumo de penca, lo cual puede demostrar que, la penca grande o madura, del nopal, considerada como un desperdicio o subproducto puede ser utilizado como un suplemento alimenticio y de agua para caprinos en regiones semiáridas.

## Bibliografía

- 1.-A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14<sup>th</sup> Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- 2.-Ben Salem, H ; Nefzaoui, A. ; Ben Salem,L. (2004). Spinless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small Ruminant Research* 51, 65-73.
- 3.-Ben Salem, H y T.Smith.2008.Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77: 174-194.
- 4.-Costa R. G, Mesquite Beltrao Filho, Nunes de Medeiros A., Naves Givisiez, R. R. C. Ramos do Egypto Queiroga, A. A. Silva Melo. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water.. *Small Ruminant Research in line*.
- 5.-Guevara, J. C, O. R. Estevez, C. R. Stasi. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. *Small Ruminant Research*. 34: 41-48.
- 6.-Lascano, C. y R. Quiroz. 1992. Methodology for study of digestion dynamics in ruminants. Pags: 103-105. En: *Ruminant Nutrition Research, Methodological guide lines*. Ruiz y Ruiz (eds). Edt. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. San José de Costa Rica
- 7.-Licitra. G., T. M. Hernández y P. J. Van Soest. 1996. Standarization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57: 347-358

- 8.-Misra, A.K., A. S. Mishra, M. K. Tripathi, O. H. Chaturvedi, S. Vaithyanathan, R. Prasad, R. C. Jakhmola. 2006. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) with or without groundnut meal. *Small Ruminant Research*. 63:125-134.
- 9.-NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids/Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants. Board on Agriculture and Natural Resources. Division on Earth and Life Studies. NRC. First Edition. Washington, DC. Pp:362.
- 10.-Tegegne, F.; Kijora, C.; Peters K.J.; (2007) Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*. 72:157-174
- 11.-Van Soest, J. P., J. B. Robertson y B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74: 3583-3597.
- 12.-Van Soest , J. P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. . 2nd ed. Ithaca, New York. USA. Cornell University press..
- 13.-Vierira, E. L., A.M.V. Batista, A.F. Mustafa, R. F.S. Araújo, P.C. Soares, E. L. Ortolane, C. K. Mori. 2008. Effects of feeding high level of cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) cladodes on urinary output and electrolyte excretion in goats. *Livestock Science*. 114: 354-357

**The cactus as a food supplement for goats in the semiarid: Effect of size and speed of degradation step *in vivo*, potential and effective degradation and intestinal digestibility of *Opuntia ficus indica* cladodes var. copena .**

Cordova-Torres, AV<sup>1</sup> .; Mendoza M, JC<sup>1</sup> .; . Andrade-Montemayor, H. <sup>1,\*</sup>

**Introduction**

Caprinocultura in Mexico takes place in about 60% of the country, where the semi-arid climate is not conducive to the development of other activities (SAGARPA 2000). This activity is performed by the inhabitants of these areas, because the goat is an animal eating habits very versatile (Ramírez 1989). However, these animals have a seasonal breeding (Delgadillo 2005; Malpaux, B.2005), starting the breeding season when environmental conditions and forage production are best, while the delivery period begins at the time the forage is scarce, and therefore, prolificacy and survival of offspring is affected (Mellado 2005). For this reason, we must seek an alternative food to suit semi-desert areas, such as resistance to long periods of drought, adaptability to soil type and availability throughout the year.

A food that these features are cactus, prickly pear is an important forage resource and is inexpensive. *Opuntia ficus indica* is the most commonly cacti used for human and animal consumption. In Mexico, the nopal is used as a food source for humans, especially the young cladodes or smaller, which leads to wastage of large or mature cladodes, which can be used as a supplement for livestock, so the objective of this work was to know the effect to use pads in two sizes (considered in this work as a state of maturity) *in vivo* digestibility, degradation and intestinal digestion, besides to evaluate the effect of the rate of passage effective in the degradation and intestinal degradation of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF).

**Methodology**

***in vivo* Digestibility**

The experiment was conducted on CENID- Fisiología located at kilometer 1 Ajuchitlán-Colon, and in the laboratory of Animal Nutrition, Faculty of Natural Sciences of the Autonomous University of Querétaro, Campus Juriquilla. Were used 10 Nubian bucks with a weight of  $44.7 \pm 3.3$  kg, which were kept in metabolic cages 1.4x 0.50 m, which had feeder, individual drinker and a system for collection of feces and urine.

The cactus used in the experiment was *Opuntia ficus indica* var. Copena, which came from fields located in Atongo, El Marques, Queretaro, Mexico. The size of the leaf was determined by multiplying the width by the length of the leaf, with two sizes, small cladode (SC) with an average of  $147.03 \pm 19.2$  cm<sup>2</sup> and large cladode (LC) of  $101.3 \pm 705.25$  cm<sup>2</sup> and nutrient composition shown in Table 1.

The experimental diets consisted of a control diet (Ctr) (See Table 1) and two experimental diets containing 80% of the diet in DM and control 20% of SC or LC (Table 2). The food is offered on a limited basis (56 g DM / kg PV<sup>0.75</sup> equivalent to 2.1% of PV) (NRC 2007). Adaptation to food was 15 days and 7 days of sampling period (2 periods). During the sampling, animals were kept in metabolic cages that had individual feeding and drinking and urine and feces collection system . Was monitored daily food intake and production of urine and feces, the samples were taken and then frozen for later analysis.

Table 1. Chemical composition of leaves of nopal (*Opuntia ficus indica* var.Copena) according to their size (SC, LC)

Nutrient	SC	LC
DM	16.52	15.47
OM	86.60	83.54
CP	4.55	5.22
NDF	35.85	39.63
ADF	20.23	21.33
Hemicellulose	15.62	18.3
Lignin	2.54	2.35
CP-NDF (% DM)	4.50	5.19
CP-ADF (% DM)	1.36	1.76
CP-hemicellulose (% DM)	3.14	3.43
CP-NDF (% PC)	98.90	99.42
CP-ADF (% PC)	30.22	33.71

CP-hemicellulose (% PC)	20.10	18.74
Cenizas Ash	13.39	16.45

Table 2. Composition of experimental rations (%) <sup>1</sup>

Ration	Control	SC	LC
Control	100	80	80
Small cladode (SC)		20	
Large Cladode (LC)			20
Nutrient			
DM	88.97	74.5	74.3
ADF	38.30	34.6	34.9
NDF	53.00	49.2	49.9
CP	7.56	6.9	7.0
Lignin	4.07	3.8	3.8
MO	87.85	87.6	87.0
CP-NDF	5.0	5.0	5.3
CP-ADF	1.7	1.7	1.8
Ash	12.14	12.4	13.0

<sup>1</sup> The content of ration ingredients are expressed as% DM.

#### Laboratory analysis

The feed offered, refused and feces were dried at 60° C for 48 h, then ground in a Willey mill<sup>®</sup> with 2-mm sieve. We determined the dry matter (DM), ash, organic matter (OM) and crude protein (CP) (Nx6.25) (AOAC 1984), Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF) (Van Soest, et al. 1991) (Van Soest, et al. 1991) , Crude Protein linked to NDF (CP-NDF) and Crude Protein linked to Acid Detergent Fiber (CP-ADF) (Licitra et al, 1996).

#### Calculations and estimates

Coefficient of *in vivo* apparent digestibility (CD) was determined of the DM, OM, CP and *in vivo* digestibility of NDF and ADF (Lascano and Quiroz, 1992), where:

$$CD \text{ nutrient (\%)} = \frac{\text{nutrient intake (g)} - \text{nutrient excreted (g)} \times 100}{\text{Nutrient intake (g)}}$$

The design was randomized 3x2 factorial factors being diet (Ctr, SC,LC) and period (two periods).

#### *in vitro* Degradability

The degradability of DM, fiber and protein fractions were estimated according to the equation recommended by Ørskov and McDonald (1979):

$$Dg = a + b(1 - e^{-ct}) \quad Dg = a + b(1 - e^{-ct})$$

Where:

Dg = degradation of the nutrient in the incubation time t (%)

a = quickly degradable fraction (%)

b = potentially degradable fraction (%)

c = Velocity or rate of degradation of fraction b (rate / h)

t = Time (h)

This experiment was performed on *in vitro* degradation Ankom Daisy II<sup>™</sup>, bags were introduced (F57 Ankom<sup>™</sup> with cactus and retired at different times (0, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 hours.), removed and washed with water, then frozen until laboratory analysis.

### Apparent digestibility coefficient difference

The apparent digestibility of cactus included in the diets was obtained with the coefficient of digestibility of the concentrate, and the coefficient of digestibility of the ration. This equation applies (Meneses 2002), estimated the apparent digestibility of food in a mixed ration.

$$D_A = X_i D_x + Y_i D_y \quad D_A = X_x + Y_i D_i$$

Knowing  $D_A$ ,  $X_i$ ,  $D_x$  and  $Y_i$  the equation solve the problem of food digestibility

$$D_y = \frac{D_A - D_x X_i}{Y_i}$$

Where:

$D_A$  = apparent digestibility of the ration

$X_i$  = quantity of nutrient ingested food x

$D_x$  = Digestibility of food x

$Y_i$  = Amount of ingested food and nutrient

$D_y$  = digestibility of food (problem).

The values of rumen degradability and *in vivo* digestibility of DM, NDF and ADF digestibility was estimated with the following formula:

$$\text{Intestinal Digestibility} = \text{in vivo digestibility} - \text{ruminal degradability.}$$

Ruminal degradability values were those of the degradation potential (DP), 72 hours (a + b) and effective degradability (a + b \* (c / c \* kp) with two values of fractional rate of passage (kp) kp = 0.026 / h (Tisserand 1991) equivalent to 38.46 h and 0.08 / h (Pch) and 0.083 / h (RMP), these values were obtained through the formula # 32 of Tedeschi et al (2010), which are equivalent 12.5 and 12.04 hours spent in the rumen, indicating the effect of kp in ruminal digestibility and passage of food into the intestine.

## Results and Discussion

### *In vivo* Digestibility

Table 3 shows the effect of the leaf size on the coefficient of digestibility of DM, OM, PC, and fiber content of ration control (without nopal) and experimental (80% Ctr +20% large cladode or small), observing that the inclusion of LC improved (P <0.01) digestibility of OM. Moreover, the inclusion of SC in the ration caused a slight decrease in CP digestibility (P <0.05) without affecting the digestibility of DM and fiber content. There was no effect between periods. Digestibility coefficients observed with rations with 20% of cactus by Tegegne (2007) in sheep are similar to those observed in this experiment ranges from 45 to 55%. This author mentions that even though the digestibility of *Opuntia* is high, their inclusion does not stimulate the digestibility of the diet. On the other hand, mentions that the degradability can be increased by the inclusion of *Opuntia*.

Table 3 .- Effect of the leaf size on the digestibility of nutrients.

	Control	SC	LC	SE <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
<b>DDM</b>	57.20	59.26	61.77	1.20	NS
<b>DOM</b>	63.23a	64.32a	67.67b	1.20	***
<b>DCP</b>	56.67a	49.28b	57.51a	1.99	*
<b>DNDF</b>	45.27	44.65	47.89	1.68	NS
<b>DADF</b>	43.22	41.62	45.24	1.94	NS

<sup>1</sup> SE ±: Standard error. <sup>2</sup> Sig: NS: P > 0.05, \* P < 0.05, \*\*\* P < 0.001)

### Digestibility by difference

Table 4 shows the effect of the size of the nopal on the degradability and digestibility of DM, noting that potential and effective degradability of DM of the LC is better (P <0.001) than the SC. Cladode size did not affect (P > 0.05) *in vivo* digestibility and degradability of NDF (Table 5). However, digestibility of DM, NDF and ADF were not affected (P > 0.05) to be considered for estimating the potential degradability (72 h) and effective to 0.08 / h (SC) and 0.083 / h (LC) (Tedeschi et al 2010). With the exception of the effect of the decrease in NDF digestibility in

which it considered the potential degradability (72 h) and resulted in a higher estimate rumen degradation and lower passage and digestibility in the intestine. The results obtained by Souza et al (2009) shows a fractional rate of passage of 0.07 / h, similar to the disappearance rate obtained in this work using the formula of Tedeschi et al (2010). At these rates of step and according to estimates, is a digestibility of 29 to 32% of dry matter per hour, this according to Tisserand et al. (1991) would be by cecal digestion.

Table 4. Effect of size of the leaf of the prickly pear (*Opuntia ficus indica*) in vivo digestibility by difference, potential degradability (a + b 72 hr), effective degradability considering two estimates of kp (Tedeschi et al 2010 and Tissera et al. 1991) and intestinal digestibility of DM.

	Digestibility In vivo (by difference)	DP at 72 hr (a + b)	ED <sup>1</sup> Tisserand et al. (1991)	ED <sup>2</sup> Tedeschi et al. (2010)	ID <sup>3</sup> (DP: 72 hr)	ID Tisserad et al. (1991)	ID Tedeschi et al. (2010)
SC	61.70	47.41a	39.81	29.86a	14.29	21.89	31.84
LC	62.99	49.41b	43.21	33.93b	13.61	19.78	29.06
SEM±	1.5	3.01	8.47	3.01	1.5	2.66	1.5
Sig.	NS	0.001	NS	0.001	NS	NS	NS

ED= Effective degradability=  $a + b (c / c + kp)$  kp = fractional rate of passage / SC h. <sup>1</sup>kp = 0.08 / h, LC 0.083 / h (Tedeschi et al. 2010). <sup>2</sup>kp = 0.024 / h ( Tissera et al. 1991). Potential Degradability =  $a + b * (1 - e^{-c * time.})$ . <sup>3</sup>ID = intestinal digestibility = in vivo digestibility -rumen degradability.

Table 5. Effect of the size of the leaf of the prickly pear (*Opuntia ficus indica*) in vivo digestibility by difference, potential degradability (a + b 72 hr), effective degradability considering two estimates of kp (Tedeschi et al 2010 and Tissera et al. 1991) and intestinal digestibility of NDF.

	Digestibility In vivo (by difference)	DP at 72 hr (a + b)	ED1 Tisseran d et al. (1991)	ED2 Tedeschi et al. (2010)	ID3 (DP: 72 hr)	ID Tisserad et al. (1991)	ID Tedeschi et al. (2010)
SC	49.21	47.81	43.75	37.19	26.64	5.46	12.02
LC	44.92	46.57	32.49	19.54	6.97	12.43	25.38
SEM±	3.7	8.47	8.47	8.47	1.98	2.66	2.74
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

ED= Effective degradability=  $a + b (c / c + kp)$  kp = fractional rate of passage / SC h. <sup>1</sup>kp = 0.08 / h, LC 0.083 / h (Tedeschi et al. 2010). <sup>2</sup>kp = 0.024 / h ( Tissera et al. 1991). Potential Degradability =  $a + b * (1 - e^{-c * time.})$ . <sup>3</sup>ID = intestinal digestibility = in vivo digestibility -rumen degradability.

Table 6 .- Effect of the size of the leaf of the prickly pear (*Opuntia ficus indica*) in vivo digestibility by difference, potential degradability (a + b 72 hr), effective degradability (KP: 02, 04) and intestinal digestibility of the ADF .

	Digestibility In vivo (by difference)	DP at 72 hr (a + b)	ED1 Tissera nd et al. (1991)	ED2 Tedeschi et al. (2010)	ID3 (DP: 72 hr)	ID Tisserad et al. (1991)	ID Tedeschi et al. (2010)
SC	47.87	40.12	36.98	31.81	21.12	10.89	16.06
LC	43.84	33.84	32.31	29.39	16.26	11.53	14.45
SEM±	3.7	4.8	4.8	4.8	2.5	2.5	2.4
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

ED= Effective degradability=  $a + b (c / c + kp)$  kp = fractional rate of passage / SC h. <sup>1</sup>kp = 0.08 / h, LC 0.083 / h (Tedeschi et al. 2010). <sup>2</sup>kp = 0.024 / h ( Tissera et al. 1991). Potential Degradability =  $a + b * (1 - e^{-c * time.})$ . <sup>3</sup>ID = intestinal digestibility = in vivo digestibility -rumen degradability.

