



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia



**EFFECTO DEL TAMAÑO DEL CORTE (EDAD) DE LA PENCA DE NOPAL
(*Opuntia ficus indica*) SOBRE LA DEGRADABILIDAD *IN SITU* Y
CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA MATERIA SECA, PROTEÍNA
CRUDA, FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y FIBRA DETERGENTE ÁCIDA.
PRUEBA EN CAPRINOS**

TESIS INDIVIDUAL

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

VILLEGAS DÍAZ JOSÉ LUIS ORLANDO

ASESORADO POR:

DR. HÉCTOR MARIO ANDRADE MONTEMAYOR

Querétaro, Qro, del 2010



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Medicina Veterinaria y
Zootecnia



EFFECTO DEL TAMAÑO DE CORTE DE LA PENCA DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS INDICA*) SOBRE LA DEGRADABILIDAD *IN SITU* Y CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA MATERIA SECA, PROTEÍNA CRUDA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y FIBRA DETERGENTE ÁCIDA. PRUEBA EN CAPRINOS

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de Médico Veterinario Zootécnista

Presenta:

VILLEGAS DIAZ JOSE LUIS ORLANDO

ASESORES

FIRMA

Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor

ASESOR INTERNO

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila

ASESOR EXTERNO

M en C Araceli Aguilera Barreyro
REVISORA

Dra Guadalupe Malda Barrera
REVISORA

Dra María Guadalupe Bernal Santos
REVISORA

RESUMEN

En México, gran parte de su territorio se encuentra constituido por regiones donde la precipitación pluvial es escasa, por eso, uno de las principales limitantes en el desarrollo de la caprinocultura en las regiones semiáridas, es la limitada y estacional producción de alimentos, lo que conlleva a la reducida capacidad productiva y reproductiva de estos animales en condiciones de climas extremos.

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, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/ha (Materia Seca/hectárea) (Mishra et al., 2006), su elevado contenido de agua (90% o mas), puede ser una fuente de aporte de este liquido en regiones con escasez (Ramírez et al., 2000; Mondragón et al., 2003), por otra parte, 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 (Mondragón et al., 2003). Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento degradativo en caprinos, a demás que no se ha generado información sobre el efecto que presenta el tamaño de la penca del nopal en la degradabilidad y capacidad de utilización ruminal en caprinos, ni tampoco el efecto que puede presentar la subalimentación en la capacidad de la utilización de esta planta. Esto aspectos son importante ya que en México el consumo de pencas jóvenes para consumo humano de *Opuntia ficus indica* es muy alto, mientras que existe un desperdicio elevado de pencas medianas y grandes que pueden ser utilizados como alimento para animales.

El objetivo de este estudio fue el analizar el efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*), sobre la composición, degradación y cinética de degradación (*in situ*) de la Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA), así como el efecto

que tiene el nivel de consumo de alimento de cabras fistuladas sometidas a prueba *in situ* en la degradación del nopal.

Se utilizaron 6 cabras hembras encastadas de Nubio, fistuladas y canuladas del rumen, con un peso de 37.6 ± 3.4 Kilogramos (Kg.) y dos niveles de consumo, uno alto (CA) (58 gr MS/ Kg. $PV^{0.75}$ /día) y un consumo bajo (CB) (42 gr. MS/ Kg. $PV^{0.75}$ /día).

La cánula fue hecha en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-Fisiología animal (INIFAP) con *poliplas*, teniendo como base una lámina de acero inoxidable de forma circular y con el centro hueco, con un grosor de 1.5 mm. El tapón es una porción de tubo de plástico flexible con un tornillo en su interior dos rondanas y una tuerca para ajustar la presión.

Se adaptaron los animales a una ración y se estabilizó el consumo durante 8 semanas. La alimentación consistió en una ración con 15% de PC y 87% de MS, ofreciéndose de forma restringida de acuerdo al consumo.

Las pencas de nopal fueron clasificadas de acuerdo a su tamaño, determinándose mediante la multiplicación de sus medidas de largo y ancho, siendo: penca chica (Pch) (170.7 ± 48.2 cm²), penca mediana (Pm) (548.1 ± 105 cm²) y penca grande (Pg) (809.1 ± 48.2 cm²).

Las pencas fueron medidas, picadas y secadas a 60° C por 96 hrs. y posteriormente molidas en un molino Willey con criba de 2mm. Se colocaron en un desecador, donde permanecieron durante 24 hrs. Una vez secas y molidas, se pesaron 3 gramos de muestra que fueron introducidos en bolsas de nylon de 10 x 5 cm con un poro de 50 micrones (μ) (Ankom technology™) (30 mg/cm²)

previamente pesadas y numeradas. Se utilizaron 2 bolsas con muestra y un control (Blanco) por tiempo (0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72) y animal en dos corridas (2 animales por corrida y tratamiento en 2 periodos).

Se determinó el contenido de MS, Materia Orgánica (MO), PC y cenizas de acuerdo a AOAC(1984), las fracciones de fibra de acuerdo a Van Soest et al (1991), y PC unido a FDN y FDA (PC-FDN y PC-FDA) de acuerdo a Licitra *et al.* (1996). La metodología para la estimación de la degradación *in situ* fue de acuerdo a Meherz y Ørskov (1977).

El experimento tuvo un arreglo factorial utilizando un diseño estadístico al azar 3 X 2 (Steel y Terrie, 1986), siendo los factores; el nivel de consumo (2 niveles) y el tamaño de la penca (3 tamaños). En cuanto a la cinética de degradación se utilizó el modelo no lineal descrito por Ørskov y McDonald (1979) $a+b(1-e^{-c*t})$, estimando el contenido de la fracción soluble (a), la fracción potencialmente degradable (b) y la tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t), a partir de estos parámetros se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva ($a+b[c/c+kp]$) considerando tres tasas fraccionales de paso (kp) de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h (Sauvant et al., 2003).

Los resultados obtenidos fueron: El contenido de MS, FDN, FDA, Hemicelulosa, PC-FDA y cenizas fue menor en la Pch ($P<0.05$), en contraste con la Pm y Pg las cuales no presentaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) en estos componentes. El contenido de PC de la Pch fue mayor ($P<0.05$) que la que contiene la Pm y Pg.

El contenido de elementos de rápida degradación de la materia seca (MS) en el tiempo 0 fue de 28.8, 29.9 y 27.7% en la Pch, Pm y Pg respectivamente, obteniéndose una degradación a las 72 horas de incubación de 88.0, 86.8 y 81.7% en la Pch, Pm y Pg.

La degradación inicial en el tiempo 0 de la proteína cruda (PC) de las pencas de diferentes tamaños es de 23.6, 16.4 y 17.0% en la Pch, Pm y Pg respectivamente, con un incremento ($P < 0.05$) de la hora 0 a la 3 al 43.9, 54.8 y 52.0%, posteriormente la degradación se detiene alrededor de las 24 hrs, sin encontrar diferencias ($P > 0.05$), a partir de las 24 hrs. se reinicia la degradación hasta llegar a valores de 88.8, 98.8 y 97.9 a las 72 hrs. de incubación en la Pch, Pm y Pg respectivamente

La degradación de la FDN de las pencas estudiadas, en el tiempo 0 comienzan con 19.46, 27.19 y 37.48% de degradación de elementos de rápida degradación en la Pch, Pm y Pg, sin presentar diferencias ($P > 0.05$) y terminado a las 72 hrs con 79.21, 70.86 y 76,92% de degradación en la Pch, Pm y Pg respectivamente.

La degradación de la FDA en el tiempo 0 es de 23.34, 31.34 y 41.43% en la Pch, Pm y Pg respectivamente, sin encontrar diferencias ($P > 0.05$) de la hora 0 a la 1 (40 a 50%), por lo tanto en la primera hora de incubación el 50% de la FDA se ha degradado, y termina en 88, 98 y 97% en la Pch, Pm y Pg respectivamente a las 72 horas de incubación,

En cuanto a la cinética de degradación de la MS la Pch presenta una mayor fracción soluble que la Pm y Pg ($P < 0.05$), una fracción potencialmente degradable mayor ($P < 0.05$) y una degradabilidad efectiva mayor a diferentes tasas de paso.