## Conclusions

On the degradability and digestibility of DM of cactus were higher in the LC, however intestinal digestibility of DM, NDF and ADF were not affected which can prove that the large or mature cladode of the cactus, considered as a waste or by-product can be used as a nutritional supplement for goats in semiarid regions.

### **Acknowledgements**

This work was supported by SEP-PROMEP, and funded by the project PROMEP/103/07/2518.

### **Bibliography**

- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14<sup>th</sup> Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- Delgadillo, J. A. (2005). Fotoperiodo y bioestimulación: Métodos naturales para controlar la reproducción caprina. XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa. 5,6,7, Octubre de 2005.131-141.
- .-Lascano, C. y R. Quiroz. (1992). Methodology for study of digestion dynamics in ruminants. Pags: 103-105. En: Ruminant Nutrition Research, Methodological guide lines. Ruiz y Ruiz (eds). Edt. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. San José de Costa Rica
- Licitra. G., T. M. Hernández y P. J. Van Soest. (1996) Standarization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. .57: 347-358
- Malpaux, B. (2005). Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa. 5,6,7, Octubre de 2005.99.131
- Mellado, M. (2005).Métodos para incrementar la eficiencia reproductiva de caprinos en agostaderos.XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA- FMVZ: UAS. Culiacán Sinaloa. 99-131.
- Meneses M. Marcos . (2002).Tesis Doctoral “Evaluacion nutritiva y fermentativa del ensilado de dos subproductos agroindustriales, brócoli (*Brassica olearacea*. L var *Itálica*) y alcachofa (*Cynara scolymus*. L) para su empleo en la alimentación animal. Universidad de Murcia, España. 261-261.
- NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids/Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants. Board on Agriculture and Natural Resources. Division on Earth and Life Studies. NRC. First Edition. Washington, DC. Pp:362.
- Ørskov, E. R. y I. McDonald 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci., Camb. 92: 499-503.
- Ramirez, L. R., (1989) Estudios nutricionales de las cabras en el noreste de México, Segunda parte, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, cuadernos de investigación(13), agosto, 1989. México.3-10.
- SAGARPA. (2000). Estadísticas ganaderas. Disponible en <http://sagarpa.gob.mx/>, consultado Sep 2005.
- Souza,E.J; Guim,A.;Batista,A.M.V;Santos,K.L; Silva,J.R;Morais,N.A.P; Mustafa,A.F. (2009). Effects of soybean hulls inclusión on intake, total tract nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spinelees cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. Small Rumin. Res. 85, 63-69.
- Tedeschi, L.O;Cannas,A.; Fox,D.G (2010),A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requeriments of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development anevaluation of the Small Ruminant Nutrition System. Small Ruminant Res. doi: 10.1016/j.smallrumres.2009.12.041.

-Tegegne, F.; Kijora, C.; Peters K.J.; (2007) Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus- indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*. 72:157-174.

-Tisserand,J.I; Hadjipanayiotou,M; Gihad,E.A (1991), Chapter 5 Digestion in goats, In: Morand-Fehr(ed) :Goat Nutrition. Wageningen: Pudoc. p 46-60

-Van Soest, J. P., J. B. Robertson y B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74: 3583-3597.



Toxemia de la  
Gestación

El Boer: 20 años  
de observación

El Nopal,  
magnífico alimento

Para la Industria Ovino-Caprino de Iberoamérica

# ACONTECER

Ovino ~ Caprino

La 16 agosto - octubre 2016 \$ 75 pesos



Evaluando la  
**Condición Corporal**

**La oveja:**  
fábrica de lana por naturaleza

**Administrando**  
la empresa ovina

**Rancho Seco**  
manantial de Nubias





## Alternative food for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp) and *Opuntia ficus indica*.

Andrade-Montemayor H.M<sup>1\*</sup>; Cordova-Torres A.V<sup>1</sup>; García-Gasca T<sup>1</sup>; Kawas R.J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. Ave de las ciencias S / N, Juriquilla. Del. Santa Rosa Jáuregui. CP. 76,230. Querétaro. Mexico.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Francisco Villa S/N, Colonia Ex-hacienda El Canadá, Escobedo, Nuevo León, México.

\*andrademontemayor@hotmail.com.mx.

### Abstract

This work was carried out in order to propose alternative food for goats in semiarid zones, using regional products. This is a summary of the results obtained in our laboratory, on nutritional characterization of mesquite pods (*Prosopis laevigata*) and nopal (*Opuntia ficus indica*) as alternative supplements. First evaluations in *Opuntias* were based in comparing the size (or maturity) of the cladodes of *Opuntia ficus indica. var Copena*; It was chemically characterized, so as different wild varieties of *Opuntia* (*O. megacantha*, *O. hyctiacantha*, *O. robusta* *O.streptocanta*.). *Opuntia* showed a low DM content from 8 to 15%, CP content from 5 to 7%, CP-ADF representing 10 to 30% of the PC and ash content was from 13 to 25% of the DM. On the other hand, between wild *Opuntias*, *O. robusta* had the highest protein content (P<0.001) (7.23%/DM), *O.streptocanta*, had the highest content of Ca (P<0.001). The matures cladode had the highest OM digestibility (P<0,01). The use of *Opuntia* cladode decreased drinking water consumption (P <0.01), but increased the total water consumption (drinks and food water.) Small cladode had higher effective degradation of DM (P <0.01), but less effective degradation of CP and NDF. Mesquite pod shows a high content of soluble protein and antinutritional factors. Roasting can reduce those contents. In this experiment the pod was roasted to 150°C/45 min. Comparing the raw mesquite pods with the roasted ones results were: roasting changed (P <0.01) the content of OM, CP, NDF and ADF; the increase of fiber due to the formation of complexes between protein and carbohydrates. The CP content was 12%, calcium and phosphorus had a low concentration, and like *Opuntia*, the content of Se and Co are poor. Roasting decreased effective degradation (P <0.05) of DM, CP and NDF. Digestibility of DM, OM, CP, and fiber content are found in values above 60%. Roasting didn't show effects on digestibility (P> 0.05), and modified the content and activity of antinutritional factors. In conclusion, *Opuntia* and mesquite pods roasting can be good sources of supplementation for goats in the semiarid regions by nutritional characteristics and its capacity to adapt to water-deficient regions.

**Keyword:** *Prosopis laevigata*, *Opuntia ficus*, Digestibility, degradability, chemical characteristics, alternative supplement in semiarid zones.

**Aknowledge:** This work was supported by SEP-PROMEPE, and funded by the project PROMEP/103/07/2518 and CONACYT-SAGARPA-2004-C01-121.

**Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp) and Nopal (*Opuntia* spp)**

Andrade-Montemayor, H. M.<sup>a\*</sup>; Cordova-Torres, A.V.<sup>a</sup>; García-Gasca, T.<sup>b</sup>; Kawa, J.R.<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Medicina Veterinaria, Cuerpo Académico de Morfofisiología Animal, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla. Avenida de las Ciencias S/N. Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, CP. 76230, Querétaro, México.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Cuerpo Académico de Biología Celular, Licenciatura en Nutrición. Campus Juriquilla. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Delegación Santo Rosa Jáuregui, Querétaro México. CP. 76230 Querétaro, México.

<sup>c</sup> Subsecretaria de Posgrado e Investigación, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Francisco Villa S/N, Colonia Exhacienda El Canadá, Escobedo, Nuevo León, México, CP 66050.

Corresponding author: [andrademontemayor@yahoo.com.mx](mailto:andrademontemayor@yahoo.com.mx)

**Abstract**

This paper provides a summary of studies conducted in our laboratory to evaluate several alternative supplements for goats in semiarid regions. Nutritional characterization was obtained for mesquite pods (*Prosopis laevigata*) and cacti (*Opuntia ficus indica*). An initial evaluation was based in comparing the size (or stage of maturity) of the cacti pads (cladodes) of *Opuntia ficus indica*. var

*Copena*. Different varieties of wild cacti (*O. megacantha*, *O. hyctiacantha*, *O. robusta*, *O. streptocanta*,) were chemically analyzed. Composition of cacti pads varied from 8 to 15% DM, 5 to 7% CP, with 10 to 30% of total N represented by CP-ADF, and ash content (7.23%) was highest ( $P < 0.001$ ), whereas *O. streptocanta* had the highest ( $P < 0.001$ ) Ca content. The mature cladodes had the highest OM digestibility ( $P < 0.01$ ). The intake of cacti cladodes decreased drinking water consumption ( $P < 0.01$ ), but increased total water consumption (drinking and food water). Small cladodes had higher effective degradation of DM ( $P < 0.01$ ), but less effective degradation of CP and NDF. Mesquite pods had a high content of soluble protein and anti-nutritional factors, which were reduced by roasting the pods. In this experiment the pods were roasted at 150 °C during 45 min. The roasted mesquite pods resulted in changes ( $P < 0.01$ ) in the OM, CP, NDF and ADF contents; the increase in fiber content appeared to be due to the formation of protein complexes with cell wall carbohydrates. Whereas the CP content was relatively high (12%), the Ca and P contents were low. Both, the mesquite pods and cacti cladodes had low Se and Co concentrations. Roasting decreased effective degradation ( $P < 0.05$ ) of DM, CP and NDF. Digestibility of DM, OM, CP, and NDF contents were above 60%. Roasting did not affect ( $P > 0.05$ ) digestibility or modified the content and activity of anti-nutritional factors. In conclusion, cacti and mesquite pods can be used as supplements for goats in semiarid regions considering their acceptable nutritional characteristics and their capacity to grow under scarce water conditions.

**Knowledge:**

**Keywords:** *Prosopis laevigata*; *Opuntia ficus*; Chemical composition; Digestibility; Degradability; Alternative supplements; Semiarid regions.

## 1. Introduction

Semi-arid regions are considered to be those that border desert regions and present seasonal and erratic rainfall that may vary from 250 to 500 mm per year. The range vegetation consists of shrub species, abundant cacti and grasses (Mainguet, 1999). Usually, the main economic resource of these regions is livestock, predominantly goats, due to their consumption habits and their adaptability to regions with low rainfall and poor forage availability. Just over a third of the earth's surface is arid or semiarid (49 million km<sup>2</sup> are arid regions of which 21 million km<sup>2</sup> are semi-arid), these areas support 1.2 billion people or 20% of world population (Wickens, 1998). About 60% of the Mexican territory (1.28 million km<sup>2</sup>) is arid or semiarid, located primarily in central and northern Mexico, an area with about 50% of the Mexican population and approximately 80% of the goat population (8.9 million head) (Echevarria et al., 2006). The case of Brazil is similar, where over 93% of the goat population (9.5 million) is in the northeast semiarid region (800,000 km<sup>2</sup>) (Miranda, 1987; Ribeiro et al., 2007).

Goats are seasonal reproductive animal that depend on the photoperiod and some other environmental factors such as rainfall and feed availability (Malpaux, 2005, FIRA, 1999). Seasonal fluctuations in feed availability result in a low productivity, poor fertility and birth rate, and high mortality. In the northern hemisphere, as in the case of Mexico, the initiation of reproductive activity occurs from July to December, when forage production is adequate because of the presence of rain. In the southern hemisphere, fertility of native goats of Patagonia Argentina occurs from March to September (Cueto et al., 2008). However, birth occurs during the dry season in which low forage production results in reduced fertility and productivity and high mortality of the offspring (**Fig. 1**). Also in Brazil, the Northeast (90 million hectares) which is the semi-arid region, there are long periods of drought where vegetation is reduced, "Cattinga", so that livestock suffer significant detrimental effects, such as parturition intervals of more than 300 days and mortality of offspring of more than

35%, which seriously affects the economic development of the inhabitants of these regions (Garcia et al., 2010).

To counteract these negative seasonal effects on goat productivity, goat producers would need to implement a strategic supplementation program using alternative regionally-produced feeds with appropriate nutritional characteristics. Strategic supplementation consists on providing a food supply at a time when animals have a greater demand, e.g. pre and postpartum, initiation of reproductive activity, weaning, as well as providing a nutritional supplement according to the seasonal production need. Therefore, a supplement should be produced throughout the year, especially at the time of scarcity, should have good storage characteristics, preferably be produced in the region, avoiding reliance on purchase and changes in sales prices, and must offer adequate nutritional characteristics in terms of chemical composition.

In this paper we analyze intake habits and diet composition of goats grazing in the semi-desert, as a basis for strategic supplementation program, recounting the experiences of our laboratory on the characteristics of *Opuntia spp* and *Prosopis spp* that we propose as alternative supplements.

#### **Consumption habits and diet composition of goats in the semiarid:**

Goats are opportunistic foraging animals that adapt and select their diet under diverse range and environmental conditions (Ramirez and Ledezma-Torres, 1997, Ramirez 1999, Ramirez et al. 2000). Forage in these regions consists of shrubs, some native grasslands and cacti. The rainy season generally lasts for less than 4 to 5 months, so it is important to know the botanical composition of the diet selected by goats during the year, in order to perform strategic supplementation programs that could cover any deficiencies.

The selective behavior of goats managed in a system of intensive grazing in the semiarid region (Ramirez, 1999) and in the northeast state of Jalisco, Mexico (Luna et al.1988), as well as the Brazilian Northeast show seasonal variation in diet selection. This has also been reported in several studies worldwide (Huston, 1978; Louca, 1982, Devendra 1982, Pfister and Malechek, 1986, Ramirez 1999, Cerrillo et al. 2006, Ramirez-Orduña et al. 2008). Goats prefer 50% bushes on its diet, however, according to the availability and quality of forage that preference may vary seasonally (Luna et al. 1988). Most likely, during the rainy season, grasses may be the main diet consumed, whereas during the dry season consumption of shrub foliage increases (Kawas et al., 1999; Schacht and Malechek, 1990).

Seasonal variation in botanical composition of the diet, produces a seasonal variation in nutrient composition. However, consumption of legumes and non-leguminous shrubs can be 50 to 60% increasing during dry season, and consumption of grasses and forbs increasing in the rainy season, being similar in the semiarid region of southern United States, northern Mexico and in northeastern Brazil (Schacht and Malechek, 1990, Ramirez et al. 1991; Guim et al. 2007; Ramírez-Orduña et al. 2008). In the region of Baja California, México, Ramírez-Orduña et al. (2008) observed that diet contained 46% neutral detergent fiber (NDF), and 21.1% non-fiber carbohydrates, the latter being higher in spring and early summer, apparently due to a higher consumption of cacti fruit and other leguminous shrubs and flowers. The crude protein (CP) annual average content was 14.2%, varying for different periods of collection being lower in the spring and summer affected by a reduced consumption of shrubs and tree foliage with a high tannin content, which may decrease DM digestibility. Since a great proportion of the protein is associated to acid detergent fiber (PC-ADF), not all of it may be available for degradation by rumen microorganisms. In the semiarid region of Northeast Brazil, shrub foliage was the main diet of goats during the dry season, while the consumption of grass increased during the wet season. On the other hand, the chemical composition

and *in vitro* digestibility of some forages consumed contained 86% of organic matter (MO), 13.9% CP, 3.08% tannins, 17.6% starch, and had an *in vitro* digestibility of 47.1% (Guim et al. 2007). No seasonal variation in the chemical composition of the goat's diet was observed (Table 1). However, there was a significant variation in the consumption of OM in relation to animal weight.

Strategic supplementation programs should consider regional feeds with the following characteristics:

- i. Feeds which are available in the region for most of the year, or have enough production to allow storage and availability throughout the year. This implies forage or other feeds resources that require little water.
- ii. Provide energy, protein or non-protein nitrogen sources, minerals and vitamin A to complement deficiencies in the diet of goats.
- iii. Should consider supplementing goats during the period with greater nutritional demand, including pre-partum and early lactation, especially during the time of scarce feed availability.

### **Adaptation strategies**

During the dry season of the year, goats may not satisfy their nutrient requirements, especially for growth, gestation or lactation. However, range goats have some aspects of adaptation that enable them to survive even under extreme conditions. Silanikove (2000) mentioned that native desert goats are more efficient in the use of feed resources. These animals are able to maintain their body weight even with a 50% reduction in feed consumption and at the same time, decrease heat production by 53% while fasting and adapting to a low energy metabolism. This can be common in animals exposed to long periods of **malnutrition**. Also, native goats in semiarid regions are able to consume shrubs foliage rich in tannins, lignin and other phenolic compounds.

## **Cactus supplementation**

Since pre-hispanic times cacti has played an important role in the Mexican culture; it was an important part of the agricultural economy and diet of the ancient Mexicans of the Aztec empire. Now cacti are distributed in different countries and all continents. There are over 300 species of the genus *Opuntia*, and about 104 species and varieties in Mexico. Cacti may be used for both, as a crop for subsistence and for market-oriented agriculture, contributing to the food security of the population in agriculturally marginalized areas (Reynolds et al. 2001). Cacti include 11 *Opuntia* subgenus found in arid and semi-arid environments. The development of adaptive anatomical, physiological and morphological traits, including plant structure has been recently studied.

Cacti is considered a good alternative forage since it can produce over 10 tons of dry matter/ha and is resistant to drought. Its biomass production per unit of water is three times greater than C4 plants and five times greater than the C3 species. In optimum conditions, different types of plants can produce similar amounts of DM per unit area, but under arid or semi-arid conditions, CAM plants are superior to C3 and C4. Cacti have been used as a source of energy, water and **vitamin A** for livestock in dry season, usually in combination with other food sources because they are deficient in protein and energy. It is estimated that worldwide, that 900,000 ha of Cacti are being used for forage production, and are used to prevent erosion and combat desertification. Cacti can grow in degraded soils and have a great capacity for survival in regions with low erratic rainfall and high temperature (Reynolds et al., 2001). Ben Salem (2008) mentions cactus (*Opuntia*) as a miracle plants, the dromedary vegetation of the world and a bank of life, as young cladodes are employ in some Latin American countries as food for human consumption.

Cacti contribute to the economy of populations of semi-arid and arid regions of the world. In North Africa, cacti are used as livestock feed, and the fruit is consumed by humans. Also, in East Asia (Jordan, Pakistan and Syria), cacti is planted for animal use. In countries such as Brazil, Morocco, Mexico, South Africa and Tunisia, among others, cacti are provided as a forage supplement during periods of drought emergency. Cacti have traditionally been used as a supplement in animal feed (Nefzaoui and Ben Salem, 2001, Rekik et al .2010; Degu et al.;2009; Costa et al. 2009)

In general, *Opuntia cladodes* have high water content (85-94% water), are low in protein (6-8%) and are in ash content (15-25%) (Ben Salem and Smith, 2008; Costa, et al., 2009; Cordova-Torres et al., 2009). The composition of the *Opuntia ficus indica* cladodes is variable. For example, the DM content varied from 8.3 to 21.8% (Villegas-Díaz et al., 2008; Misra et. al., 2000), CP ranged from 3.0% (Tegegne 2006) to 12.8% (Misra et. al. 2000), NDF varied from 23.8% (Tegegne 2006) to 25.6% (Misra et. al. 2000), and ash has ranged from 13.1% (Cordova-Torreset et al., 2009; Fuentes et al., 1997) to 25.5(Villegas-Diaz et al., 2008).

In Table 2 are results from our laboratory on the effect of leaf size of *Opuntia ficus indica* var. Copena used as ruminant animal feed, on its chemical composition. The effect of the size or maturity of *Opuntia ficus indica* cladodes was evaluated. The CP, NDF, ADF and CP-ADF contents were greater in big or medium cladodes than in small cladodes. In general, the water content is high, and therefore, in some countries, farmers consider cacti as a good source of water (Ben Salem and Smith, 2008, Costa et al., 2009). Also, the crude protein content of cacti is low (4.5 to 7.0%) (Córdoba-Torres, et. al. 2009 and Villegas-Diaz, et. al. 2008)

Mexico has 104 species and varieties of *Opuntia*, some of these considered as an alternative to *Opuntia ficus indica*, bearing no commercial value and providing better features to adapt to their region of origin. A study was undertaken in order to characterize its nutritionally characteristics. In

Table 3, results presented compare the chemical composition of *Opuntia ficus indica* vs. four wild varieties with potential use as feed for ruminants. This table shows that there is a significant variation in nutrient content between species. These vary in DM (7.8 to 13.7%), ash (16.5 to 25.1% of DM), NDF (45 to 54% of DM) and CP (4.4 to 7.2% of DM). A high proportion of protein is linked to the NDF and ADF fractions, and this could limit its availability to rumen bacteria. On the other hand, the Ca content is high (2.9 to 5.2% of the DM) and the P concentration is low (0.22 to 0.13% of DM) (Villegas et al., 2008; Cordova-Torres et al., 2009), which coincides with values reported by Kawas et al. (2010). The low concentrations of Se (40-107 ppb) and Co (42-102 ppb) suggest that these mineral elements may be deficient in the region where the cacti were harvested. With respect to Ca availability from *Opuntia ficus indica*, it may be low due to the high oxalate content (Rekik et al., 2010).

Several studies with both sheep and goats showed that cacti supplementation increased feed intake but decreased drinking water consumption, since its water content is high (Tegenge et al., 2007; Costa et al., 2009). Ben Salem and Smith (2008) showed that adult sheep can meet their water requirements by consuming 300 g of dry matter of fresh *Opuntia cladodeos* (4 to 4.5 kg of fresh *cladodeos*). Costa et al. (2009) replaced corn meal with 0 to 28% *Opuntia ficus indica*. with 0 to 28%. *Opuntia* intake had no effect on milk production, but increased DM intake, reduced drinking water intake, but increased total water intake. Gebremarian et al. (2006) found that by replacing 75% of *eragrostis tef* straw with *Opuntia ficus indica*, increased digestibility of DM (51 to 76%) and OM (46 to 56%) digestibility, although digestibility of CP, NDF and ADF decreased. The decrease in CP digestibility may be due to the high tannin content in the *Opuntia*. Vieira et al. (2008) included 50 to 450 g of Bermuda grass hay in diets of goats fed *Opuntia ficus indica*, observing an increase in DM, OM, CP, NDF and ADF intake, observing an increased in drinking water consumption, without a change in digestibility. Tegenge et al. (2007) fed sheep various levels (0-508 g per animal daily) of cactus (*Opuntia ficus indica*). The total water consumption increased dramatically from 148 to 409 ml/kg BW

<sup>0.75</sup>) but digestibility of DM, CP and NDF decreased only with the highest cactus level (80%) without changing N balance. The daily weight gain was improved. In summary, cactus supplementation can increase feed intake without improving diet quality, but can decrease drinking water intake which is of great importance in semi-arid or arid regions.

### **Dry matter and fiber digestibility**

The digestibility of various cacti species and maturities is shown in Table 4. The *in vivo* digestibility of DM, OM, CP and NDF of isocaloric and isonitrogenous diets with 20% of DM with *O. ficus indica* small or large cladodes, compared with the control diet (without cladodes). The 20% cladode diet had higher CP and OM digestibility, being higher for the ration with big cladodes (Cordova- Torres et al., 2009).

Villegas et al. (2008) observed that effective degradation of DM and CP were higher ( $P < 0.05$ ) for small cladodes and similar between medium and large cladodes (Table 5). They observed that small cladode DM presented a large content of soluble elements (a) while medium cladodes had a higher content of low degradation material; nonetheless, the rate of degradation (c) of DM and CP were similar ( $P > 0.05$ ) between small and medium cladodes. When degradation was adjusted to various rates of passage (kp), the effective degradation decreased to values close to 60% suggesting a high DM degradation but lower effective degradation of PC in the small cladode.

The *in vitro* DM degradability (Table 6) of the wild cactus was similar to the DM degradation values of *O. ficus indica* (45-49%), but the degradation rate was high (0.21 to 0.67), resulting in a potential degradation similar to the actual degradation, in both cases being similar, and close to 50%.

The results indicated that Cacti supplementation reduced the consumption of drinking water, but increasing total water consumption (Table 7). In this study, urine production significantly increased. This information agrees with that presented by Costa et al. (2009). Thus cactus can be used as a water source, especially in regions where shortage of this liquid is important.

Cacti consumption had no effect on nitrogen excretion in feces or urine (Table 8). Abdi et al. (2009) noted that the composition of these cacti changed with season of the year, showing in the summer a higher content of DM, mucilage, and minerals, a lower content of CP, OM, ADF, and no modification in the concentrations of phenolic compounds, oxalates and saponins. Cacti used, had an energy content of 0.13 MJ/kg DM and excretion of purine bases of 4.6 and 6 mol per gram of DM. Potential fermentation as gas production ranged from 130 to 140 ml/0.5 g of OM) with a degradation rate of 0.03/h.

### **Mezquite as a supplement**

*Prosopis* is a leguminous tree present in most semi-arid regions of the world, with more than 50 genera known worldwide. In America, there are 42 genera of this legume distributed from the United States to Patagonia, being important *P. laevigata* in Mexico, *P. glandulosa* in the USA and Mexico, *P. juliflora* in South America, Caribbean, Central America and Mexico, *P. flexuosa* in Bolivia, Chile and Argentina, *P. rubiflora* in Brazil and Paraguay, besides existing important varieties in Africa (*P. africana*) and the Mediterranean regions such as Greece, Israel, Cyprus, Algeria and Tunisia and other countries like Afghanistan (Palacios et al., 2000). In the American continent, two major development centers for *prosopis* are located in North America (Mexico-Texas) and South America (Argentina-Paraguay-Chile-Brasil) (INE, 2008). Some genera found in Mexico include *P. articulata*, *P. tamaulipana*, *P. palmeri*, *P. reptans*, *P. vetulina*, *P. juliflora*, *P. laevigata* and *P. glandulosa* (CNZA, 2005). The genera *P. laevigata*

can be found in the American central and southern regions and in diverse environments ranging from sub-humid where rainfall is 300 mm per year or less.

In Mexico, there are about 4 million hectare of mesquite (*Prosopis spp.*) distributed mainly in the semi-arid and arid regions of the country. The estimated production is 4.5 ton/ha (Rodriguez-Franco and Maldonado, 1994). The period of Mesquite harvest in Mexico is from July to September (Alegría-Ríos et al., 2008). Pod harvest is variable (2 to 10.5 kg/tree), producing as much as 6 tons per year or more. Pods have a variable CP content ranging from 10 to 18% (Valencia et al., 2007). Legume seeds have a high content of soluble and degradable protein, which can result in loss of nitrogen in the rumen (Yu et al., 2002). A high content of antinutritional factors in the seeds can reduce the availability and digestibility of nutrients in the diet (Andrade-Montemayor et al., 2008a; Andrade-Montemayor et al., 2008 b; Alegría-Ríos et al., 2007).

Heat treatment of legume seeds have proven effective in reducing CP degradation in the rumen, improving N utilization in sheep and cattle (Goelma et al., 1999, Yu et al., 2002) and goats (Andrade-Montemayor, 2005).

Roasting mesquite pod decreased ( $P < 0.01$ ) OM and NDF content, showing an increase in PC-NDF content ( $P < 0.01$ ), which may be due to the formation of complexes between cell wall carbohydrates and protein (Table 10). This response has been observed in different legume seeds (Yu et al., 2002; Andrade-Montemayor, 2005). The CP content of mesquite pods varies from 11 to 12%, of which 27 to 36% is associated to the ADF fraction. This may limit its digestibility and rumen degradability. Content of some minerals is also low, with Se and Co being found in concentrations of 50 to 60 parts per billion.

Roasting of legume seeds reduce degradability of CP, avoiding loss of nitrogen in the rumen and could reduce or modify the content of thermolabile antinutritional factors or modify its structure and

activity (Yu et al., 2002). However, heat treatment should not alter feed chemical composition or decrease its digestibility. Several heat treatments combine high temperatures with changes in humidity, pressure and time of application. By dry roasting at 150°C during 45 minutes, best results in terms of decreased degradability of CP, with no effects on digestibility of nutrients were accomplished (Yu et al., 2002). Andrade-Montemayor (2005) used the same treatment on *Lupine angustifolium*, *Vicia faba* and *Vicia ervilia* seeds, obtaining a decrease in the CP and NDF degradability without affecting its digestibility, but increasing the CP content associated with fiber fractions, apparently due to the formation of protein-fiber complexes.

The effect of heat treatment of mesquite (*Prosopis laevigata*) pods fed in a ration, on the digestibility of different nutrients, has been recently studied (Table 11). Crude protein digestibility of heat-treated pods ranged from 61 to 65% and the digestible OM was 72 to 80% (3.2 Mcal DE/kg DM), with no change in nitrogen balance (Table 12).

Heat treatment of mesquite pods decreased ( $P < 0.05$ ) the content of antinutritional factors (Table 13). Whereas the total phenol (mg gallic acid/g DM) and protease inhibitor activity (IU/g DM) decreased ( $P < 0.05$ ), an increase ( $P < 0.05$ ) in the condensed tannin content (mg catechin equivalent/g of DM) and lectin agglutinating activity (AU/g MS) was obtained. Phenolic compounds are potentially toxic to ruminants, which can cause lesions in the digestive tract, such as intestinal bleeding, gastroenteritis, liver and pancreatic necrosis and inhibit the production of digestive enzymes (Reed et al., 2000), as well as depressed digestion of soluble carbohydrates and hemicellulose (Ramos et al., 1998). The increase in the concentration of condensed tannins or proanthocyanidins with roasting could occur by the formation of complexes between these compounds that cause condensation. Condensed tannins may have a positive effect on the animal because of its antihelmintic activity and can also protect plant proteins from microbial degradation by the formation

of tannin-protein complexes, allowing a greater ruminal passage of protein to the small intestine, where these tannin-protein complexes can dissociate in the alkaline pH of this organ (Ramos et al., 1998; Reed, et al., 2000; Makkar 2003; García, 2004, Alegría-Rios et al., 2007). The antihelmintic effect of tannins has been previously reported (Alonso et al. 2010).

Most legume seeds contain anti-nutritional factors that inhibit the activity of proteases in the gastrointestinal tract. The activity of these protein compounds can be reduced or destroyed by heat treatment (Liener, 1989). Brenes and Brenes (1993) mentioned that dry roasting can decrease the activity of trypsin inhibitors from 54 to 82%, depending on the temperature, exposure time, humidity and particle size of the ground seed.

Lectins are glycolproteins with the ability to bind, can cause agglutination of red blood cells, damage to the epithelial cells of the intestinal villi in the lumen, affect enzyme secretion and production of gastrointestinal hormones such as cholecystokinin, reduced animal growth, change the intestinal flora that allow the development of coliforms (Liener, 1989; Brenes and Brenes, 1993), and have an antihelmintic activity (Putztai, et al., 2003). The increase in binding activity of lectins could be due to the temperature at which it could cause the breaking of bonds of lectins with carbohydrates, freeing active spaces and allowing the increase in binding activity (Alegría-Ríos et al. 2007). The harmful effect of lectins has been proved with rats fed black beans with high lectin content. While rats consuming a diet with 0.5% lectins exhibited weight gain, with an increase in the concentration to 1.2%, rats lost weight and died within 15 days (Valle and Lucas, 2000).

The degradation rates of mesquite unroasted and roasted pods (Table 13) have been previously reported (Yu et al., 2002, Andrade-Montemayor 2005). Since the protein fraction of rapid degradation (a) can be high, large losses of nitrogen in the rumen can occur (Yu et al., 2002; Andrade-Montemayor

et al., 2007; Andrade-Montemayor et al., 2008a; Andrade-Montemayor et al., 2008b; Aguilar-Borjas, 2009).

The soluble fraction (**a**) of DM, CP and NDF was higher than 40% and was twice greater than the content of the potentially degradable fraction (**b**). Therefore, the potential degradation of DM, CP and NDF in raw mesquite pods was higher ( $P < 0.05$ ) than of toasted mesquite pods. Roasting the pods decreased ( $P < 0.05$ ) the content of the soluble fraction (**a**) of DM, CP and NDF, without affecting the content of this fraction in FDA. However, the content of fraction (**b**) increased ( $P < 0.05$ ) in all cases. Moreover, the most important effect of roasting is the reduction of the fractional rate of degradation of DM, CP and ADF, except the fractional degradation rate of NDF which increased by 0.4/h to compare the rate of degradation of NDF of the pod without roasting. When the effective degradation was set to a fractional rate of passage of 0.08/h, roasting decreased the effective degradability of the DM, CP and ADF, but increased the effective degradation of NDF.