En cuanto a la cinética de degradación de la PC, la Pch presentó una fracción de rápida degradación (a) mayor ($P < 0.05$) que la Pm y Pg. Sin embargo la degradación potencial es mayor en la Pch que en la Pm y Pg. Pero al aplicar las diferentes tasas de paso, la degradación efectiva de la Pch es menor que la de la Pm y Pg, al ser afectada por su velocidad de degradación (2%/hr.),

En la cinética de degradación de la FDN los resultados indican que los tres tamaños de penca en su fracción *a* y *b* son diferentes ($P < 0.05$), siendo mayor ($P < 0.05$) en la Pg, seguida de la Pm y por último la Pch. Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (*c*) fue menor ($P < 0.05$) en la Pg (0.053/h), seguida de la Pch ($P < 0.05$) y por último la Pm. El resultado fue una degradación potencial mayor ($P < 0.05$) en la Pg (95%), seguida de la Pch (72%) y por último la Pm 58. Al aplicar una tasa fraccional de paso (*Kp*) de 0.04/h 0.06/h, y 0.08/h, la Pg presenta una degradación mayor ($P < 0.05$) que la Pch y Pm ($P > 0.05$). Esto se debe a que presenta una fracción (*a* y *b*) superior que la Pch y Pm.

La cinética de degradación de la FDA en la penca de nopal con diferentes tamaños, los resultados indicaron que la Pch y Pm presenta una fracción soluble (*a* y *b*) similar ($P > 0.05$), pero en la Pch la fracción *a* y *b* fue mayor que ($P < 0.05$) en la Pg, pero igual ($P > 0.05$) entre Pm y Pg. Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (*c*) fue similar ($P > 0.05$) entre los tres tamaños de penca. El resultado a esto fue una similar ($P > 0.05$) degradación potencial de las Pch y Pm, y menor ($P < 0.05$) en la Pg, lo cual al ajustarse a una tasa fraccional de paso de 0.04/h 0.06/h y 0.08/h, resultó en la mayor ($P > 0.05$), degradabilidad efectiva de la Pch, seguida de la Pg y por último la Pm.

El nivel de consumo no afectó ($P > 0.05$) la degradación de la MS, PC, FDN y FDA de los diferentes tamaños de penca. Comportándose de manera muy similar en su degradación y cinética de degradación de las pencas de diferentes tamaños.

En conclusión dados los resultados obtenidos en el estudio, las pencas de menor tamaño con un menor contenido de FND y FAD y mayor contenido de PC son consideradas una buena opción de suplementación para caprinos en el semidesierto, debido a la mayor degradabilidad ruminal.

Palabras clave: Degradabilidad, cinética de degradación, nopal, niveles de consumo.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por todo su apoyo incondicional, por su sacrificio, trabajo y por darme todo cuanto tienen.

A usted Dr. Héctor Mario Andrade, por su larga paciencia, por su apoyo, por compartir todos sus conocimientos y por brindarme su amistad.

A mi asesor externo Héctor Raymundo Vera Ávila, por su apoyo incondicional y por brindarme su amistad.

A mis revisoras, M en C Araceli Aguilera Barreyro, Dra. María Guadalupe Malda Barrera y Dra María Guadalupe Bernal Santos.

A mis amigos que me han apoyado durante toda mi carrera, que me han brindado toda su amistad, comprensión, tiempo y que siempre están cerca cuando más los necesito.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

**Al Fondo Sectorial CONACYT-SAGARPA, con Clave del proyecto:
SAGARPA-2004-C01-121.**

Desarrollo de esquemas de suplementación nutricional basados en el uso de cromo y agentes gluconeogénicos para mejorar la eficiencia reproductiva en cabras.

Al fondo PROMEP/103.5/07/2518 para el proyecto de esta tesis

ÍNDICE

	Págs.
Resumen	II
Agradecimientos	VIII
Agradecimientos especiales	X
Índice	XI
Índice de cuadros	XVII
Índice de graficas	XX
Índice de figuras e imágenes	XXII
I. Introducción	1
II. Objetivo, Justificación e Hipótesis	4
II.1. OBJETIVO	5
II.2. JUSTIFICACIÓN	5
II.3. HIPÓTESIS	6
III. Revisión Bibliográfica	7
III.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CABRA	8
III.1.1 La cabra	8
III.1.2 Características reproductivas y productivas de la cabra	9
III.1.3 Situación mundial de la caprinocultura	10
III.1.4 Situación de la caprinocultura en México	12
III.1.5 Situación de la caprinocultura en Querétaro	14
	XII

	Págs.
III.2 ZONAS SEMIÁRIDAS EN MÉXICO	16
III.2.1. Ganadería en las zonas semiáridas	16
III.2.2 Sistemas de producción en México	17
III.3 EL NOPAL (<i>Opuntia spp</i>)	19
III.3.1 El <i>Opuntia Ficus Indica</i>	20
III.3.2 El uso del nopal como forraje en nuestro país	21
III.3.3 El consumo por los animales	22
III.3.4 El <i>Opuntia Ficus Indica</i> y sus ventajas como pastura	23
III.3.5 El <i>Opuntia Ficus Indica</i> y su aplicación contra la erosión	23
III.3.6 Fisiología del <i>Opuntia Ficus Indica</i>	24
III.4 CONCEPTO DE DEGRADABILIDAD	25
III.4.1 Cinética de la degradación ruminal	27
<i>IV. Material y Métodos</i>	29
IV.1 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	30
IV.2. PLANTA UTILIZADA	30
IV.2.1 Estimación del tamaño de la penca	31
IV.2.2 Preparación de los animales a diferentes de consumo.	31
IV.2.3 Preparación de la penca para pruebas <i>In Situ</i>	31
	XIII

	Págs.
IV.3. PREPARACIÓN DE LOS ANIMALES Y ADAPTACIÓN A RACIÓN Y NIVEL DE CONSUMO	32
IV.4 PRUEBA <i>IN-SITU</i>	34
IV.5 ANÁLISIS EN EL LABORATORIO	34
IV.5.1 Análisis de alimentos	35
IV.5.2 Análisis de los minerales	35
IV.6 METODOLOGÍA PARA DEGRADABILIDAD	35
IV.7 CALCULOS ESTIMACIONES Y ANALISIS ESTADISTICO	36
IV.7.2 Diseño Estadístico	36
<i>V. Resultados y Discusión</i>	38
V.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PENCA DE NOPAL (<i>Opuntia ficus indica</i>) DE ACUERDO A SU TAMAÑO	39
V.2 CONTENIDO MINERAL EN EL <i>Opuntia ficus indica</i>	41
V.3. EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PENCA DE NOPAL SOBRE LA DEGRADABILIDAD	44
V. 3.1 Degradabilidad de la Materia Seca de las pencas de diferentes tamaños	44
V. 3. 2 Degradabilidad de la Proteína Cruda de las pencas de diferentes tamaños	46
	XIV

	Págs.
V. 4 EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PENCA DE NOPAL SOBRE LA CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN	51
V. 3. 3 Degradabilidad de la Fibra Detergente Neutro de las pencas de diferentes tamaños	47
V. 3. 4 Degradabilidad de la Fibra Detergente Ácida de las pencas de diferentes tamaños	49
V. 4.1 Cinética de degradación de la Materia Seca de las pencas de diferentes tamaños	51
V. 4. 2 Cinética de degradación de la Proteína Cruda de las pencas de diferentes tamaños	53
V. 4. 3 Cinética de degradación de la Fibra Detergente Neutro de las pencas de diferentes tamaños	55
V. 4. 4 Cinética de degradación de la Fibra Detergente Ácida de las pencas de diferentes tamaños	57
V. 5 EFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO EN LA DEGRADACIÓN	59
V. 6 EFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO EN LA CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA PENCA DE NOPAL CON DIFERENTES TAMAÑOS	61
<i>VI. Conclusiones</i>	64
<i>VII. Bibliografía</i>	66
	XV

	Págs.
VIII. Anexos	78
VIII.1. Abreviaturas	79
VIII.2. Publicaciones producto de la tesis	81

XVI

ÍNDICE DE CUADROS

	Págs.
CUADRO 1. Clasificación taxonómica de la cabra	8
CUADRO 2. Inventario caprino por estado de la República Mexicana	13
CUADRO 3. Población de caprinos por Municipio en el estado de Querétaro	14
CUADRO 4. Tipo de producción y principales estados productores	18
CUADRO 5. Ración de adaptación	33
CUADRO 6. Composición nutricional de la dieta	34
CUADRO 7. Composición bromatológica porcentual de la penca del nopal con diferentes tamaños (relación con madurez)	39
CUADRO 8. Composición química de la <i>Opuntia ficus-indica</i> observada por diferentes autores	41
CUADRO 9. Concentración de macro y micro minerales en los diferentes tamaños de penca de nopal	42
CUADRO 10. Requerimientos de minerales para cabras	43
CUADRO 11. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>) en la degradación porcentual de la MS.	45
CUADRO 12. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (<i>Opuntia Ficus indica</i>) en la degradación de PC en el tiempo	46
	XVIII