## **Conclusions**

Because of their feeding habits, goats are intermediate opportunistic domestic feeders with a high capability to survive in semi-arid regions. Browsing constitutes the main diet of the range goat. In the American continent, breeding generally occurs during the rainy season when forage availability and quality in the rangelands are high. However, parturition and kid birth occurs during the dry season when scarce and low quality forage is available. This significantly increases offspring mortality and low herd productivity. Alternative regional feeds can be a part of a strategic supplementation program. These feeds should preferably be grown in the semiarid region, and therefore have a low water requirement, should provide adequate nutrient quantity and quality, be non-toxic, and allow development and production of range goats. Two alternative feed supplements are cactus (*Opuntia*

*spp*) and mesquite pods (*Prosopis spp*), both with a low water requirement and excellent adaptation to semiarid regions. Cactus cladodes have a high water, fiber and ash content, and low protein concentration of which part is associated with the less degradable fraction of the plant cell walls. An important proportion of the energy available comes from mucilage carbohydrates. One advantage of cactus consumption is that it may provide a large proportion of the water requirements of the range goat. On the other hand, mesquite pods possess a high content of soluble protein which is rapidly degradable, and the presence of anti-nutritional compounds. Roasting the pod at 150°C during 45 min reduced CP degradability. However, a significant amount of the protein, determined as acid detergent insoluble nitrogen was associated with the less degradable fraction of the plant cell walls. Roasting reduced the content and activity of inhibitors of proteases, total phenol content and lectin binding activity, but increased the content of condensed tannins. Since roasting is expensive and may negatively affect the nutrient availability of mesquite pods, other options to improve nutritive value should be sought.

Fig. 1. Relationship of rainfall with reproductive and productive seasonality of goats in semiarid regions of Queretaro, Mexico.

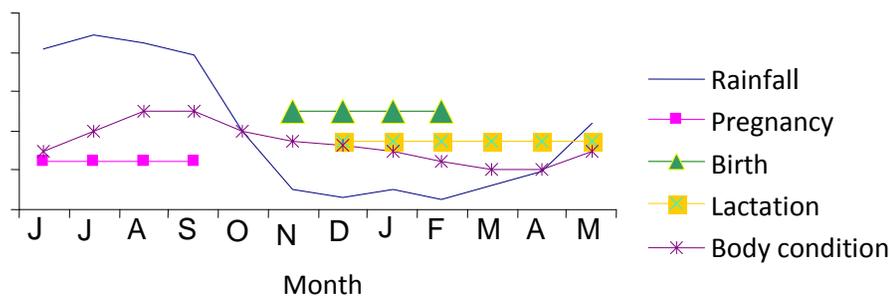


Table 1

Chemical composition and OM intake of goats under range conditions in northeastern Brazil, during the rain and dry seasons (Guim et al., 2007).

	Rainy season	Dry season
Crude protein, %	16	13
Neutral detergent fiber, %	40	48
Lignin, %	1.6	1.4
IVDOM, % <sup>1</sup>	55	51.5
OMI (% BW) <sup>2</sup>	1.4	2.1

<sup>1</sup> In vitro digestibility of organic matter.

<sup>2</sup> Organic matter intake.

Table 2

Chemical composition of *Opuntia ficus indica* of various maturities<sup>1</sup>.

Author	Variety	DM	OM	CP	NDF	ADF	CP-ADF	Ash
Cordova-Torres et al. (2009)	<i>O. ficus indica</i> var. Copena ( <i>small</i> )	16.5	86.6	4.6	35.9	20.2	1.36	13.4
Cordova-Torres et al. (2009)	<i>O. ficus indica</i> var. Copena ( <i>médium</i> )	15.5	83.5	5.2	39.6	21.3	1.76	16.5
Villegas-Díaz et al. (2008)	<i>O. ficus indica</i> ( <i>small</i> )	8.3	76.3	7.7	36.8	11.8	0.23	23.7
Villegas-Díaz et al. (2008)	<i>O. ficus indica</i> ( <i>médium</i> )	9.70	75.2	5.8	44.9	17.8	0.43	24.8
Villegas-Díaz et al. (2008)	<i>O. ficus indica</i> ( <i>large</i> )	10.3	74.4	5.9	43.5	16.0	0.30	25.5

<sup>1</sup> DM, dry matter; OM, organic matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; CP-ADF, crude protein in ADF.

Table 3

Chemical composition (DM basis) of five Mexican opuntia varieties (Cordova-Torres et al., 2009)<sup>1,4</sup>.

Composition <sup>2</sup>	OM	OH	OR	OS	OFI	SEM	P <sup>3</sup>
DM (%)	12.2 <sup>b</sup>	13.8 <sup>b</sup>	12.6 <sup>b</sup>	10.9 <sup>ab</sup>	7.8 <sup>a</sup>	1.63	*
OM (%)	83.5 <sup>a</sup>	80.3 <sup>b</sup>	82.2 <sup>c</sup>	83.3 <sup>d</sup>	74.9 <sup>e</sup>	0.11	***
CP (%)	4.49 <sup>a</sup>	5.97 <sup>b</sup>	7.23 <sup>c</sup>	4.85 <sup>d</sup>	6.89 <sup>e</sup>	0.11	***
NDF (%)	47.8 <sup>ab</sup>	51.1 <sup>bc</sup>	54.3 <sup>c</sup>	48.3 <sup>a</sup>	46.0 <sup>a</sup>	1.59	**
ADF (%)	18.4 <sup>a</sup>	23.0 <sup>b</sup>	20.3 <sup>abc</sup>	18.8 <sup>ac</sup>	28.7 <sup>d</sup>	1.55	***
CP-NDF (%)	4.21	4.26	5.26	4.17	3.94	1.27	NS
CP-ADF (%)	1.83	1.63	1.58	0.06	3.00	0.97	NS
Ash (%)	16.5 <sup>a</sup>	19.7 <sup>b</sup>	17.8 <sup>c</sup>	16.7 <sup>d</sup>	25.1 <sup>e</sup>	0.11	***
Ca (%)	2.92 <sup>a</sup>	4.78 <sup>b</sup>	2.77 <sup>a</sup>	3.45 <sup>c</sup>	5.26 <sup>d</sup>	0.10	***
P (%)	0.22 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.26 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.01	*
Se (ppb)	86.5 <sup>a</sup>	-----	41.0 <sup>b</sup>	51.5 <sup>c</sup>	107.8 <sup>d</sup>	1.79	***
Co (ppb)	103.0 <sup>a</sup>	-----	42.6 <sup>b</sup>	95.2 <sup>c</sup>	55.0 <sup>d</sup>	2.21	***

<sup>1</sup> Opuntia varieties: *O. megacantha* (OM), *O. hyptiacantha* (OH), *O. robusta* (OR), *O. streptacantha* (OS), *O. ficus indica* (OFI).

<sup>2</sup> DM, dry matter; OM, organic matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; CP-NDF, crude protein in NDF; CP-ADF, crude protein in ADF.

<sup>3</sup> SEM, standard error of mean; NS, P>0.05; \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001.

<sup>4</sup> Means in the same line with different superscript differ (P < 0.001).

Table 4

Effect of size of Cladodeo of *opuntia ficus indica*. Var. Copena in *in vivo* digestibility of feed components in goats (Cordova-Torres et al., 2009).

Components <sup>1</sup>	Control <sup>2</sup>	Small	Large	SE <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
		Caldodeo <sup>3</sup>	Cladodeo <sup>4</sup>		
DM	57.2	59.3	61.8	1.20	NS
OM	63.2 <sup>a</sup>	64.3 <sup>a</sup>	67.7 <sup>b</sup>	1.20	***
CP	56.7 <sup>a</sup>	49.3 <sup>b</sup>	57.5 <sup>a</sup>	1.99	*
NDF	45.3	44.7	47.9	1.68	NS
ADF	43.2	41.6	45.2	1.94	NS

<sup>1</sup>DM, dry matter; OM, organic matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber.

<sup>2</sup>Control diet: 89% DM; 7.6% CP; 53% NDF.

<sup>3</sup>Diet with 20% small cladodeo and 80% of control diet.

<sup>4</sup>Diets with 20% large cladodeo and 80% of control diet.

<sup>5</sup>SE, standard error.

<sup>6</sup>NS, P > 0.05; \* P < 0.05; \*\*\* P < 0.001.

Tabla 5

Effect of size or maturity of Cladode of *Opuntia ficus indica* in ruminal kinetic degradation of dry matter and crude protein (Villegas-Díaz et al. 2008; Cordova-Torres et al. 2009).

	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	c <sup>1</sup>	a + b <sup>1</sup>	Kp = 0.04 <sup>2</sup>	Kp = 0.06 <sup>2</sup>	Kp = 0.08 <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	SEM
Dry Matter									
Small	42.2 <sup>a</sup>	55.3 <sup>a</sup>	0.027 <sup>a</sup>	97.4 <sup>a</sup>	64.4 <sup>a</sup>	59.3 <sup>a</sup>	56.1 <sup>a</sup>	79.8	6.6
Medium	35.1 <sup>b</sup>	64.7 <sup>b</sup>	0.019 <sup>a</sup>	99.8 <sup>a</sup>	55.9 <sup>b</sup>	50.7 <sup>b</sup>	47.5 <sup>b</sup>	89.2	4.2
Large	35.2 <sup>b</sup>	53.0 <sup>a</sup>	0.033 <sup>a</sup>	88.2 <sup>b</sup>	59.1 <sup>b</sup>	54.0 <sup>b</sup>	50.6 <sup>b</sup>	72.1	6.5
P	**	**	NS	***	***	**	**		
Crude Protein									
Small	20.9 <sup>a</sup>	85.0 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	105.9 <sup>a</sup>	49.2 <sup>a</sup>	42.1 <sup>a</sup>	37.9 <sup>a</sup>	82.6	11.9
Medium	13.0 <sup>b</sup>	51.6 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>	64.6 <sup>b</sup>	58.3 <sup>b</sup>	55.7 <sup>b</sup>	53.4 <sup>b</sup>	72.7	15.9
Large	11.1 <sup>b</sup>	54.5 <sup>c</sup>	0.21 <sup>c</sup>	65.6 <sup>b</sup>	56.9 <sup>b</sup>	53.5 <sup>b</sup>	50.5 <sup>b</sup>	73.8	11.0
p	**	***	***	**	**	**	**		

<sup>1</sup>a = Soluble and rapid degradation fraction (%); b = Potential degradation fraction; c = Fractional rate of degradation.

<sup>2</sup>a + b = potential degradation.

<sup>3</sup>Effective degradation = a + b (c/c + kp); Kp = rate of passage (0.04/ha, 0.06/h, 0.08/h).

<sup>4</sup>NS, P > 0.05; \*\*\* P < 0.001.

Table 6

Kinetic degradation of DM of wild and *ficus indica opuntias* (OFI) (Cordova-Torres et al., 2009)

Size of Cladode or maturity	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	c <sup>1</sup>	a + b <sup>2</sup>	Kp <sup>3</sup> = 0.04	Kp <sup>3</sup> = 0.06	Kp <sup>3</sup> = 0.08	r <sup>2</sup>	SE
Large OFI	34.3	19.9	0.21	54.2	51.1	49.9	48.8	84.9	2.4
Small OFI	31.9	15.3	0.36	47.2	45.6	45.0	44.4	85.4	2.0
<i>O. megacantha</i>	33.0	18.6	0.34	51.6	51.1	49.9	48.8	85.8	2.3
<i>O. hyptiacantha</i>	30.5	13.8	0.67	44.4	43.7	43.2	42.9	32.3	5.8

<sup>1</sup> a = soluble and rapid degradation fraction (%), b = potential degradation fraction c = fractional rate of degradation.

<sup>2</sup> Effective degradation =  $a + b(c/c+kp)$ .

<sup>3</sup>Kp= Rate of passage (0.04/ha, 0.06/h, 0.08/h).

<sup>4</sup>NS, P>0.05; \*\*\* P<0.001.

Table 7

Influence of supplementation of cladode of *Opuntia ficus indica* var. Copena on water intake (drinking and food)

and urine production of Nubian goats (Cordova-Torres et al., 2009).

	Control	Small Cladode	Large Cladode	SEM <sup>2</sup>	p <sup>2</sup>
Fresh water drinking (ml/d)	1907.2 <sup>a</sup>	1644.3 <sup>a</sup>	1420.7 <sup>b</sup>	107.5	***
Total water Intake (ml/d) <sup>1</sup>	2030.2 <sup>a</sup>	2946.3 <sup>b</sup>	2696.7 <sup>c</sup>	107.5	***
Urine (ml/d)	743.1a	1161.6 <sup>b</sup>	1228.0 <sup>b</sup>	56.1	***
Fresh drinking water (ml/kg BW <sup>0.75</sup> )	113.5a	97.4 <sup>a</sup>	80.4b	6.2	**
Total water intake (ml/kg BW <sup>0.75</sup> )	120.7a	174.2 <sup>b</sup>	152.6c	6.5	***
Urine (ml/kg BW <sup>0.75</sup> )	44.3a	71.9 <sup>b</sup>	69.7c	3.8	***

<sup>1</sup> As drinking water and water in the feed.

<sup>2</sup> SEM, standard error of the mean; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001.

Table 8

Effect of size or maturity of Cladodeos of *Opuntia ficus indica* Var. Copena in nitrogen balance in goats.

(Cordova-Torres et al., 2009)<sup>1</sup>.

	Control	Small Cladode	Big Cladode	SEM <sup>1</sup>	P <sup>1</sup>
N Intake (g/day)	12.7 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	12.1 <sup>c</sup>	0.1	***
N in feces (g/day)	4.81	5.72	4.98	0.3	NS
N in urine (g/day)	3.13	3.23	3.34	0.2	NS
N. Balance (g/day)	4.78 <sup>a</sup>	2.44 <sup>b</sup>	3.77 <sup>a</sup>	0.3	***
N intake (g/kg of BW <sup>0.75</sup> /day)	0.74 <sup>a</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.68 <sup>c</sup>	0.06	***
N in urine (g/kg BW <sup>0.75</sup> /day).	0.18	0.19	0.19	0.008	NS

<sup>1</sup> Means in the same line with different superscript differ (P < 0.001).

<sup>2</sup> SEM, standard error of the mean; NS, P > 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001.

Table 9

Chemical composition of raw (RP) and roasted (RTP) mesquite pods (Andrade-Montemayor et al., 2009).

	RP	RTP	p <sup>1</sup>	SEM <sup>2</sup>
DM (%)	91.71	95.45	**	2.64
OM (%)	94.10	93.72	***	0.95
CP (%)	11.74	12.25	**	0.36
NDF (%)	26.45	25.93	***	0.36
ADF (%)	16.91	18.21	*	0.91
Hemicelulose (%)	9.54	7.72	NS	1.28
CP-NDF (%) <sup>3</sup>	4.77	4.96	**	0.13
CP-ADF (%)	3.26	4.51	NS	0.88
CP-NDF (%) <sup>3</sup>	40.63	40.48	***	0.10
CP-ADF (%)	27.76	36.81	NS	6.39
ASH (%)	5.90	6.23	**	0.20
Ca (%)	0.32	0.38	NS	0.02
P (%)	0.16	0.17	NS	0.006
Se (ppb)	62.27	53.49	*	2.8
Co (ppb)	50.58	65.44	*	4.35

<sup>1</sup>NS, P > 0.05; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001. <sup>2</sup>SEM = Standard error of mean.

<sup>3</sup>CP-NDF, CP in NDF; CP-ADF, CP in ADF.

Table 10

Apparent digestibility coefficient and digestible nutrient content of diets without mesquite pods (control), with 20% raw mesquite pods (RP) or 20% roasted mesquite pods (RTP) (Alegría-Ríos et al. 2009)<sup>3</sup>.

Nutrient	Control	RP	RTP	SEM <sup>2</sup>	p <sup>1</sup>
Digestibility coefficient					
DM	68.0 ± 2.6	64.9 ± 3.5	67.1 ± 2.9	1.6	NS
OM	67.5 ± 2.5	64.7 ± 3.3	66.6 ± 2.9	1.6	NS
CP	61.3 ± 3.3	62.1 ± 4.5	65.3 ± 3.3	2.0	NS
NDF	40.5 ± 2.8	25.0 ± 3.1	31.3 ± 3.1	4.1	NS
ADF	22.6 ± 2.3 <sup>a</sup>	65.8 ± 2.5 <sup>b</sup>	67.1 ± 2.5 <sup>b</sup>	3.4	***
Digestible matter content (% DM)					
OM	79.8 ± 6.8	72.1 ± 7.1	82.9 ± 3.7	3.8	NS
CP	12.4 ± 1.2	11.0 ± 1.2	13.2 ± 0.5	0.7	NS
NDF	7.4 ± 0.5	5 ± 0.6	6.2 ± 0.6	0.8	NS
ADF	2.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	7.4 ± 0.3 <sup>b</sup>	7.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	0.4	***

<sup>1</sup> P = NS; P > 0.05, \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001. <sup>2</sup> SEM = Standard error of mean. <sup>3</sup> Means in the same line with different superscript differ (P < 0.001).

Table 11

Nitrogen intake, N in urine and feces, and nitrogen balance in diets without and with 20% of raw mesquite pods (RP) or with 20% of roasted mesquite pods (RTP) (Alegría-R et al., 2008).

	Control	RP	RTP	SEM $\pm$ <sup>2</sup>	P <sup>1</sup>
DM intake (g/d)	1651 $\pm$ 10.3	1930 $\pm$ 14.6	2003 $\pm$ 14.6	13.2	NS
Urine (ml)	1085 $\pm$ 91	1032 $\pm$ 128	1354 $\pm$ 128	115.6	NS
N intake (g/d)	14.0 $\pm$ 0.6	12.6 $\pm$ 0.9	14.4 $\pm$ 0.9	0.81	NS
N feces (g/d)	5.1 $\pm$ 0.3	5.05 $\pm$ 0.45	5.26 $\pm$ 0.45	0.40	NS
N Urine (g/d)	7.6 $\pm$ 0.6	7.00 $\pm$ 0.91	8.62 $\pm$ 0.91	0.82	NS
N Balance	1.30 $\pm$ 0.8	0.50 $\pm$ 1.18	0.49 $\pm$ 1.18	1.06	NS

<sup>1</sup>NS, P > 0.05; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001.

<sup>2</sup>SEM = Standard error of the mean.

Table 12

Effect of roasting on content and activity of some antinutritive factors in raw (RP) or roasted mesquite pods (RTP) (*Prosopis laevigata*) (Alegría-Ríos et al., 2007).

	Total Phenols (mg galic acid/g DM)	Condensed tannins (meq/ catequine/g DM)	Inhibitory activity of proteases (UI/gDM) <sup>1</sup>	Aglutinant activity of lectines (UA/g DM) <sup>2</sup>
RP	5.92	0.39	17.5	1720
RTP	4.87	2.45	12.3	7619
p <sup>3</sup>	*	*	*	*
SEM± <sup>4</sup>	0.06	0.04	0.01	70

<sup>1</sup> UI= Inhibitory Units.

<sup>2</sup> UA: Agglutinant Units.

<sup>3</sup> NS, P > 0.05, \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001.

<sup>4</sup>SEM = Standard error of mean.

Table 13

Dry matter and protein degradation kinetics of raw (RP) and roasted (RTP) mesquite pods (Aguilar-Borjas, 2009).

	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	c <sup>1</sup>	a + b <sup>1</sup>	ED <sup>2</sup>	r <sup>2</sup>	SEM <sup>3</sup>
Dry Matter							
RP	46.5	18.2	0.11	64.7	57.1	76.0	3.0
RTP	36.5	26.4	0.09	62.0	50.4	74.0	4.0
p <sup>1</sup>	***	***	NS	***	***		
Crude Protein							
RP	57.6	25.3	0.12	82.8	72.7	72.0	5.6
RTP	40.7	39.1	0.08	79.8	60.3	70.1	9.3
p <sup>1</sup>	**	***	NS	NS	*		

<sup>1</sup>a = soluble and rapid degradation fraction (%); b = potential degradable fraction; c = fractional rate of degradation; a + b = potential degradation.

<sup>1</sup>P, probability; NS, non-significant; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001.

<sup>2</sup>Effective degradation [(ED = a + b (c/c + kp)], where kp is the fractional rate of passage (kp = 0.08).

<sup>3</sup>SEM, standard error of the mean.

## References

- Abidi, S., Ben Salem, H., Martín-García, A. I., Molina-Alcaide, E., 2009. Ruminant fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica f.inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Animal. Feed Sci. technol.* 149, 333-340.
- Aguilar-Borjas, J.H., 2009. Efecto del tostado de la vaina de mesquite (*Prosopis laevigata*) en la composición, degradabilidad *In situ* y cinética de degradación de la materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácida en caprinos. Tesis de licenciatura (Director: Andrade-Montemayor H.). Lic. Med. Veterinaria. Fac. Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Alegría-Ríos, R. F., Pacheco López, 2009 Efecto del tostado de la vaina de Mezquite (*Prosopis laevigata*) en la digestibilidad *in vivo* de la Materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, así como en el balance de nitrógeno : Pruebas en caprinos. Tesis de licenciatura (Director: Andrade-Montemayor H). Lic. de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Fac de Ciencias Naturales Universidad Autónoma de Querétaro. México. Pp: 78.
- Alegría-Ríos, F. S; Garcia-Gasca T; Andrade-Montemayor H. 2007. Roasted of Mesquite Pods (*Prosopis laevigata*) can modify protein content and antinutritive factors. XXII Reunión Nacional sobre caprinocultura. Zacatecas. México. Pp 1-4.
- Alonso-Díaz. M.A, Torres-Acosta J.F.J; Sandoval-Castro C.A; Hoste.H. 2010. Tannins in tropical tree fodders fed to samll ruminants: A friendly foe?. *Small. Ruminant Res.* Dói:10.1016/j.smallrumres.2009.12.040.
- Andrade-Montemayor, H. M. 2005. Valoración nutritiva de dos sistemas de alimentación y evaluación del uso de fuentes alternativas de proteína vegetal en la alimentación de caprinos. PhD Thesis. Univ. Of Murcia. Spain. Pp: 1-293.
- Andrade-Montemayor, H; Alegría-Ríos, F; Pacheco-López M; Vera-Avila H.R; Jimenez-Severiano H. 2008. (a) Changes in nutrient degradation by roasting mesquite pods (*Prosopis laevigata*) can be associated to changes in blood glucose and insulin concentration in goats. 9<sup>th</sup> International Conference on Goats. Querétaro Mexico. Pp 394.
- Andrade-Montemayor, H; Alegría-Ríos, F; Pacheco-López M; Aguilar-Borjas, H; Villegas-Díaz FLO; Basurto-Gutierrez R; Jimenez-Severiano, H; Vera-Avila H.R. 2008 (b). Composition, digestibility and degradability of dry roasted mesquite pods as a feed supplement in goats. 9<sup>th</sup> International Conference on Goats. Querétaro Mexico. Pp 354.
- Andrade-Montemayor, H; Alegría-Ríos, F; Pacheco-López M; Aguilar-Borjas, H; Villegas-Díaz FLO; Basurto-Gutierrez R; Jimenez-Severiano, H; Vera-Avila H.R. 2009. Effect of dry roasting on composition, digestibility and degradability of fiber fractions of mesquite pods (*Prosopis laevigata*) as feed supplement in goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* Pp.1-7.

- Ben Salem, H and Smith. T. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Rumin. Res.* 77 : 174-194.
- Brenes, A. and Brenes J. 1993. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: Influencias sobre su valor nutritivo. CSIC y LUCTA. S.A.P.p:1-32.
- CNZA. 2005. Comisión nacional de zonas áridas. Instituto Nacional de Ecología. Mezquite. Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México D.F. Pp.1-12.
- Cerrillo, M. A., López, O. O., Nervárez, G. C., Ramírez, R. G., Juárez, R. A. S. 2006. Nutrient content, intake and in Vitro gas production of diets by Saphish goats Browning a thorn shrubland in North México. *Small. Rumin. Res.* 66: 76-84
- Cordova-Torres A; Gutierrez-Berroeta L; Kawas R-J; García-Gasca T; Aguilera-Barreiro A; Malda G; Andrade-Montemayor. 2009. El Nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos em regiones semiáridas: Efecto Del tamaño o madurez de La penca em La digestibilidad *in vivo* y composición. VI Congreso Latinoamericano de la Asociación de especialistas en pequeños rumiantes y camelidos sudamericanos. XXIV Reunión de la AMPCA. Querétaro, México. Pp: 143-151.
- Costa, G,R; Beltro Filho ME; Nunes de Medeiros, A; Naves Giviez; Egypto Queiroga, R.R., Melo S. A.A. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*L. Miller) in the diet of dairy goats its contribution as a source of water. *Small. Rum. Res.* 82: 62-65.
- Cueto, M., A. Gibbons., M. R. Lanari., H. Taddeo y R. Alberio. 2008. Variación estacional de los estros y las ovulaciones en cabras criollas neuquinas de Patagonia argentina. *Arch. Zootech.* 57 (220): 541-544.
- Degu, A; Melaku, S; Gebreyohannes B. 2009. Supplemntation of isotrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus-indica*)-tef straw (*Eragrostis tef*) based feeding of Tigray Highland sheep. *Animal Feed Sciences and Technology.*148: 214-236
- Devendra, C., 1982. The utilization of fiber by goats. Third Int. Conf. Goat Prod and Disease. Tucson. Arizona. USA.
- Echavarria Ch. F.G., Gutiérrez L. R., Ledesma R. R., Bañuelos V. R., Aguilar S. J., Serna P. A. 2006. Influence of small ruminant grazing systems in a semiarid range in the state of Zacatecas México. I Native vegetation. *Tec. Pecu. Mex.* 44(2) 203-217.
- FIRA. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México. FIRA. Banco de México. Núm. 313 (Vol XXXII). 15-62.
- García, L. G., Guimaráes, F. C., Bezerra, S. I. 2010. Animal Production in semi-arid regions: Brazil. in [http://tcdc.undp.org/sie/experiences/vol9/Brazil\\_v9\\_49-53.pdf](http://tcdc.undp.org/sie/experiences/vol9/Brazil_v9_49-53.pdf). Consultado el 15/ 01/2010.

García, D. E. 2004. Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. Estación experimental de pastoso y forrajes. Central España Republicana. Matanzas Cuba. Pp:101-113.

Gebremariam, T; Melaku, S; Yami, A. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. Animal feed Sci. Tech. \_\_\_\_\_

Guim, Q; Vieira, B. A. M; Ramos de Carvalho F. F; Rodrigues de Medeiros G. 2007. Alimentacao e Manejo de Pequenos Ruminantes no Brasil. En Ribeiro M,N; Gomes U, N; Revidatti, M.A; Pariacote, F. A; Mendoza, B;

Stemmer, A. Pequenos Ruminantes na América do Sul: Situação Atual e Perspectivas. Ministério da educação. Universidade Federal Rural de Pernambuco. PP:178.

Goelema, J. O., A. Smits., L. M. Vaessen., A. Wemmers. 1999. Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on *in vitro* and *in situ* parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans. Anim. Feed Sci. Technol. 78:109-126.

Huston, J. E. 1978, Forage utilization and nutrient requirements of goat. J. Dairy. Sci. 61: 983-993.

INE (Instituto Nacional de Ecología).2008. Mapas del medio ambiente de México. Disponible en <http://www.ine.gob.mx.emapas/>. Consulta Marzo 2010.

Kawas, R.J; Andrade-Montemayor H; Lu C.D. 2010. Strategic nutrient supplementation of free-ranging goats.. Small Ruminant Res. Doi:10.1016/j.smallrumres.2009.12.050.

Liener, I.E. 1989. Antinutritional factors in legume seeds: state of the art. In: Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the first international workshop on Antinutritional Factors (ANF) in legume seeds. Wageningen, Netherlands. Pp: 6-13.

Louca, A., Antoniou, T and Hatzimpanyiotou, M. 1982. Comparative digestibility of feedstuffs by various ruminants, especially goats. Third Int. Conf. On Goat Prod. And Diseases, Tucson, Arizona. USA.

Luna, L. M., Chavez, M. G., Aguado, G. A y Barreto, R. 1988. Composición botánica de la dieta de caprinos en pastoreo en un matorral microfilo del noreste de Jalisco. Cong. Int. Prod. Caprina. Torreón . México.

Mainguet M.1999. Aridity. Droughts and human development. Edit. Springer. New York. Pp 295.

Makkar. H. P. S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Rumin. Res. 49: 2141-256.

Malpaux, B. 2005. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA-FMVZ: UAS. Culiacán Sin. 99-131.

Miranda de E.E. 1987. Environment and feed resources in semi-arid northeast Brazil. Proceedings of the IV international conference on goat. Brasilia. Brasil. 673-682.

Misra, A. K; Mishra, A. S; Tripathi, M.K; Chaturvedi, O. H; Vaithyanathan, S.; Prasad, R; Jakhmola, R. C. 2006. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) with or without groundnut meal. Small Rumin. Res. 63: 125-134.

Nefzaoui, A; Ben Salem, H. 2001. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región wana. In Edit Candelario Mondragón-Jacobo and Pérez-González Salvador. FAO. Plant production and Protection Paper (169).

Palacios, A. R., Hoc.S. P., Burghardt, D.A., Vilela, E. A. 2000. *Prosopis l.* : Biodiversidad y clasificación, estrategias adaptativa, reproductivas e importancia económica. en Hernández, f. J., Olalde, P.V y Vernon C. J. (Eds). El mesquite, árbol de usos múltiples. Estado actual del conocimiento en México. Universidad de Guanajuato, México. Pp.37-50.

Pfister, A. J and Malechek, J. 1986. The Voluntary forage intake and nutrition of goats and sheep in the semi-arid tropics of northeastern Brazil. J. Anim. Sci. 63: 1078-1086.

Pusztai, A; Bardoez, S; Martín-Callejas, M.A. 2003. The mode of action of ANFs on the gastrointestinal tract and its microflora. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de ciencias sección de Química Agrícola. España. pp. 87-94.

Ramírez, R. G. 1999. Feed resource and feeding techniques of small ruminants under extensive Management conditions. Small. Rumin. Res. (34):215-230.

Ramírez, R. G., Ledezma-Torres, R. A. 1997. Forage utilization from native shrubs *Acacia rigidula* and *Acacia farnesiana* by goats and sheep. Small Rumin. Res.25:43-50

Ramírez, R. G., Neira\_Morales, R. R., Ledezma-Torres R. A., Garibaldi- González, C. A. 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico.

Ramírez, R. G; Loyo, A; Mora, R; Sanchez, M.E and Chaire. A. 1991. Forage intake and nutrition of range goats in a shrubland in northeastern Mexico. J. Anim. Sci. 69:879-885.

Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R. G., Romero-Vadillo, H., González-Rodríguez H., Armenta-Quintana, J.A., Avalos-Castro R. 2008. Diet and nutrition of range goats on a sarcocaulous shrubland from Baja California Sur, Mexico. Small. Rumin. Res. 76: 166-176.

Ramos, G., Frutos, P., Giráldez, F. J., Mantecón, A. R. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. Arch. Zootec. 47:597-620.