	Págs.
CUADRO 13. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>) en la degradación de FDN en el tiempo	48
CUADRO 14. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>) en la degradación porcentual de la FDA	50
CUADRO 15. Parámetros de cinética de la degradación de la MS de penca de nopal con diferentes tamaños	52
CUADRO 16. Parámetros de cinética de la degradación de la PC de penca de nopal con diferentes tamaños	54
CUADRO 17. Parámetros de cinética de la degradación de la FDN de penca de nopal con diferentes tamaños	55
CUADRO 18. Parámetros de cinética de la degradación de la FDA de penca de nopal con diferentes tamaños	57
CUADRO 19. Efecto del nivel consumo de los diferentes tamaños de penca de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>) en cabras fistuladas en la degradabilidad <i>in situ</i> de la MS, PC, FDN Y FDA	58
CUADRO 20. Parámetros de cinética de la degradación de la MS, PC, FDN Y FDA de la penca de nopal con diferentes niveles de consumo	61
	XIX

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Págs.
GRAFICA 1. Población de caprinos en países desarrollados y en países en vías de desarrollo	10
GRAFICA 2. Producción mundial de leche de cabra (en % total, promedio 2002-2004)	11
GRAFICA 3: Distribución porcentual de la población animal por especie en el estado de Querétaro.	15
GRAFICA 4. Degradación de la MS del nopal por tamaño de penca	45
GRAFICA 5. Degradación de la PC del nopal por tamaño de penca	47
GRÁFICA 6. Degradación de la FDN del nopal por tamaño de penca	49
GRÁFICA 7. Degradación de la FDA del nopal por tamaño de penca	50
GRÁFICA 8. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la cinética de degradación de la MS en el tiempo	52
GRÁFICA 9. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la cinética de degradación de la PC en el tiempo	54
GRÁFICA 10. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la degradación de la FDN en el tiempo	56
GRÁFICA 11. Efecto del tamaño de la penca de Nopal en la degradación de la FDA en cuanto al tiempo	58
GRÁFICA 12. Efecto del consumo en la degradación; A) MS; B) PC; C) FDN; D) FDA, de la penca de nopal en el tiempo	62
	XXI

ÍNDICE DE FIGURAS E IMÁGENES

	Págs.
FIGURA 1. Dibujo esquemático de una de las cánulas utilizadas en las pruebas In situ. A, tapón de la cánula con todos sus componentes. B, cánula de poliplas. C, rondana revestida de poliplas. D, abrazadera.	33
IMAGEN 1. Diferente tamaños de pencas utilizadas en el experimento	30
	XXII

I. INTRODUCCIÓN

La cabra es un rumiante pequeño que se encuentra en todo el mundo, con una gran capacidad de adaptación a las zonas áridas y semiáridas debido a su habilidad para utilizar forrajes toscos de baja calidad, lo que la hace única por su eficiencia productiva de leche, carne, pelo y piel (Andrade, 2005; Rojo *et al.*, 2007).

La población mundial de cabras es aproximadamente de 809 millones de animales, de los cuales, el 5% se encuentra en países desarrollados destinados a la producción láctea, mientras que el 95% restante se localizan en países en vías de desarrollo, en los que se dedican a la producción cárnica bajo sistemas extensivos y tradicionales de pastoreo primordialmente en zonas semiáridas (FAO, 2004).

La caprinocultura ha venido tomando auge en nuestro país y muestra de ello es que la producción de leche de esta especie se ha incrementado, presentando en el 2007 167,413 toneladas, principalmente en Coahuila, Durango, Guanajuato, Chihuahua y Jalisco (SAGARPA, 2007) y con una producción de carne de 42,873 toneladas en el 2007 (SAGARPA, 2007). Existían en el 2005 cerca de nueve millones de caprinos, distribuidos principalmente en: Puebla, Oaxaca y San Luis Potosí y Coahuila, al igual que en la parte norte y centro del país, estados en los que el clima predominantemente es el árido o semiárido (SAGARPA, 2007). En el estado de Querétaro, se cuenta con 97,587 cabras, siendo los municipios mas representativos Cadereyta, Peñamiller, San Juan del Rio y Tolimán (SAGARPA, 2007), predominando un clima semiárido (ocupando el 60% de la superficie del estado), con precipitación pluvial reducida y errática, suelos pobres y problemas de erosión. En dicha zona, la caprinocultura es un medio de subsistencia para sus pobladores (SAGARPA, 2007),

La cabra es un animal reproductivamente estacional, el cual inicia su ciclo reproductivo cuando las condiciones ambientales y la producción forrajera lo permiten (Junio-Diciembre). Presentando su época de partos cuando la producción forrajera disminuye, por lo tanto, la prolificidad, sobrevivencia de las crías y producción de leche se ven afectadas (Delgadillo *et al.*, 2002; Zarazaga *et al.*, 2005; Mellado, 2005; Malpoux, 2005; Delgadillo, 2005).

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, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/Hectárea (Ha) (Mishra *et al.*, 2006), su elevado contenido de agua del 90% o mas (Ramírez *et al.*, 2000; Mondragón *et al.*, 2003), puede ser utilizada como fuente de este liquido en regiones con escasez de éste, por otra parte, presenta un considerable contenido de carbohidratos solubles y por lo tanto su aporte energético es importante. Debido a éstas y otras características se ha utilizado como una fuente de forraje desde tiempos remotos (Mondragón *et al.*, 2003). Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento degradativo en caprinos. Algunos trabajos indican que niveles de degradación potencial de la FDN desde el 40 % (Cerrillo *et al.*. 2004), hasta 82% de degradabilidad. Sin embargo, no se ha generado información sobre el efecto que presenta el tamaño (edad) de la penca del nopal en la degradabilidad y capacidad de utilización ruminal en caprinos y el efecto que puede presentar la subalimentación en la capacidad de la utilización de esta planta.

II. OBJETIVO, JUSTIFICACION E **HIPOTESIS**

II.1 OBJETIVO

Analizar el efecto que presenta el tamaño (edad) de la penca del nopal (*Opuntia ficus indica*) en su composición, degradación *in situ* y cinética de degradación de la Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA) en caprinos, así como conocer si el nivel de consumo de MS afecta la degradación y cinética de degradación ruminal del nopal (*Opuntia ficus indica*)

II. 3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de buscar una alternativas de suplementación en la región del desierto y semidesierto en el país específicamente en el estado de Querétaro para la ganadería caprina utilizando plantas de la región en este caso el nopal (*Opuntia ficus indica*).

En México el nopal es un alimento común para el consumo humano, consumiéndose exclusivamente las pencas de menor tamaño (nopalito), por lo que, existe un desperdicio importante de material vegetativo que puede ser utilizado como suplemento para animales.

La cabra presenta una marcada estacionalidad reproductiva, presentando los partos en la época en la que menos disponibilidad de forraje hay (época seca), teniendo como resultado una elevada mortalidad de crías y baja producción lechera. El nopal es una planta distribuida ampliamente por todo el país, adaptable a cualquier tipo de terreno y clima, pudiendo ser una fuente de alimentación y suplementación en épocas clave (suplementación estratégica), tales como inicio de estación reproductiva, como flushing, en el periparto, durante la lactancia, o en donde el animal mayor demanda de nutrientes presenta. Por otra parte, puede cubrir parte de los requerimientos de agua y energía que presentan estos animales.

II. 3 HIPOTESIS

La penca de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) de diferentes tamaños, presentan diferente composición, degradación *in situ* y la cinética de degradación de la Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácida en cabras fistuladas y canuladas del rumen, y si el nivel de consumo del animal canulado puede afectar la degradación y degradabilidad de la penca de nopal.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

III.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CABRA

III.1.1 La cabra

La cabra es un animal rumiante de pequeña talla, que puede contar o no con cuernos, muy ágil y adaptado a saltar y escalar. Su distribución es amplia y se encuentra en todo el mundo, principalmente en las zonas montañosas (Ducoingç, 2006). Su clasificación taxonómica se muestra en la cuadro 1.

CUADRO 1. Clasificación taxonómica de la cabra.

Reino	Animal
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Tetrapoda
Clase	Mammalia
Orden	Artiodactila
-Suborden	Ruminatia
Infraorden	Pecora
-Familia	Bovidae
-Subfamilia	Caprina
Tribu	Caprini
Género	Capra
Especie	hircus
Subespecie	hircus

(FAO, 2004).

Es un animal que por su capacidad de adaptación y sus hábitos de consumo se a acoplado a diferentes ecosistemas y sistemas de producción, los cuales van desde zonas áridas y semiáridas, áreas montañosas, pastizales y sistemas intensivos de estabulación (Ducoingç, 2006).