- Reed, J.D., Krueger C., Rodriguez G and Hanson. J. 2000. Secondary plant compounds and forage evaluation. Department of animal Science. University of Wisconsin. Madison. Pp:433-445.
- Rekik, M; Ben Salem, H; Lassoued, N; Chalouati, H; Ben Salem, I. 2010. Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes during late gestation-early suckling: Effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity. Small. Rumin. Res: in press. Doi:10.1016/j.smallrumres.2009.12.051.
- Reynolds, G.S., Arias, E. 2001. Background on Opuntia. In Cactus (Opuntia spp) as forage. Edit Candelario
- Mondragón-Jacobo and Pérez-González Salvador. FAO. Plant production and Protection Paper (169).
- Ribeiro, M.N., Ramos de Carvalho, F.F., Gomes U. N., Revidatti M. A., Pariacote, A. F., Mendoza, B., Stemmer, A. 2007. Pequenos Ruminantes na América do Sul: Situação Atual e Perspectiva. Recife. Brasil: EDUFPRPE. Pp. 178.
- Rodríguez-Franco., C. Maldonado L. J. 1994. Overview of past, current and potential uses of Mesquite in México. INIFAP documento PDF. Pp: 41-52.
- Sanchez, C; García, H.M. 2006 Utilización de tuna de cabra (*Opuntia* sp.) enriquecida con urea en cabras bajo explotaciones tradicionales de zonas semiáridas del estado Lara, Venezuela. Zootecnia Trop., 24(4): 457-466
- Schacht, W. and Malechek, C.J. 1990. Botanical composition of goat diets in thinned and cleared deciduous woodland in northeastern Brazil. J. Range. Man. 43(6): 523: 529.
- Silanikove. N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. Small Rumin. Resch 35: 181-19
- Tegegne, F; Kijora, C; Peters, K. 2007. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. Small. Rumin. Res. 72:157-164.
- Tosto, L.S.M; Garcia. L de A, G; Lopez, O. R; Palma L.J. S.M; Ribeiro, M. D; Rodrigues, D. F. 2008. Utilização de uréia no residuo desidratado de vitivinícola associado á palma forrageira na alimentação de caprinos consumo e digestibilidade de nutrientes. R. Bras. Zootec., v.37, n10, 1890-1896.
- Valencia, C. C.M; Ponce, H; Castellanos P. J., Quiñones, V., Soriano, R. 2007. Árboles natíos y producción de forraje en la zona semiárida de la comarca lagunera. Memorias de la XXII Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Zacatecas, Zac.
- Valle, P y Lucas, B. 2000. Toxicología de alimentos. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp: 206-211.

Van Soest, P. 1982. \_Nutritional ecology of the ruminants. Ruminant Metabolism, Nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers. Comstock publishing associates.Edit. Cornell University. pP:373.

Vieria, E. L; Batitsta A. M.V; Guim . A; Carvalho, F.F; Nascimento, A. C; Araújo, R.F.S; Mustafá, A. F. 2008. Effects of hay inclusion on intake, *in vivo* nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. Animal Feed Sci. Technol. 141: 199-208.

Villegas-Díaz J.L.O; Aguilar BJH; Andrade-Montemayor HM; Basurto G-R; Jimenez S. H., Vera. A.H.R: 2006. Efecto del tamaño de corte de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) sobre la degradabilidad *in situ* y cinetica de degradación de la materia seca. XXI. Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA-UAEM. Toluca. México.

Villegas-Díaz J.L.O; Aguilar-Borjas, J. H; Andrade-Montemayor H. M; Basurto-Gutierrez R; Jimenez-Severino H; Vera-Avila H.R. 2008. Efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre La degradabilidad *in situ* y cinetica de degradación de la proteína cruda en caprinos. XXII Reunión Nacional sobre caprinocultura. Zacatecas. México. Pp:

Wickens G.E. 1998. Ecophysiology of economic plants in Arid and Semi-arid lands. Edit. Springer. New York. Pp: 335.

Yu, P., J. O., Goelema, B. J., S. Tamminga y A. R. Egan. 2002. An analysis of the nutritive value of heat processed legume seeds for animal production using the DVE/OEB model: a review. Anim. Feed Sci. Technol. 99:141-176.



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®



"Educación de calidad  
un compromiso social"



# Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey

## IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional

**"Desarrollo y Bienestar Sustentables a Través del Nopal y Maguey"**

Biblioteca de Ciencias Agropecuarias y Biológicas  
Campus de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Agronomía UANL



## CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) Y DE VARIEDADES SILVESTRES DE *Opuntia* COMO ALTERNATIVA EN LA SUPLEMENTACIÓN DE CAPRINOS

Andrade-Montemayor H.M.<sup>1</sup>., Cordova-Torres A.V.<sup>2</sup>., Aguilera-Barreyro, A.<sup>1</sup>., García-Gasca T.<sup>3</sup>., Kawas R. J.<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Medicina Veterinaria, Cuerpo Académico de Morfología animal, Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Juriquilla. Ave. De las Ciencias S/N. Juriquilla Delegación Santa Rosa Jáuregui, CP. 76230. Querétaro. México. <sup>2</sup>Estudiante de Maestría, Maestría en Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Ave. De las Ciencias S/N. Juriquilla Delegación Santa Rosa Jáuregui, CP. 76230. Querétaro. México. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Cuerpo Académico de Biología Celular, Licenciatura en Nutrición. Campus Juriquilla. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Delegación Santo Rosa Jáuregui, Querétaro México. CP. 76230 Querétaro, México. <sup>4</sup>Centro de Investigaciones Agropecuarias. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Francisco Villa S/N, Colonia Exhacienda El Canadá, Escobedo, Nuevo León, México. CP 66050.

Correo-Electrónico: andrademontemayor@yahoo.com.mx

### Introducción

La producción animal es uno de los pocos recursos económicos disponibles para los habitantes de las regiones semiáridas del mundo, estas regiones se caracterizan por presentar una precipitación pluvial estacional y errática, siendo de 250 a 500 mm al año, ubicada en una época definida. La vegetación consiste en arbustivas (muchas de estas leguminosas), abundancia de cactáceas y gramíneas (1). La cabra es el animal predominante en estas regiones, debido a sus hábitos de consumo (ramoneador) y capacidad de adaptación a regiones con reducida precipitación pluvial, y pobre disponibilidad de agua. Poco más de un tercio de la superficie de la tierra son regiones áridas o semiáridas (49 millones de km<sup>2</sup> son áridos o semiáridos y de estos 21 millones de km<sup>2</sup> son semiáridas), estos territorios mantienen a 1.2 billones de personas o 20 % de la población mundial (2). El 60 % del territorio Mexicano (1.28 millones de km<sup>2</sup>), es árido o semiárido, ubicados principalmente en el centro y norte del país, zona donde vive cerca del 50 % de la población mexicana, y aproximadamente el 80% de la población caprina del país (8.9 millones de cabezas) (3).

La cabra es un animal reproductivamente estacional, lo cual depende del fotoperiodo y posiblemente de algunos otros factores ambientales, por otra parte, existe una relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos, el inicio de la actividad reproductiva y la producción (4,5). La reducida y estacional producción de alimentos, tiene como consecuencia una baja productividad animal, pobres tasas de fertilidad y nacimientos, así como elevada mortalidad. En el hemisferio norte como es el caso de México, el inicio de la actividad reproductiva se presenta en los

meses de Julio a Diciembre, época en la que la producción de forraje es adecuada por la presencia de lluvias. Sin embargo, la época de partos y producción coincide con la época de sequía y la producción forrajera es pobre, teniendo como consecuencia reducida fertilidad y productividad y elevada mortalidades de crías (Figura 1). Por lo que, es necesario, establecer programas estratégicos de suplementación, con productos regionales alternativos, que sean disponibles en la época de deficiencia de alimentos, que presenten producciones suficientes para apoyar la alimentación, y con adecuadas características nutricionales.

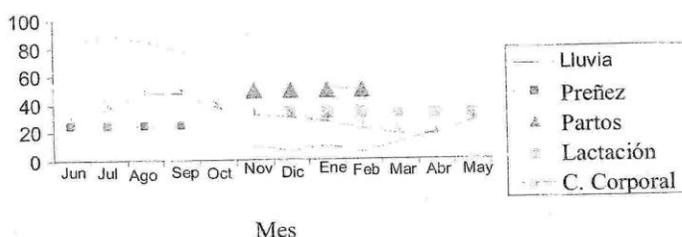


Figura 1.-Relación entre la producción estacional de forrajes, la precipitación pluvial y la época actividad reproductiva (preñez) y de partos y producción.

### Suplementación estratégica

La suplementación estratégica consiste en proporcionar alimentos (Suplementos) en los momentos en que el animal presenta una mayor demanda, por ejemplo, próximas y recién paridas, inicio de actividad reproductiva, el destete, etc., así como aportar un suplemento alimenticio acorde a la necesidad y producción estacional, por lo tanto, este suplemento debe de producirse durante todo el año o en los momentos de escasez, presentar buenas características de almacenamiento y conservación, ser de preferencia producido en la región, evitando de esta forma la dependencia en su compra y la modificación en los precios de venta, presentar características nutricionales adecuadas, en cuanto a su composición química, como en su digestibilidad y degradabilidad ruminal. En este trabajo se analizarán los hábitos de consumo y la composición de la dieta de caprinos en pastoreo en el semidesierto, como base para establecer un programa de suplementación estratégica. Se propone al nopal (*Opuntia spp*) como un suplemento que cubre estos elementos y se evalúan diferentes variedades.

Se considera que la variación estacional en la disponibilidad y producción de forraje en estas regiones, imposibilita el que el caprino disponga de una cantidad suficiente de alimento para poder mantener

una producción constante, siendo importante el establecimiento de programas de suplementación estratégica con productos regionales, que presenten como características:

- 1.- Disponibilidad en la región durante la mayor parte del año, o suficiente producción para permitir su almacenamiento y disponibilidad anual, principalmente en la época de deficiencias. Lo que implica que sean forrajes que requieran poco agua y eviten las pérdidas de esta.
- 2.- Aportar los nutrientes deficitarios, para complementar y apoyar la dieta de los caprinos de estas regiones, tales como fuentes de nitrógeno, carbohidratos no estructurales, minerales y agua.
- 3.- Presentarse en la época de mayor demanda productiva, al considerarse como un sistema de suplementación estratégica, siendo las épocas importantes en el momento del inicio de la actividad reproductiva, en el parto y al menos al inicio de la lactancia, siendo estas dos últimas las de mayor demanda nutricional y que coinciden con el momento de menor disponibilidad alimenticia.

### **Opuntias como suplemento**

Desde tiempos pre-hispánicos las *Opuntias* jugaron un papel importante en la cultura Mexicana, siendo parte de la economía agrícola y en la dieta de los antiguos Mexicanos, y representó, junto con el maíz (*Zea mays*) el amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y el agave (*Agave spp*), uno de los principales cultivos del imperio azteca. Las *Opuntias* se encuentran distribuidas en diversos países y en todos los continentes. Existen más de 300 especies del género *Opuntia*, y cerca de 104 se encuentran en México. Las *Opuntias* contribuyen como un medio para asegurar la subsistencia y seguridad alimenticia en áreas de agricultura marginal (6). La evolución de las *Opuntias* en las regiones áridas o semiáridas se debe al desarrollo de formas de adaptación anatómicas, morfológicas y fisiológicas, y en particular a la estructura de la planta, que han permitido su desarrollo en ambientes áridos, en los que el agua es el principal factor limitante. Por lo que es importante que presente un metabolismo de tipo CAM (Metabolismo del ácido crasuláceo), lo cual combinado con una adaptación estructural le permite sobrevivir y producir durante largos periodos de sequía (7).

Las *Opuntias* se consideran como una buena alternativa forrajera, pueden llegar a producir más de 10 ton de materia seca ha<sup>-1</sup>, ya que son muy eficientes en la conversión de agua a materia seca, y a energía digestible, los cactus son resistentes a las sequías, su generación de biomasa por unidad de agua es tres veces mayor que las plantas C4 y cinco veces más que las C3, en condiciones óptimas, los diferentes tipos de plantas pueden producir cantidades similares de materia seca por superficie, pero bajo condiciones áridas o semi-áridas, las plantas CAM son superiores a las C3 y C4. Las *Opuntias* se han utilizado como fuente de energía, agua y vitaminas para el ganado en época de sequía, en general se combina con otros alimentos ya que es deficiente en proteínas, carbohidratos y calcio. Se estima que en el mundo existen 900,000 ha de *Opuntias* como productoras de forraje, y se han utilizado para prevenir la erosión y para el combate de la desertificación, debido a su crecimiento en suelos degradados y adaptación, presentando gran capacidad de sobrevivencia y producción en regiones con escasa y errática precipitación pluvial y elevada temperatura. Sin embargo, en algunas

regiones esta capacidad de sobrevivencia en condiciones extremas ha sido problemática, en especial en aquellas en las que se ha introducido y en donde no existen enemigos naturales, lo cual ha provocado problemas de sobrepoblación. Ben Salem and Smith (2008) (8) menciona a los cactus (*Opuntias*) como una planta milagrosa, el dromedario de la vegetación del mundo, o como un banco de vida. Las *Opuntias* han tenido además, diferentes aplicaciones medicas, tales como el control y regulación del peso, y de la concentración de azúcar en sangre, además de usos tan variados como su uso en la industria como un material de construcción, como agente sellador, y protector, así como combustible. Los cactus contribuyen en el mejoramiento del nivel de vida de las poblaciones de las regiones semiáridas o áridas del mundo. En el Norte de África se utiliza como alimento para ganado, o su fruto para el consumo humano, al igual en el Asia oriental (Jordania, Pakistán and Siria) se planta para uso forrajero, de la misma forma en países tales como Brasil, Marruecos, México, Sud África y Tunes, entre otros, se proporciona como suplemento de emergencia en periodos de sequía. Las *Opuntias* se han utilizado tradicionalmentete como suplemento en la alimentación animal, algunos de sus usos los podemos observar en el Cuadro 1.

En general los Cladodios de *Opuntias* presentan un elevado contenido de agua (85 a 94% de agua), bajo contenido de proteína (6 a 8 %), elevado contenido de minerales (15 a 25 %) (9,10,11). En el Cuadro 2 se presenta la composición nutricional de *Opuntia ficus indica* observada por otros autores y en el Cuadro 3, se presentan los resultados de nuestro laboratorio sobre el efecto del tamaño de la penna de *Opuntia ficus indica* var. COPENA en su composición nutricional, esta evaluación se realizó con la finalidad de caracterizar los cladodios no utilizados para consumo humano, sean usados como suplemento en animales. En algunos países los granjeros los consideran a las *Opuntias* como una buena fuente de agua (12,13). La gran variabilidad que presentan las *Opuntias* en su composición, aún siendo la misma especie, es importante, siendo común el elevado contenido de humedad y minerales, y el reducido contenido de proteína. Sin embargo, el contenido de carbohidratos no fibrosos es de 25 al 30 %, lo cual lo convierte en una adecuada fuente de fibra. En esos términos, toman relevancia el contenido de agua y minerales, además de la posibilidad contar con este alimento en cualquier época del año, y en especial en la época de menor producción forrajera.

Cuadro 1. Uso de *Opuntia spp* como suplemento de rumiantes en diferentes regiones semiáridas del mundo.

Autor	País o región	Época	Uso	Forrajes Asociados con <i>Opuntias</i>	Resultados	Especie Animal
Nefzaoui and Ben Salem (2001) (14)	Oeste Asiático y norte de África	Agosto y septiembre (Gestación)	Suplemento De emergencia en zonas áridas y semiáridas región 0 a 600 g de MS/día	Atriplex o pajas	Digestibilidad <i>in vitro</i> 63.8 %, Incremento en el consume de Materia seca, MO, PC y digestibilidad y reducción en consumo de agua.	Rumiantes
Rekik <i>et al.</i> (2010) (15)	Tunes	Fin de gestación y principio de lactancia	Suplemento en sequía: Efecto del uso de cactus en la producción de leche, Metabólicos sanguíneos y actividad ovárica	Cactus vs Cebada	Incrementa concentración de glucosa circulante, y calcio. Ovulaciones tempranas	Borregos
Sánchez y García (2006) (16)	Venezuela Zona Semiárida de Lara	Todo el año	500 g de cactus con 2.5% de urea /cabras/día	Pastoreo vs Pastoreo y cactus con 2.5% de urea	Incremento en el peso corporal, la ganancia de peso, la condición y producción de leche	Cabras
Degu <i>et al.</i> (2009) (17)	Etiopia	Estación de secas	172 g de MS/día de cactus	Cactus con paja de tef ( <i>Eragrostis sp</i> )	Incremento en el consume de MS y mayor ganancia de peso.	Borregos
Costa <i>et al.</i> (2009) (18)	Brasil	Estación seca	28 % de MS	Cactus substituyó al maíz molido y se utilizó como fuente de agua	Reduce el consume de agua de bebida, reduce el contenido de grasa en leche, pero no modificó la producción de leche, ni el consumo de MS	Cabras

**Cuadro 2. Composición nutricional del Nopal (*Opuntia ficus indica*)**

Autor	MS	PC	FDN	FDA	CENIZAS
Misra <i>et al.</i> (2006) (19)	21.8	12.6	46.6	39.3	--
Nefzaoui y Ben Salem (2002) (20)	13.0	5.6	25.5	--	--
Ben Salem <i>et al.</i> (2004) (21)	17.7	4.6	33.8	16.8	
Ben Salem <i>et al.</i> (2004) (22)	17.7	4.6	33.8	16.8	--
Teegne <i>et al.</i> (2007) (23)	12.23	3.06	23.8	16.2	19.89
Gebremariam <i>et al.</i> (2006) (24)	12.0	8.3	39.2	26.3	--

**Cuadro 3. Composición de *Opuntia ficus indica* de diferentes tamaños o edades. Resultados de nuestro laboratorio.**

Autor	Variiedad	MS	MO	PC	FDN	FDA	PC-FDA	Cenizas
Cordova-Torres <i>et al.</i> (2009) (25)	<i>O.ficus-indica</i> var Copena ( <i>chical</i> )	16.5	86.6	4.55	35.85	20.23	1.36	13.39
Cordova-Torres <i>et al.</i> (2009) (26)	<i>O.ficus-indica</i> var Copena ( <i>mediana</i> )	15.47	83.54	5.22	39.63	21.33	1.76	16.45
Villegas-Díaz <i>et al.</i> (2008) (27)	<i>O.ficus-indica</i> ( <i>small</i> )	8.33	76.3	7.7	36.8	11.8	0.23	23.7
Villegas-Díaz <i>et al.</i> (2008) (28)	<i>O.ficus-indica</i> ( <i>mediana</i> )	9.70	75.2	5.8	44.9	17.8	0.43	24.8
Villegas-Díaz <i>et al.</i> (2008) (29)	<i>O.ficus-indica</i> ( <i>grande</i> )	10.28	74.4	5.9	43.5	16.0	0.30	25.5

Por otra parte, existen 300 especies del género *Opuntia*, y 104 de estas se encuentran en México (30). Algunas de estas pueden ser consideradas como alternativa al uso de *Opuntia ficus indica*, al no presentar un valor comercial y tener mejores características de adaptación a su región de origen, por lo que se realizó un estudio con la finalidad de caracterizarlas nutricionalmente, en el Cuadro 4, se presentan algunos de los resultados, en los que se compara la composición química nutricional de la *Opuntia ficus indica* vs cuatro variedades de *Opuntias* silvestres con potencial de uso, existe una importante variación en el contenido nutricional entre especies, sin embargo, los elementos generales y comunes son, un bajo contenido de Materia Seca (DM) (7.8 a 13.7 %), elevado contenido de cenizas (16.48 a 25.09 % de la DM) y fibra detergente neutro (NDF) (45 a 54 % de la MS), bajo contenido de proteína cruda (CP) (4.43 a 7.2 % de la DM) de la cual, un porcentaje elevado, se encuentra unida al de FDN y a la fibra detergente ácida (FDA) lo que podría limitar su degradación. Por otra parte, presenta un elevado contenido de Ca (2.9 a 5.2 % de la DM) y bajo contenido de fósforo (31,32), lo que coincide con lo observado por Kawas *et al.* (2010) (33), por otra parte, es importante el reducido contenido de Se (40 a 107 ppb) y de Co (42 a 102 ppb), lo cual puede deberse a deficiencias de estos minerales en la región en donde fue cosechado (Colón, Querétaro México). Sin embargo, al parecer la disponibilidad del calcio en la *Opuntia ficus-indica*, es reducida, debido al elevado contenido de oxalatos (34).

**-Efecto de la suplementación de *Opuntias* en el consumo de agua y materia seca (MS), digestibilidad *In vivo*, y degradabilidad *In situ* e *In Vitro* de la MS y FDN:**

Se han realizado diversos estudios evaluando el consumo y digestibilidad de las raciones con la suplementación de *Opuntias*, tanto en ovinos como en caprinos, en los que se observa que la suplementación con *Opuntias* incrementa el consumo de alimento, pero se disminuye el consumo de agua de bebida al incrementarse la cantidad de agua consumida por medio de la *Opuntia* (35,36). Debido a lo anterior, en algunos países las *Opuntias*, se consideran principalmente como fuente de agua, en ese sentido Ben Salem y Smith (2008) (37) mostraron que borregos adultos pueden cubrir sus requerimientos de agua consumiendo 300 g de Materia seca de cladodios de *Opuntias* frescos (4 a 4.5 kg de cladodios frescos) (Cuadro 5). En cuanto a materia orgánica, fracciones fibrosas NDF, CP y Carbohidratos no fibrosos el contenido y la digestibilidad es muy variable, Gebremariam *et al.* (2006) (38) observaron que al sustituir tres cuartas partes de paja de *Eragrostis tef* por *Opuntia ficus-indica*, la digestibilidad de la DM se incrementaba (51 a 76 %), la de OM de 46 a 56 %, sin embargo, disminuía la digestibilidad de la CP, NDF y ADF. La disminución de la digestibilidad de la CP se pudo deber a el elevado contenido de taninos en las *Opuntias*. Por otra parte, Viera *et al.* (2008) (39), incluye de 50 a 450 g de heno de Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) en dietas para caprinos basadas en *Opuntia ficus-indica*, observando un incremento en consumo de DM, OM and CP, NDF, ADF, pero disminución en el consumo de agua del alimento e incremento en el consumo de agua de bebida, sin modificación en la digestibilidad. Por su parte, Tegegne *et al.* (2007) (40), trabajando con ovinos en los que se suplementó con diversos niveles de cactus (*Opuntia ficus-indica*) (0 a 508 g de *Opuntia*/animal/día), observa que el consumo de MS se incrementa conforme se sustituye el cactus, el consumo de agua total (Alimento y de bebida) también se incrementó drásticamente (148 a 409 ml/kg W<sup>0.75</sup>), sin embargo, la digestibilidad de la MS, PC y FDN disminuyó tan solo con el nivel más alto (80%), sin modificar el balance de nitrógeno, pero las ganancias diaria de peso se mejoró. En resumen, la suplementación con *Opuntias* puede incrementar el consumo de alimento, sin modificar o mejorar la digestibilidad de la ración, y disminuir el consumo de agua de bebida, lo que en condiciones de las regiones semiáridas o áridas es de gran importancia.

En nuestro laboratorio hemos evaluado la digestibilidad y degradabilidad de la penca de diversas *Opuntias* de acuerdo a su grado de madurez y especie. La digestibilidad de los diversos nutrientes se observa en el Cuadro 6, la degradabilidad ruminal de la MS, PC y FDN de la *Opuntia ficus-indica* de acuerdo a su madurez se pueden observar en el Cuadro 7, 8 y 9 respectivamente, y la degradabilidad ruminal de la MS de diversas variedades de *Opuntias* silvestres en el Cuadro 10.

La evaluación de la digestibilidad *in vivo* de la DM, OM, CP y NDF (Cuadro 6), se realizó con raciones en las que se substituyó el 20 % de la materia seca por cladodios de *O. ficus-indica* grandes o pequeños en comparación con la ración control (sin cladodios), las raciones fueron isoenergéticas e isoproteicas y se observó un incremento en la digestibilidad de la CP y de la OM en las que contenían 20 % de cladodios, siendo superior en las que contenían cladodios grandes (41).

**Cuadro 4. Composición química de cinco *Opuntias* Silvestres de Querétaro (Resultados nuestro laboratorio (42)).**

	O. m	O. h	O. r	O. s	O. f-i	EE ( $\pm$ ) <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
Mat. Seca	12.15 <sup>d</sup>	13.76 <sup>d</sup>	12.61 <sup>d</sup>	10.93 <sup>ad</sup>	7.81 <sup>a</sup>	1.63	*
Mat. Orgánica	83.51 <sup>a</sup>	80.26 <sup>b</sup>	82.22 <sup>c</sup>	83.26 <sup>d</sup>	74.90 <sup>e</sup>	0.11	***
FDN	47.75 <sup>ab</sup>	51.06 <sup>bc</sup>	54.25 <sup>c</sup>	48.29 <sup>a</sup>	45.98 <sup>a</sup>	1.59	**
FDA	18.39 <sup>a</sup>	23.00 <sup>d</sup>	20.27 <sup>abc</sup>	18.78 <sup>ac</sup>	28.74 <sup>d</sup>	1.55	***
PC	4.49 <sup>a</sup>	5.97 <sup>b</sup>	7.23 <sup>c</sup>	4.85 <sup>d</sup>	6.89 <sup>e</sup>	0.11	***
Lignina	1.25	2.01	2.12	1.47	2.54	0.55	NS
PC-FDN (% MS)	4.21	4.26	5.26	4.17	3.94	1.27	NS
PC-FDA (% MS)	1.83	1.63	1.58	0.06	3.00	0.97	NS
Cenizas	16.48 <sup>a</sup>	19.73 <sup>b</sup>	17.77 <sup>c</sup>	16.73 <sup>d</sup>	25.09 <sup>e</sup>	0.11	***
Ca (%)	2.92 <sup>a</sup>	4.78 <sup>b</sup>	2.77 <sup>a</sup>	3.45 <sup>c</sup>	5.26 <sup>d</sup>	0.10	***
P (%)	0.22 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.26 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.01	*
Mg (%)	1.43 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>	1.71 <sup>b</sup>	1.52 <sup>abd</sup>	1.27 <sup>c</sup>	0.05	**
Na (%)	0.05 <sup>a</sup>	0.0 <sup>ab</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.003	**
K (%)	1.87 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>	2.51 <sup>ab</sup>	1.20 <sup>ac</sup>	1.90 <sup>a</sup>	0.25	*
Fe (ppm)	70.14 <sup>a</sup>	62.81 <sup>b</sup>	47.62 <sup>c</sup>	62.52 <sup>b</sup>	43.37 <sup>c</sup>	1.47	***
Mn (ppm)	470.91 <sup>a</sup>	103.13 <sup>b</sup>	131.13 <sup>b</sup>	469.06 <sup>a</sup>	294.58 <sup>c</sup>	11.75	***
Zn (ppm)	16.16 <sup>a</sup>	9.7 <sup>b</sup>	15.16 <sup>a</sup>	18.91 <sup>a</sup>	25.66 <sup>c</sup>	1.24	***
Cu (ppm)	5.09 <sup>a</sup>	4.30 <sup>a</sup>	4.34 <sup>a</sup>	5.01 <sup>a</sup>	8.29 <sup>b</sup>	0.25	***
Mo (ppm)	15.56 <sup>a</sup>	14.88 <sup>b</sup>	14.90 <sup>b</sup>	15.29 <sup>ab</sup>	15.50 <sup>a</sup>	0.15	*
Se (ppb)	86.49 <sup>a</sup>		40.95 <sup>b</sup>	51.54 <sup>c</sup>	107.84 <sup>d</sup>	1.79	***
Co (ppb)	102.97 <sup>a</sup>		42.55 <sup>b</sup>	95.21 <sup>c</sup>	55.02 <sup>d</sup>	2.21	***

<sup>1</sup>Error Estandar de la media<sup>2</sup>NS: No significativo P>0.05, Diferencias: \* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001.

En otro trabajo, de nuestro equipo (43), observamos que la degradación efectiva de la DM fue mayor (P<0.05) con la penca chica y fue similar entre la penca mediana y la grande (Cuadro 8). Por otra parte, se observó que la penca chica presentó un mayor contenido de elementos solubles (a) y que la penca mediana presentaba un mayor contenido de material de baja degradación, sin embargo, la tasa de degradación (c) fue similar (P>0.05). Es importante observar, que al ajustar la degradación a diversas tasas de paso (kp) la degradación efectiva disminuía en forma similar con valores cercanos al 60%, presentando la penca chica una mayor degradación.

La degradación ruminal de la PC (Cuadro 8) presentó resultados similares a la degradación de la MS, el chico presenta una fracción de proteína soluble (a) y potencialmente degradable mayor, siendo similar la degradación potencial de la PC entre la penca mediana y penca grande (P>0.05).

**Cuadro 5. Consumo de agua, Materia Seca y digestibilidad de cladodios en diferentes especies de rumiantes**

Autor	Especie	Nivel de cladodio en el suplemento	Consumo	Digestibilidad
Tegegne et al. 2007 (44)	Borregos	0, 242, 422, 503, 508 MS/día	El consumo de agua por medio de cactus incrementó (0 a 3716 ml/d). El consumo de agua fresco fué de 1226 con 0 cactus a 3733 ml/d con 508 g de MS de cactus. Cactus incrementaron el consume de MS.	0 a 500 g MS de cactus no tuvo efectos en la digestibilidad de la MS, MO y PC. Pero se afectó la digestibilidad de FDN sin afectar el balance de nitrógeno.
Vieira et al. 2008 (45)	Cabras	765 a 373 g de MS de Cactus/d	Reduce MS, MO, pero incrementa el consume de carbohidratos no fibrosos. Incremento en el consumo de agua.	No tiene efecto en la digestibilidad del Nitrógeno, pero reduce los derivados de purinas excretados, (reducción en la síntesis de proteína microbiana)
Tosto et al. 2008 (46)	Cabras	37% de <i>Opuntias</i> de bagazo de uva y diferentes niveles de urea 0-15%	Se incrementa el consumo con mas urea y no present un efecto en el consumo	No se afectó la digestibilidad de MS, MO, pero fue muy pobre (40 to 45%), el uso de urea incrementó la digestibilidad de la PC y de los carbohidratos no fibrosos
Costa et al. 2009 (47)	Cabras	Harina de maíz se reemplazó por Cactus (0 a 28%)	El consumo de Cactus no tuvo efecto en la producción de leche, pero incrementó el consumo d emateria seca. Redujo el consumo de agua, pero se increment el consume de agua (Agua en el alimento + cactus)	

**Cuadro 6. Efecto del tamaño de cladodios de *Opuntia ficus-indica* Var. COPENA en la digestibilidad *In Vivo* en machos caprinos (48).**

	Control <sup>1</sup>	Cladodeos <sup>2</sup> Pequeños	Cladodeos <sup>3</sup> Grandes	EE (±) <sup>4</sup>	Sig. <sup>5</sup>
MSd <sup>6</sup>	57.20	59.26	61.77	1.20	NS
MOd	63.23 <sup>a</sup>	64.32 <sup>a</sup>	67.67 <sup>b</sup>	1.20	***
PCd	56.67 <sup>a</sup>	49.28 <sup>b</sup>	57.51 <sup>a</sup>	1.99	*
FDNd	45.27	44.65	47.89	1.68	NS
FDAd	43.22	41.62	45.24	1.94	NS

<sup>1</sup>Dieta Control: 88.97 MS, 7.56 PC; 53% FDN; <sup>2,3</sup> Dietas con 20% de Cladodeos pequeños o grandes y 80% dieta control, dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas, <sup>4</sup>EE±: Error Error. <sup>5</sup>Sig: NS: P>0.05; \* P<0.05; \*\*\* P<0.001; <sup>6</sup>Digestibilidad de MS, Materia Orgánica, Proteína Cruda, Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.

**Cuadro 8. Parámetros de cinética de la degradación de la MS de penca de nopal con diferentes tamaños o madurez.**

Tamaño de penca	a	b	c	Deg. Potencial <sup>1</sup>			Deg. Efectiva <sup>2</sup>			R <sup>2</sup>	EM
				A+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08				
Penca chica	42.16 <sup>a</sup>	55.27 <sup>a</sup>	0.027 <sup>a</sup>	97.43 <sup>a</sup>	64.43 <sup>a</sup>	59.31 <sup>a</sup>	56.10 <sup>a</sup>	79.8	6.55		
Penca mediana	35.1 <sup>b</sup>	64.7 <sup>b</sup>	0.019 <sup>a</sup>	99.8 <sup>a</sup>	55.93 <sup>b</sup>	50.66 <sup>b</sup>	47.51 <sup>b</sup>	89.23	4.15		
Penca grande	35.16 <sup>b</sup>	53.02 <sup>a</sup>	0.033 <sup>a</sup>	88.18 <sup>b</sup>	59.12 <sup>b</sup>	53.97 <sup>b</sup>	50.64 <sup>b</sup>	72.06	6.48		
Significancia	**	**	NS	***	***	**	**				

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. <sup>1</sup>Deg. Potencial= a + b; <sup>2</sup>Deg. Efectiva= a + b ( c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.06/h). NS: No significativa.