En cuanto a su alimentación, es un animal muy selectivo, ramoneador por excelencia, lo cual le permite sobrevivir en áreas en donde otros animales no podrían, por esto se ha seleccionado como un animal que sirve como medio de supervivencia para familias de bajos recursos económicos (Ducoingç, 2006).

En los países en vías de desarrollo la mayor parte de la producción es de autoconsumo sirviendo como medio de apoyo a familias de bajos recursos, los sistemas de producción se basan principalmente en el pastoreo extensivo, por lo general en áreas con reducida y estacional producción vegetal, lo que provoca bajas conversiones alimenticias y reducida producción de leche, que en el caso de México es de 68 Kg. de leche/cabra/ año (FAO, 2004).

Esta situación es diferente en países desarrollados, en donde el 56% de los sistemas se dedican a la producción de leche, principalmente manejadas en condiciones de estabulación intensiva, o pastoreo en praderas con suplementación, estos sistemas se encuentran asociados a la producción de forrajes bajo riego, por lo que el promedio de producción es de 500 a 700 Kg./leche/cabra año (FAO, 2004). Por otra parte, se encuentran asociadas a la producción y transformación de productos lácteos, tales como quesos, ya sean artesanales o de forma industrial, lo cual representa un valor agregado a la producción (FAO, 2006).

III.1.2 Características reproductivas y productivas de la cabra.

La cabra es un animal reproductivamente estacional (Delgadillo *et al.*, 2002; Delgadillo, 2005; Malpaux, 2005; Zarazaga *et al.*, 2005) iniciando la estación reproductiva cuando el fotoperíodo, condiciones ambientales y la producción forrajera lo permiten. De ésta forma, la estación reproductiva se reduce a los meses de Junio-Octubre, que coinciden con el fotoperíodo requerido para el inicio de la actividad reproductiva (Delgadillo *et al.*, 2002), 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 supervivencia de las crías se ve afectada (Mellado, 2005). La nutrición presenta efectos importantes sobre la reproducción, así las

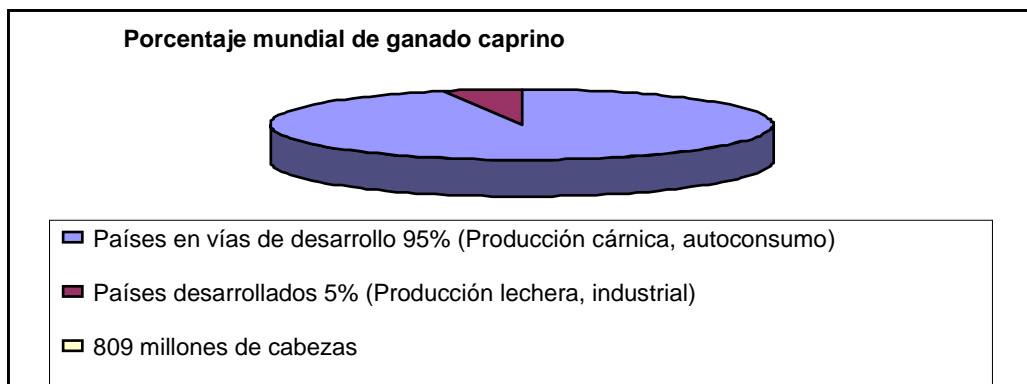
hembras bien nutridas y en buena condición física presentan una mayor prolificidad (Landau *et al.*, 1997; FIRA, 1999; Mellado, 2005).

Durante las diferentes partes del periodo productivo existen fases en las que puede existir subnutrición (sequía) y otras con sobre nutrición (época de lluvias) (Sasaki, 2002), estos cambios hacen fluctuar los parámetros productivos de estos animales. Está ampliamente demostrado que cuando los animales basan su alimentación en el uso de los pastos y forrajes, su productividad a través del año es fluctuante, esto se ha atribuido a la calidad y cantidad de plantas forrajeras disponibles para ser pastoreadas (Rojo *et al.*, 2007). Por esto existe una relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos y la actividad reproductiva así como la productiva (Malpaux, 2005; Mellado, 2005).

III.1.3 Situación mundial de la caprinocultura.

La población mundial de cabras es aproximadamente de 809 millones de animales de estos, el 95% se encuentra en países subdesarrollados y el 5% restante en países desarrollados (Grafica 1). La población caprina en América representa el 6.4% de la población mundial, mientras que continentes como Asia y África cuentan con el 62 y el 29% del inventario mundial, respectivamente (FAO, 2004).

GRAFICA 1. Población de caprinos en países desarrollados y en países en vías de desarrollo.

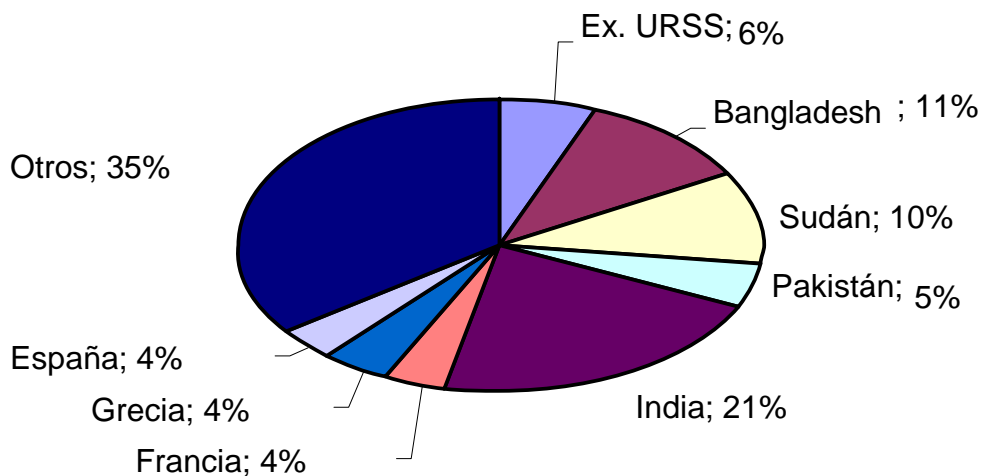


FAO, 2004

En los países en vías de desarrollo, la mayor parte de la población caprina está dedicada a la producción de carne bajo sistemas extensivos y tradicionales de pastoreo, primordialmente en zonas semiáridas, lo que provoca bajos rendimientos cárnicos y lecheros. Se considera que la mayor parte de la producción está destinada al autoconsumo, sirviendo como medio de subsistencia a familias de bajos recursos (FAO, 2004).

La situación de la caprinocultura es muy diferente en países desarrollados, siendo mayoritaria la producción de leche con un 56% del total de productores, con promedio de 500 a 700 Kg./leche/cabra/año. En estos casos, los sistemas de producción son intensivos en su mayor parte, estabulados y asociados con la producción de quesos, ya sean artesanales o de forma industrial. Aún cuando los principales productores en volumen lácteo son países como la India y Pakistán, es importante considerar que con el 5% de la población caprina mundial, los países llamados desarrollados producen más del 25% de la leche del mundo (Grafica 2) (FAO, 2004).

GRAFICA 2. Producción mundial de leche de cabra (en % total, promedio 2002-2004)



FAO, 2004

III.1.4 Situación de la caprinocultura en México.

En México existen alrededor de nueve millones de cabezas de ganado caprino, encontrándose principalmente en Puebla, Oaxaca y San Luis Potosí (Cuadro 2), (SAGARPA, 2005), las cuales se encuentran principalmente distribuidas en las partes del centro y del norte del país. La mayoría de estos animales se encuentran en forma extensiva, pues como se mencionó anteriormente en los países en vías de desarrollo ésta es la principal forma de producción. Cabe destacar que en México no se cuenta con un censo ganadero fiable por lo que es posible que dichos datos estén sobre o subvalorados. (SAGARPA, 2005),

La producción nacional anual de leche de origen caprino se estima en aproximadamente 200 millones de litros, mientras que la producción de carne anual caprina es de 45 mil toneladas (SAGARPA, 2005).

A nivel mundial México representa el 10^o lugar en población caprina, siendo el 1^{er} lugar de América, seguido de Brasil, y es tres veces superior al de los Estados Unidos de América, que cuentan con 3 millones de animales. (SAGARPA, 2005),

CUADRO 2. Inventario caprino por estado de la República Mexicana.

INVENTARIO CAPRINO 2005 CABEZAS	
PUEBLA	1.392.177
OAXACA	1.154.964
SAN LUIS POTOSI	729.612
GUERRERO	672.757
COAHUILA	615.623
ZACATECAS	550.005
GUANAJUATO	506.473
MICHOACAN	456.817
NUEVO LEON	363.269
DURANGO	332.136
TAMAULIPAS	272.989
HIDALGO	269.780
JALISCO	261.771
CHIHUAHUA	236.480
SINALOA	160.249
NAYARIT	160.228
VERACRUZ	147.986
MEXICO	129.937
BAJA CALIFORNIA SUR	113.056
TLAXCALA	110.974
QUERETARO	97.587
MORELOS	32.883
BAJA CALIFORNIA	20.398
AGUASCALIENTES	20.375
COLIMA	11.307
CHIAPAS	5.359
CAMPECHE	4.835
QUINTANA ROO	3.902
YUCATAN	69
DISTRITO FEDERAL	64
TABASCO	0

Fuente: SIACOM 2007 SAGARPA

III.1.5 Situación de la caprinocultura en Querétaro

En el estado de Querétaro se cuenta con 97 587 cabezas de caprinos (Cuadro 3), en el cuadro 3 se presenta la distribución por municipio, siendo los mas representativos Cadereyta con 22 180, Peñamiller con 18 780 y San Juan del Rió con 10 089 cabezas de ganado caprino (SAGARPA, 2005)

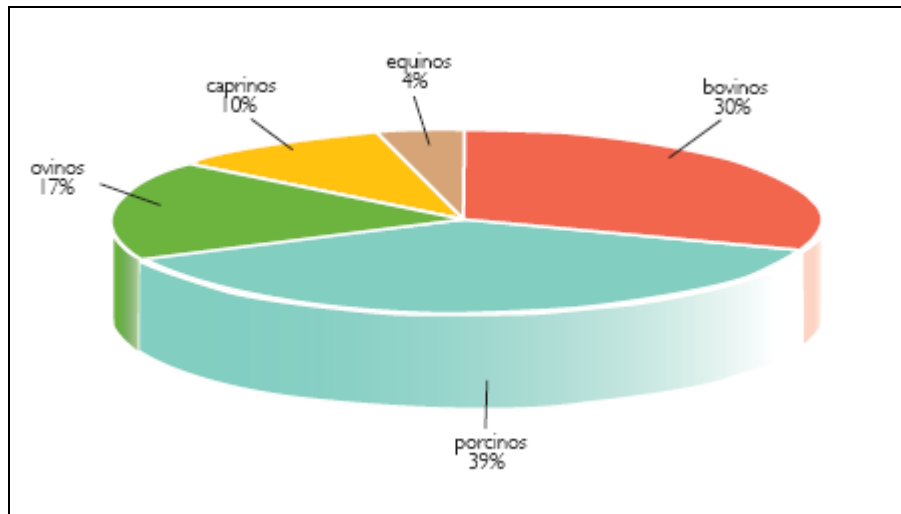
CUADRO 3. Población de caprinos por Municipio en el estado de Querétaro.

INVENTARIO CAPRINO	2005
	(CABEZAS)
Cadereyta	22180
Peñamiller	18780
San Juan del Rió	10089
Tolimán	7320
El Marqués	7200
Huimilpan	4620
Pinal de Amoles	4300
Pero Escobedo	4200
Tequisquiapan	4002
Querétaro	3885
Corregidora	3250
Colón	2543
Ezequiel Montes	2338
Landa de Matamoros	1400
Arrollo seco	650
Jalpan de Serra	450
San Joaquín	380
Amealco de Bonfil	0

(SAGARPA, 2005)

La distribución porcentual de la población animal por especie en el estado de Querétaro (Grafica 3), se observa que los caprinos representan el 10% de esta población. (SAGARPA, 2005).

GRAFICA 3: Distribución porcentual de la población animal por especie en el estado de Querétaro.



(SAGARPA, 2005).

Los municipios que cuentan con el mayor número de cabezas de caprinos son Peñamiller y Cadereyta, que se encuentran en la región semiárida del estado, se le conoce como la puerta de entrada a la Sierra Gorda. Dichos municipios se encuentran a una altitud de 1320 msnm. Presentan un clima seco, semicálido con temperaturas que oscilan entre los 2° C hasta los 40 ° C, con una temperatura media de 25° C, la precipitación pluvial es de 300 a 400 milímetros anuales que definen las condiciones desérticas (SAGARPA, 2005)

La vegetación de estos municipios esta compuesta de matorral crasicale dominado por cactáceas del semidesierto, caracterizado por hojas pequeñas y plantas suculentas. (FIRA, 1999; Cantú, 1997).

III.2 ZONAS SEMIÁRIDAS EN MÉXICO

La extensión territorial de México es de 1 964 375 Km² (INEGI, 2007), de los cuales 39 217 585 hectáreas (ha) son semiáridas, éstas presentan una precipitación pluvial de 350 a 600 mm al año (SAGARPA, 2005).

III.2.1. Ganadería en las zonas semiáridas

Las actividades pecuarias mantienen una gran importancia en el contexto socioeconómico del país, ya que proporcionan alimentos, materias primas y empleo, distribuyen ingresos en el sector rural al utilizar recursos naturales que no tienen cualidades adecuadas para la agricultura u otra actividad productiva. La ganadería, y en específico la producción de carne, es la actividad productiva más diseminada en el medio rural, pues se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas del país y aún en condiciones adversas de clima (como lo son las zonas áridas y semiáridas), que no permiten la práctica de otras actividades productivas (SAGARPA, 2005).

El 79% de la población caprina se encuentra ubicada en las zonas áridas y semiáridas que son inadecuadas para otro tipo de actividad y donde la cabra es el animal más valioso para miles de pequeños productores (Gamarra, 2005). Por tanto, la ganadería caprina se presenta como el principal sistema de producción existente en estas zonas, ya que, sus cualidades son comunes, destacando su rusticidad, con una gran capacidad de adaptación a medios difíciles (Fernández, 2005). Su gran capacidad de adaptación alimenticia permite que aproveche mejor que otras especies los forrajes de baja calidad. Su dieta anual está formada mayormente por matorrales, pastos y herbáceos de escaso valor alimenticio, así como diversas especies de arbustivas y arbóreas (Gamarra, 2005).

A pesar de dichas cualidades, las variaciones climatológicas, que sobre todo en la primera mitad de la década de los 90's afectó severamente a las ganaderías extensivas del Centro y Norte del país, refiriéndose estos fenómenos a la prolongación de los

periodos de estiaje, ya que la disminución de la disponibilidad de forrajes no solo desembocó en una menor capacidad de engorda de ganado, sino que afectó al pie de cría disminuyendo su fertilidad. Afectando no sólo al ganado bovino y ovino, sino también al caprino (SAGARPA, 2005). Lo anterior nos muestra la relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos y el inicio de la actividad reproductiva y productiva de los animales (Malpaux, 2005; Mellado, 2005), siendo afectado en forma especial el ganado caprino, por su estacionalidad reproductiva.

III.2.2 Sistemas de producción en México

Existe en México una gran variedad de sistemas productivos que se diferencian entre sí por el nivel de tecnología aplicada, el nivel de integración vertical y horizontal y los mercados que atienden, los cuales de acuerdo a sus principales características se agrupan en tres categorías: Tecnificado, Semitecnificado y de Traspatio o de Autoabastecimiento (SAGARPA, 2005).

Mientras los dos primeros tienen una distribución geográfica definida para cada una de las especies productivas ganaderas, el último se practica en todo el territorio nacional. (SAGARPA, 2005). Siendo observada frecuentemente la cabra, por su agilidad y facilidad de desplazamiento (ya que la cabra tiene que recorrer extensas áreas para obtener su alimento), llegando a lugares que no son accesibles a otros rumiantes. A pesar de lo anterior, éste sistema de producción está caracterizado por bajos niveles de producción (Cofré, 2007).

Una alternativa a este problema es la suplementación con productos de la región como el nopal. Con esto al animal se le podrían proporcionar una buena fuente de carbohidratos, y estos a su vez proporcionar al animal una buena fuente de energía, al ser aprovechados en momentos específicos como son el inicio de la actividad reproductiva, la época de partos, etc. mejorando la productividad y la respuesta reproductiva.

En el Cuadro 4, se resume el tipo de producción, los estados productores y algunas de las principales características de estos (FIRA,1999).

CUADRO 4. Tipo de producción y principales estados productores.