Sin embargo, en este caso, al ajustar la degradación a diferentes tasas de paso (kp: 0.04, 0.06, 0.08), la degradación efectiva de la PC de la penca chica, es probable que la degradación de la PC se reduzca de esta forma por ser importante el contenido de PC unido a la FDN.

La degradación ruminal potencial de la FDN de la penca (Cuadro 9), fue diferente de acuerdo a su tamaño (P<0.01), la mayor degradación potencial se observa en la penca de menor tamaño, sin embargo, es el que menor fracción soluble (a) presenta, es interesante observar que la tasa de degradación fue elevada en todos los casos, la degradabilidad efectiva de la FDN de la penca grande fue mayor (P<0.01).

La degradabilidad *in vitro* de la MS (Cuadro 10) de los cactus silvestres evaluados, fue similar en todos los casos, y los valores de degradación efectiva (*In vitro*) de la DM fueron similares a los obtenidos con *O. ficus-indica* (45 a 49 %), y en todos los casos, la tasa de degradación fue elevada (0.21 a 0.67), teniendo como consecuencia una degradación potencial similar a la degradación efectiva, siendo en los dos casos similar, y cercana al 50 %.

**Cuadro 9. Parámetros de cinética de la degradación de la PC de penca de nopal con diferentes tamaños o madurez.**

PC	A	b	c	Deg. Potencial <sup>1</sup>			Deg. Efectiva <sup>2</sup>			R <sup>2</sup>	EEM (±)
				a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08				
Nopal chico	20.89 <sup>a</sup>	85.03 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	105.92 <sup>a</sup>	49.23 <sup>a</sup>	42.14 <sup>a</sup>	37.89 <sup>a</sup>	82.6	11.86		
Nopal mediano	12.96 <sup>b</sup>	51.61 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>	64.57 <sup>b</sup>	58.31 <sup>b</sup>	55.72 <sup>b</sup>	53.41 <sup>b</sup>	72.7	15.93		
Nopal grande	11.12 <sup>b</sup>	54.45 <sup>c</sup>	0.21 <sup>c</sup>	65.57 <sup>b</sup>	56.85 <sup>b</sup>	53.47 <sup>b</sup>	50.54 <sup>b</sup>	73.8	11.03		
Significancia	**	***	***	**	**	**	**				

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. <sup>1</sup>Deg. Potencial= a + b; <sup>2</sup> Deg. Efectiva= a + b ( c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.06/h).

En el Cuadro 12 se observa el efecto de la suplementación con *Opuntias* en el consumo de agua de bebida y el consumo total que considera el agua de bebida y el agua contenida en el alimento, así como la producción e orina, los resultados indicaron que la suplementación con *Opuntias* reduce el consumo de agua de bebida, al incrementar el consumo de agua total, por el elevado contenido de agua en esta cactácea, por otra parte, se incrementa la producción de orina en forma significativa, esta información coincide con la que presenta Costa *et al.* (2009) (50), en donde los animales llegaron

a reducir su consumo de agua de bebida en forma importante, por lo que esta cactácea puede ser considerada como una fuente de agua, en especial en regiones en que la escasez de este líquido es importante.

**Cuadro 10. Parámetros de cinética de la degradación de la FDN de penca de nopal con diferentes tamaños o madurez.**

FDN	A	B	c	Deg.	Deg. Efectiva <sup>2</sup>			R <sup>2</sup>	EEM
				Potencial <sup>1</sup>	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Nopal chico	9,18 <sup>a</sup>	62,84 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	72,02 <sup>a</sup>	55,26 <sup>a</sup>	49,84 <sup>a</sup>	45,56 <sup>a</sup>	75.7	12.76
Nopal mediano	27,06 <sup>b</sup>	31,01 <sup>b</sup>	0,228 <sup>b</sup>	58,07 <sup>b</sup>	53,44 <sup>a</sup>	51,60 <sup>a</sup>	50,01 <sup>a</sup>	73.16	7.7
Nopal grande	32,32 <sup>c</sup>	63,2 <sup>c</sup>	0,053 <sup>c</sup>	95,52 <sup>c</sup>	68,33 <sup>b</sup>	61,96 <sup>b</sup>	57,50 <sup>b</sup>	70.12	10.26
Significancia	***	***	***	***	**	**	**		

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. <sup>1</sup>Deg. Potencial= a + b. <sup>2</sup>Deg. Efectiva= a + b ( c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.06/h).

**Cuadro 11. Cinética de degradación de la MS de diferentes variedades de nopales silvestres y de *Opuntias ficus-indica* (49).**

Tamaño de penca	a	B	c	a+b	Kp=0.04	Kp =0.06	Kp =0.08	R <sup>2</sup>	EE
P. grande	34.32	19.91	0.21	54.23	51.1	49.9	48.8	84.86	2.35
P. chica	31.93	15.26	0.36	47.19	45.6	45.0	44.4	85.41	1.97
O. m	32.98	18.60	0.34	51.58	51.1	49.9	48.8	85.83	2.3
O. h	30.54	13.84	0.67	44.38	43.66	43.24	42.9	32.29	5.83

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. <sup>1</sup>Deg. Potencial= a + b; <sup>2</sup>Deg. Efectiva= a + b ( c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.06/h).

En el Cuadro 13 se puede observar el efecto del consumo de *Opuntias* en el balance de nitrógeno, en donde no presentó ningún efecto en el nitrógeno excretado en heces y orina, pero si en lo consumido al tener un reducido contenido de proteína, lo cual se reflejó en una breve reducción en el balance de nitrógeno.

Por otra parte, existe poca información sobre el efecto de la estación del año en la composición, degradabilidad, contenido de energía de *Opuntias* y en la excreción de derivados purínicos, en ese sentido Abidi *et al.* (2009) (51) (Cuadro 14) Observó que la composición de estas cactáceas se modificaba, presentando mayor contenido de MS, Mucilago, y minerales en el verano. Pero menor contenido de PC, Materia Orgánica, y FDA, sin modificación en el contenido de compuestos fenólicos, Oxalatos y saponinas, las cactáceas utilizadas presentaron un contenido energético de 0.13 MJ/kg de MS y una excreción de bases purínicas de de 4.6 y 6(μmol g<sup>-1</sup> of DM), así como un potencial de fermentación expresado como producción de gas de 130 a 140 (ml/0.5 gde OM) con una tasa de degradación de 0.03 /h.

**Cuadro 12. Efecto de la suplementación con cladodios de *Opuntia ficus-indica* Var. COPENA en el consumo de agua y alimento y producción de orina, en cabras Nubias (52).**

	Control	Pch	Pgr	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
Consumo de agua fresca (ml) día <sup>-1</sup>	1907.2a	1644.3a	1420.7b	107.5	***
Consumo de H <sub>2</sub> O <sup>1</sup> total (ml día <sup>-1</sup> )	2030.19a	2946.31b	2696.68c	107.5	***
Orina ml día <sup>-1</sup>	743.07a	1161.64b	1228.03b	56.1	***
Consumo de agua fresca (ml)/kg PV <sup>0./b</sup>	113.48a	97.41a	80.44b	6.2	**
Consumo de H <sub>2</sub> O total (ml/kg de PV <sup>0./b</sup> )	120.66a	174.24b	152.57c	6.5	***
Orina ml/kg de PV <sup>0./b</sup>	44.34a	71.87b	69.71c	3.8	***

<sup>1</sup>Es el consume de agua de bebida y consume de alimento.**Cuadro 13. Efecto del consume de *Opuntia ficus-indica* Var. COPENA en el balance de Nitrógeno (53).**

	Control	Pch	Pgr.	EE± <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
N consumido	12.73 <sup>a</sup>	11.40 <sup>b</sup>	12.10 <sup>c</sup>	0.1	***
N en Heces	4.81	5.72	4.98	0.3	NS
N en orina	3.13	3.23	3.34	0.2	NS
Balance de nitrógeno	4.78 <sup>a</sup>	2.44 <sup>b</sup>	3.77 <sup>a</sup>	0.3	***
N consumido (g kg <sup>-1</sup> de pv <sup>0./b</sup> por día).	0.74 <sup>a</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.68 <sup>c</sup>	0.06	***
N en orina (g kg <sup>-1</sup> de pv <sup>0./b</sup> por día).	0.18	0.19	0.190	0.008	NS

**Cuadro 14. Efecto de la estación del año en la composición química de *Opuntia ficus-indica* (F-I) y *Opuntia amyoclea* (OA) (54).**

	F-I Invierno	F-I Verano	OA Invierno	OA Verano
Materia seca (g kg <sup>-1</sup> )	66	191	67	157
Materia Orgánica (g kg <sup>-1</sup> DM)	856	697	742	740
Mucilago (g kg <sup>-1</sup> peso fresco)	6.00	13.00	6.40	14.0
Fibra detergente neutra (NDF)	248	270	253	246
Ca (g kg <sup>-1</sup> DM)	78.0	92.0	84.0	84.0
P (g kg <sup>-1</sup> DM)	1.1	0.4	0.8	0.5
Oxalatos totales	105	102	110	118
Saponinas <sup>a</sup>	2.2	5.1	5.3	5.7
Fenoles extractables totales <sup>b</sup>	28.1	29.1	29.7	34.5
Energía Bruta (MJ/kg MS)	0.13	0.12	0.13	0.11
Bases puricas (µmol/g)	6.00	4.66	11.01	5.85

<sup>a</sup>Expresado como equivalente de diosgenina; <sup>b</sup>Expresado como equivalentes de ácido tánico.

### Conclusiones e implicaciones

El semidesierto es una región que comprende 49 millones de km<sup>2</sup> en el mundo, manteniendo a aproximadamente 1.2 billones de personas, se caracteriza por una precipitación pluvial inferior a los 500mm anuales, siendo errática y distribuida en 4 meses del año, la producción de forraje depende de la precipitación, lo que limita la disponibilidad de alimento y subsistencia del ganado, la cabra es uno

de los pocos animales que puede sobrevivir en condiciones extremas, en regiones en donde la disponibilidad de agua es reducida, y la vegetación predominante es principalmente de Cactáceas y arbustivas, en esos términos debido a sus hábitos y comportamiento alimenticio, ha sobrevivido en estas regiones, la cabra es un animal forrajero oportunista, siendo el ramoneo una parte importante de esta actividad forrajera. Sin embargo, es un animal poliestrónica estacional, presentando su estación reproductiva (para el caso de las cabras del continente americano) en la época de mayor producción forrajera, pero los partos y la producción de leche en el momento en que la producción forrajera es reducida, por lo tanto, se presenta una importante pérdida de producción y elevada mortalidad de crías. Considerándose como una posible solución, la búsqueda de alternativas de suplementación en momentos estratégicos de su ciclo productivo, estos suplementos deben de presentar diversas características, siendo las principales: La existencia en la región semiárida, y por lo tanto, que sean forrajes con un bajo requerimiento de agua, o que puedan producirse en la región, por otra parte, que puedan proporcionar un aporte de nutrientes adecuado en cantidad y calidad, que no sean tóxicos y que su consumo no afecte el desarrollo y producción del animal. La posibilidad de que presenten otros usos económicos puede ser importante, como usos en la construcción, aporte de nutrientes al suelo, enriquecimiento de la tierra y mejoramiento en su fertilidad, evitar pérdidas de agua, evitar la erosión, y en algunos casos, que lo que se produce pueda aportar alimento al productor o permitir otros ingresos por su venta. En ese sentido, se propone al Nopal (*Opuntia spp*), el cual presenta un bajo requerimiento de agua y excelente adaptación en las regiones semiáridas, las *Opuntias* (Nopal) son tradicionalmente consumidos por la población Mexicana, siendo en este caso los pequeños (nopalitos) los de mayor consumo, existiendo por lo general, un desperdicio importante en la plantación, por lo que los excedentes se pueden proporcionar como alimentación para los animales. Por lo que se evaluó y caracterizó a cladodios de *Opuntia ficus-indica* de diferentes tamaños, así como se caracterizó a diversas especies silvestres de *Opuntias* que no son usadas para consumo humano. En cuanto a su composición, los resultados obtenidos indicaron un elevado contenido de agua y minerales, un bajo contenido de proteína, pero un posible aporte importante elementos energéticos (carbohidratos del mucilago), el tamaño o madurez del cladodio no modificó sus características, por otra parte, la degradación y digestibilidad de la MO indicaron un aporte de energía superior a 2.8 Mcal de ED/Kg de MS, algunos trabajos han indicado que puede proporcionarse como suplemento en sustitución de maíz, en niveles de hasta de 3 kg de *Opuntia* fresca por caprino, lo cual reduce el consumo de agua de bebida en forma importante, por otra parte, su uso permite un incremento en la digestibilidad de la MS, MO y PC, el balance de nitrógeno no se ve afectado, por otra parte se observa una degradación rápida y superior al 50 % en el rumen. En resumen, el nopal puede ser una buena alternativa de suplementación para caprinos del semidesierto, al cumplir características de producción en regiones semiáridas, y características nutricionales adecuadas para apoyar la alimentación de los caprinos en esas regiones, permitiendo una mayor producción y reducción en las pérdidas en la época de sequía.

### Reconocimientos y agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al financiamiento del SEP-PROMEPE con el proyecto PROMEP/103/07/2518, y al apoyo de los Drs. Héctor Vera Ávila, Héctor Jiménez Severiano y Ricardo Basurto del CENID-Fisiología INIFAP.

### Referencias

1. Mainguet M. 1999. Aridity. Droughts and human development. Edit. Springer. New York. Pp 295.
2. Wickens G.E. 1998. Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands. Edit. Springer. New York. Pp: 335.
3. Echavarría Ch. F.G., Gutiérrez L. R., Ledesma R. R., Bañuelos V. R., Aguilar S. J., Serna P. A. 2006. Influence of small ruminant grazing systems in a semiarid range in the state of Zacatecas México. I Native vegetation. Tec. Pecu. Mex. 44(2) 203-217.
4. Malpoux, B. 2005. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA-FMVZ: UAS. Culiacán Sin. 99-131.
5. FIRA. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México. FIRA. Banco de México. Núm. 313 (Vol XXXII). 15-62.
6. Reynolds, G.S., Arias. E. 2001. Background on *Opuntia*. In: Cactus (*Opuntia* spp) as forage. Edit Candelario Mondragón-J and Pérez-González S. FAO. Plant production and Protection Paper (169).
7. *Ibidem*.
8. Ben Salem, H and Smith. T. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. Small Rumin. Res. 77 : 174-194.
9. *Ibidem*.
10. Costa, G,R; Beltr Filho ME; Nunes de Medeiros, A; Naves Giviez; Egypto Queiroga, R.R., Melo S. A.A. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats its contribution as a source of water. Small. Rum. Res. 82: 62-65.
11. Cordova-Torres A; Gutierrez-Berroeta L; Kawas R-J; Garcia-Gasca T; Aguilera-Barreiro A; Malda G; Andrade-Montemayor. 2009. El Nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas: Efecto Del tamaño o madurez de La penca em La digestibilidad *in vivo* y composición. VI Congreso Latinoamericano de la Asociación de especialistas en pequeños rumiantes y camelidos sudamericanos. XXIV Reunión de la AMPCA. Querétaro, México. Pp: 143-151.
12. Ben Salem and Smith. *Op. cit.*
13. Costa *et al.* *Op. Cit.*
14. Nefzaoui, A; Ben Salem, H. 2001. *Opuntia* forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región wana. In Edit Candelario Mondragón-Jacobo and Pérez-González Salvador. FAO. Plant production and Protection Paper (169).