	Carne	Producción de leche
Estados productores (Principales)	Puebla, Oaxaca, Guerrero, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Jalisco, Michoacán, entre otros.	Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, , Coahuila, Chihuahua, Región Lagunera, Durango, Michoacán, Zacatecas
Tipo de Sistema	Extensivo, Trashumante, Familiar.	Intensivo, Semi intensivo
Características	Se realiza en forma familiar principalmente, como medio de supervivencia, en donde un pastor cuida de un pequeño rebaño, no esta nada tecnificado, también las canales se obtienen a partir del desecho de hatos lecheros de cabras. Las conversiones alimenticias son sumamente bajas y la mayoría de la producción depende de la disponibilidad de forraje en el agostadero, muy dependiente de época del año	Muy tecnificado, principalmente en el norte del país, principalmente utilizando razas de origen europeo, por medio de cruzamientos y selección se han logrado producciones muy buenas, existe un sistema semi intensivo en el cual se pastorea a los animales y son suplementados en corral, este sistema es ampliamente usado en el bajío y en partes del norte del país.

Adaptado de FIRA, 1999

III.3 EL NOPAL (*Opuntia spp*)

Esta es una de las plantas encontradas en toda la República Mexicana, principalmente en el desierto y semidesierto, donde puede considerarse como una opción viable de suplementación, especialmente por su capacidad de adaptación en regiones de baja precipitación pluvial y en suelos degradados, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/ha (Mishra *et al.*, 2006). Por su elevado contenido de agua (90% o más) (Ramírez, *et al.*, 2000; Mondragón *et al.*, 2003), puede ser una fuente importante de este líquido en regiones con escasez, por otra parte, presenta un considerable contenido de carbohidratos solubles y por lo tanto, su aporte energético es importante. Debido a éstas y otras características se ha utilizado como una fuente de forraje desde tiempos remotos (Mondragón *et al.*, 2003). Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento degradativo en caprinos. Algunos trabajos indican niveles de degradación potencial desde el 44% hasta 82% (Cerrillo *et al.*, 2004), en la degradabilidad de la Fibra Detergente Neutro (FND). Sin embargo, no se ha generado información sobre el efecto que presenta la madurez de la penca del nopal en la degradabilidad de la Proteína Cruda (PC) y capacidad de utilización ruminal en caprinos así como el efecto que puede presentar la subalimentación en la capacidad de utilización de esta planta.

Existen casi 300 especies del género *Opuntia* en México, con una superficie aproximada de 10,000 ha. de plantaciones especializadas en Nopal para consumo humano (Scheinvar, 1995).

En México, el género *Opuntia* presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies.

El género *Nopalea* presenta 10 especies de las cuáles la "*Nopalea Cochenillifera*" se utiliza como nopal verdura.

De estos dos generos se utilizan como forraje 15 especies, 5 para fruta y 3 para Verdura (2 de *Opuntia* y una de *Nopalea*.) (Bravo y Scheinvar, 1995).

III.3.1 El *Opuntia ficus indica*

El uso humano de *Opuntia* se realizó en México desde épocas prehispánicas, donde jugaron un importante papel en la economía agrícola del imperio Azteca. El maíz (*Zea mays*), el agave (*Agave spp.*), y *Opuntia* (nopal) son las plantas cultivadas más antiguas de México (Reynolds y Arias, 2003)

Existen tres pasos cruciales en la transición del uso de plantas silvestres a cultivos planeados:

- la recolección de plantas silvestres;
- cultivo de plantas (silvestres) cerca de asentamientos humanos, y
- cultivo de variedades alteradas por métodos de propagación selectiva, en cultivo intensivo con el propósito de mercadeo (Reynolds y Arias, 2003)

La *Opuntia ficus indica* tiene como características la presentación de pocas espinas o la casi ausencia de éstas. Es un vegetal arborescente de 3 a 5 metros de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm. de diámetro. Forma artículos oblongos (Pencas o Cladodios) de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm. de ancho y de 2 a 3 cm. de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas mas o menos numerosas, amarillas y produce flores de 7 a 10 cm de largo, su fruto es oval de 5 a 10 cm. de largo x 4 a 8 cm. de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo con abundante pulpa carnososa y dulce (Nobel, 1998).

En años recientes se han intensificado las plantaciones para fruta o producción de forraje, así como para vegetales o nopalitos y cochinilla (Nobel, 1998), en muchos países de África, América, Asia y Europa, hay un creciente interés por *Opuntia*, con énfasis en *O. ficus-indica*, y en el importante papel que desempeñan y seguramente seguirán proponiendo para el éxito de sistemas agrícolas sustentables en zonas áridas y semiáridas, donde agricultores y ganaderos deben concentrarse en aquellas especies que pueden no solo sobrevivir sino producir económicamente. Así, *Opuntia*, se ha convertido en un recurso inagotable de productos y usos, inicialmente como planta

silvestre, y después, como cultivo de subsistencia y comercial; contribuyendo a la seguridad alimenticia de poblaciones en áreas agrícolas marginadas (Nobel, 1998).

III.3.2 El uso del nopal como forraje en nuestro país

El nopal ha sido desde hace mucho tiempo una de las opciones más comunes en la alimentación de los animales en las regiones áridas y semiáridas de México, las cuales representan hasta el 52 % de la superficie total del país, presentando condiciones de escasa precipitación (menos de 350 a 600 mm/año) (FAO, 2004), elevada evaporación potencial, escasa presencia de aguas superficiales permanentes y degradación/contaminación de éstas, esto nos lleva a una limitada y estacional producción de alimentos, teniendo como consecuencia una reducida capacidad productiva y reproductiva de animales en condiciones de climas extremos. Los caprinos se han desarrollado bajo estas condiciones y han sido utilizados como medio de subsistencia para las poblaciones que se han desarrollado en estas regiones.

La importancia de la *Opuntia* como forraje en el siglo XIX fue el resultado de la necesidad de alimentar al ganado en las zonas áridas del país, donde las temporadas de sequía son muy largas, y ya que no solo el *Opuntia* se encuentra naturalmente en estas zonas, también es un excelente alimento para el ganado (Flores y Aguirre, 1979).

Las variedades más utilizadas de nopal como forraje difieren de un lugar a otro debido a que tanto la latitud como la altitud determinan las especies que se pueden localizar en poblaciones naturales de un cierto sitio, particularmente en el Estado de Sonora (Nobel, 1998).

Una de las formas más comunes de aprovechamiento es de consumo directo por el ganado, pero ésta es una forma de explotación destructiva, pues los animales pueden llegar a afectar la planta hasta su raíz, y con esto empezar a generar una desertificación del agostadero (Nobel, 1998).

Una segunda forma de aprovechamiento del nopal es en cortar el nopal de las plantaciones, chamuscar las espinas si las tiene, cortarlo en pedazos y ponerlo en los comederos junto con otros alimentos como alfalfa, paja, por citar algunos (Reynolds y Arias, 2003)

Los ensilados compuestos consisten en preparaciones donde una vez cortado y molido el nopal, se enriquece con fuentes de nitrógeno como la urea, levaduras, melaza u otros compuestos, con el fin de formar un alimento que proporcione un mayor número de nutrientes, y con ésto sustituir un porcentaje de los concentrados que se le dan al ganado (Reynolds y Arias, 2003).

Opuntia es particularmente atractiva como alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca, y por tanto, en energía digestible (Nobel, 1998). Este cacto es útil porque sobrevive a las sequías, es más eficiente en la utilización de agua que la de pastizales C_3 y las plantas C_4 de hoja ancha. La generación de biomasa por unidad de agua es en promedio tres veces más alta que en plantas C_4 , y cinco veces más que en plantas C_3 . Bajo condiciones óptimas, los diferentes tipos de plantas pueden producir cantidades similares de materia seca por área de superficie, pero bajo condiciones áridas y semiáridas, las plantas CAM Crassulacean Acidic Metabolism) (como el *opuntia spp*) son superiores a las C_3 y C_4 (Nobel, 1988)

III.3.3 El consumo por los animales

Se estima que el ganado vacuno puede consumir de 15 a 40 kg de cladodios frescos/día/cabeza, pero bajo condiciones de sequía extrema el consumo puede alcanzar hasta 90 kg, si hay abundancia de cladodios, mientras que las ovejas y cabras consumen entre 3 y 9 kg/día. Durante la estación lluviosa, el consumo puede decrecer si existe pasto u otros forrajes (López *et al.*, 2003).

Los forrajes más comunes usados como complemento del nopal son: alfalfa (fresca o henificada), rastrojo de sorgo, harina de maíz o de semilla de algodón. Las fuentes de heno más comunes son el rastrojo de maíz o frijol, trigo o avena, que poseen bajo valor

nutricional comparados con *opuntia*. La demanda de nopal se incrementa día a día, particularmente durante períodos de sequía (López, *et al*, 2003).

III.3.4 El *Opuntia ficus indica* y sus ventajas como pastura

Es conveniente ubicar el uso forrajero del nopal como complemento debido a su bajo contenido proteico y alto contenido de agua; sin embargo, durante la mayor parte del año ofrece nutrientes disponibles al ganado que le permite mantener su productividad.

En general todas las especies de nopal tienen una composición química buena (Cuadro 8), ya que puede cubrir los requerimientos de mantenimiento del ganado.

Algunos investigadores hablan de rentabilidad al momento de referirse al nopal como alternativa forrajera y se refieren principalmente a éste como un excelente complemento que tiene un bajo costo de producción que ha demostrado tener rentabilidad y que las plantaciones de nopal con fines forrajeros son comercialmente viables.

III.3.5 El *Opuntia ficus indica* y su aplicación contra la erosión

Opuntia spp. está siendo utilizada en programas para prevenir la erosión del suelo y combatir la desertificación, ya que tiene una gran capacidad de adaptación en tierras pobres, inapropiadas para otro tipo de cultivos, y son ideales para responder a los cambios ambientales globales, como el incremento en los niveles del CO₂ atmosférico (Nobel, 2003). *Opuntia* también es importante para cubrir regiones áridas y semiáridas, debido a que las distintas especies pueden sobrevivir y extenderse bajo condiciones de lluvia escasa y errática, así como altas temperaturas y desempeñan también un importante papel en la protección de la fauna local.

III.3.6 Fisiología del *Opuntia ficus indica*

Las bases fisiológicas del éxito ecológico y la utilidad agrícola de las *Opuntias* como forraje son en gran medida el reflejo de su modalidad diaria de apertura de los estomas (los estomas son poros microscópicos encontrados en la superficie de las hojas y tallos que regulan el intercambio de gases entre la planta y su ambiente (Nobel, 1991). La mayoría de las plantas tienen un patrón diurno de apertura estomatal, de tal manera que la entrada de CO₂ ocurre simultáneamente con la fotosíntesis, la cual usa la energía de la luz para incorporar el CO₂ de la atmósfera hacia carbohidratos. Las plantas como *Opuntia ficus-indica*, abren sus estomas en la noche, de modo que la entrada de CO₂ y la pérdida de vapor de agua asociada ocurren en la parte más fresca del ciclo de 24 horas. Este patrón de intercambio de gases es conocido como CAM debido a que ha sido estudiado extensamente en las Crasuláceas, aunque aparentemente se haya reconocido primeramente en las Cactáceas (Ting, 1985; Nobel, 1983). Las plantas CAM son nativas de regiones áridas y semiáridas, así como de aquellos microambientes sujetos a sequías recurrentes tales como el de las epifitas que crecen en los árboles de selvas tropicales (Winter, 1985; Nobel, 1991).

III.4 CONCEPTO DE DEGRADABILIDAD

La digestión ruminal es un proceso dinámico que se caracteriza por la entrada de alimento en el rumen y la salida de líquidos, microorganismos y residuos de los alimentos no degradados (Van Soest, 1994). El alimento que el rumiante ingiere se puede dividir en dos fracciones, una fracción no degradable y una fracción potencialmente degradable, que es la que se degrada por los microorganismos a una velocidad o ritmo determinado (González et al., 1991).

La fracción del alimento que es hidrolizada en el rumen para proporcionar energía (carbohidratos fundamentalmente) o una mezcla de péptidos, aminoácidos libres y amoníaco (proteínas y NNP) para el crecimiento y síntesis de proteína microbiana se define como fracción degradable. La proteína microbiana proporciona la mayor parte de los aminoácidos que son aprovechados por un rumiante cuando pasan al intestino contribuyendo con un 40 a 50% de la proteína (Owens y Goestch, 1984). La restante fracción proteica que llega a intestino procede directamente del alimento y corresponde a la proteína no degradable en rumen (PND).

El nivel de degradación ruminal está influenciado por varios factores, entre éstos, se pueden destacar: las características de la ración, relacionadas con la cantidad de productos potencialmente degradables; el nivel de consumo que influye en el tiempo de permanencia del alimento en el rumen y por lo tanto, su exposición a los microorganismos ruminales; y las condiciones ambientales en el rumen, como son el pH y la concentración de NH_3 , de los que depende la actividad y supervivencia microbiana (Ørskov, 1988).

Las metodologías más comunes para medir la degradabilidad de los alimentos se han clasificado en métodos *in vivo*, *in situ* (o *in sacco*) e *in vitro*.

Los métodos *in situ* o *in sacco* se basan en el uso de bolsas porosas de nylon que contienen el alimento en estudio, éstas son introducidas e incubadas en el rumen de

animales canulados, y se retiran a tiempos determinados (Mehrez y Ørskov, 1977). Una vez extraídas las bolsas, se lavan y se desecan, realizando los análisis deseados sobre el material contenido en las mismas, con el fin de conocer la cantidad y ritmo de degradación de su MS, PC, FND, etc.

La degradabilidad se calcula restando al contenido inicialmente presente en la bolsa el que se encuentra después de la incubación. Las curvas de degradación obtenidas se pueden calcular utilizando ecuaciones como la de Ørskov y McDonald (1979), con el objeto de caracterizar la cinética de degradación de cada nutriente estudiado.

Los métodos *in situ* son los de mayor uso en la actualidad y presentan importantes ventajas, como:

- Las incubaciones se realizan en condiciones fisiológicas.
- Se requieren pequeñas cantidades de alimento.
- Es posible identificar las fracciones y ritmo de degradación del alimento.
- Se puede cuantificar la degradabilidad.

Sin embargo, el método *in situ* presenta también inconvenientes, ya que se necesitan animales fistulados, el alimento de la bolsa no es sometido a procesos de masticación, insalivación y paso, y la gran variabilidad entre laboratorios debida a la no estandarización de la técnica (González et al., 1991).

III.4.1 Cinética de la degradación ruminal

Los alimentos presentan fracciones con una rápida degradabilidad (*a*) y una fracción de lenta degradación (*b*), la primera se degrada rápidamente, sin embargo, la segunda presenta una velocidad de degradación (*c*) variable. Además, la cantidad degradable depende también del tiempo de permanencia del alimento en el rumen, parámetro relacionado con su ritmo de paso (*Kp*) (Broderick, 1994).

El modelo matemático utilizado en este experimento es el propuesto por Ørskov y McDonald (1979) que describe la degradación con la siguiente expresión:

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

Donde **D** es la cantidad de sustrato degradado en el tiempo (**t**), **a** es la constante de degradación de la fracción soluble y de rápida degradabilidad, **b** es la constante de degradación de la fracción lentamente degradable, y **c** (*k_d*) es la velocidad o ritmo de degradación por hora de la fracción **b**. Así, **a+b** corresponde a la fracción potencialmente degradable y, por lo tanto 100 - (**a+b**) es la porción del sustrato que no se degrada en el rumen.

Este modelo matemático explica gran parte de las características de degradación de la mayoría de alimentos. Sin embargo, en algunos casos la estimación matemática no es viable para describir el proceso biológico, como cuando **b** resulta superior al 100, o cuando la fracción **a** es negativa debido a que los alimentos ensayados carecen de fracción rápidamente degradable, y por lo tanto existe un periodo de inactividad en la degradación llamado tiempo de espera o "lag" (**t₀** ó **L**) antes de que se inicie la degradación. Como consecuencia, McDonald (1981) propone un nuevo modelo para describir la degradación en estos casos:

$$D = b (1 - e^{-c(t-t_0)})$$

Además, gracias al avance experimentado en los métodos de ajuste de funciones no lineales se han desarrollado modelos que permiten obtener estimas positivas de la fracción rápidamente degradable, a la vez que tiempos de retraso (Dhanoa, 1988).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

IV.1 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-Fisiología animal (INIFAP) localizado en Ajuchitlán, Colón Querétaro y en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro de la Facultad de Ciencias Naturales (UAQ-FCN) campus Juriquilla, Querétaro.

IV.2. PLANTA UTILIZADA

Se utilizaron pencas de nopal (*Opuntia ficus Indica*) de tres diferentes tamaños (chica, mediana y grande) (Imagen 1.) Este nopal fue cosechado en la región de Cadereyta de Montes, Querétaro, dichas pencas provinieron de una parcela con producción comercial del producto, fueron cosechadas el mismo día, por lo que el diferente tamaño se consideró como madurez.



Imagen 1. Diferente tamaños de pencas utilizadas en el experimento.

IV.2.1 Estimación del tamaño de la penca

Como equivalente a la madurez de la penca se consideró el tamaño de la misma. La estimación del tamaño de la penca fue el resultado de la multiplicación del largo x ancho, siendo: penca chica (retoños) (Pch) ($170.7 \pm 48.2\text{cm}^2$), penca mediana (donde brotan los retoños) (Pm) ($548.1 \pm 105.0\text{cm}^2$) y penca grande (tallos) (Pg) ($809.1 \pm 48.2\text{cm}^2$). Las pencas fueron medidas, picadas, pesadas y secadas a 60°C por 96 horas, y se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm. Para las determinaciones analíticas de los diferentes tamaños de penca para la MS, MO, Cenizas y PC se realizó de acuerdo a la AOAC, 1984, para las fracciones de fibra fue de acuerdo a Van Soest et al., 1991 y para la proteína unida a las diferentes fracciones de fibra fue de acuerdo a Licitra *et al.*, 1993.

IV.2.2 Preparación de los animales a diferentes grados de consumo.

Los animales se sometieron a una dieta controlada, estableciéndose dos niveles de consumo, simulando lo que sucede en diferentes momentos del año, cuando los animales se encuentran en pastoreo, existiendo dos periodos en los que se puede presentar un consumo de materia seca mayor (época de lluvias) lo cual llamaremos consumo alto (CA) ($58 \text{ g MS/kg PV}^{0.75}/\text{día}$) y una época de restricción alimenticia (época de secas) que llamaremos consumo bajo (CB) ($42 \text{ g MS/ kg PV}^{0.75}/\text{día}$). El periodo de adaptación a las raciones fue de 8 semanas.

IV.2.3 Preparación de la penca para pruebas *In Situ*

Una vez secas y molidas las pencas, se pesaron 3 gramos de muestra que fueron introducidos en bolsas de nylon de 10 x 5 cm con un poro de 50 micrones (Ankom technology™) (30 mg/cm^2) previamente pesadas y numeradas. Se utilizaron 2 bolsas con muestra y un control (Blanco) por tiempo (0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72) y

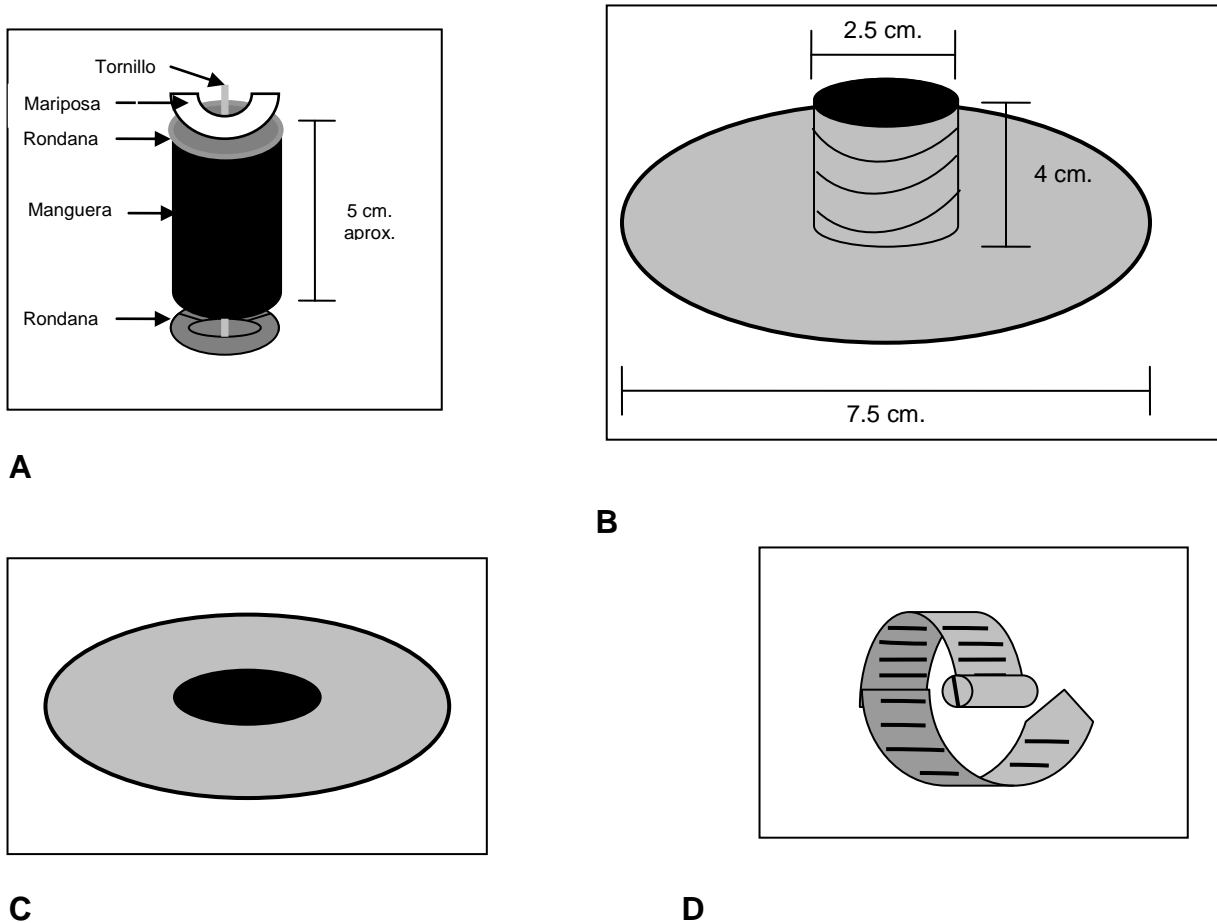
animal, en dos corridas (2 animales por corrida y tratamiento en 2 periodos). Las bolsas se ataron con un hilo de Nylon para su introducción y facilidad de colección.

IV.3. PREPARACIÓN DE LOS ANIMALES Y ADAPTACIÓN A RACIÓN Y NIVEL DE CONSUMO

Se utilizaron 6 cabras encastadas de Nubio, con un peso promedio de 37.6 ± 3.4 Kg. Dichos animales fueron fistulados y canulados del rumen, la técnica de fistulación fue una laparotomía costal izquierda a nivel ruminal, con el animal de pie, utilizando únicamente anestesia local (Lidocaina al 2%), se realizó una incisión en el flanco izquierdo del animal, se expuso una porción del rumen y se sujetó con un clamp para que sufriera un proceso de necrosis del tejido expuesto, los cuidados post-operatorios para cada una de las cabras consistieron en: lavado de la herida y aplicación tópica de un antibacteriano. Una vez necrosada la porción sujeta del rumen se retiró el clamp y se colocó una cánula (Figura 1) cuidando que el líquido ruminal de las cabras no se saliera por la fístula, dicha cánula fue fabricada con poliipilas en el CENID-Fisiología INIFAP.

Una vez recuperados de la cirugía, los animales fueron lotificados en dos grupos, uno de consumo alto (CA) ($58 \text{ g MS/kg PV}^{0.75} / \text{día}$) y otro de consumo bajo (CB) ($42 \text{ g MS/ kg PV}^{0.75} / \text{día}$). El periodo de adaptación a las raciones fue durante 8 semanas, los ingredientes de la ración se muestra en el Cuadro 5. La ración se ofreció en forma restringida de acuerdo al nivel de consumo, la composición de la ración en se presenta en el Cuadro 6.

Figura 1. Dibujo esquemático de una de las cánulas ruminales utilizadas en las pruebas *in situ*. **A**, tapón de la cánula con todos sus componentes. **B**, cánula de poliplas. **C**, rondana revestida de poliplas. **D**, abrazadera.



CUADRO 5. Ración de adaptación.

Ingrediente	Porcentaje de la ración
Grano de sorgo	37.5
Pasta de soya	6.1
Heno de alfalfa	24.2
Rastrojo de maíz	20
Melaza	11
Minerales	0.6
Sal	0.5

CUADRO 6. Composición nutricional de la dieta.

Componente	Porcentaje
Materia seca (MS)	87
	% de la MS
Materia orgánica (MO)	93
Proteína cruda (PC)	15
Fibra detergente neutro (FDN)	18.5
Fibra detergente ácida (FDA)	9.69
Proteína unida a (PC-FDN)	8.73
Proteína unida a (PC-FDA)	5.39
Cenizas	7

IV.4 PRUEBA *IN-SITU*

El método utilizado para la pruebas *In situ* fue el recomendado por Mehrez y Ørskov (1977). Todas las bolsas con excepción de las del tiempo 0 se introdujeron en el rumen a través de la cánula y se retiraron en su tiempo correspondiente (1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 hrs.), al retirar las tres bolsas correspondientes a su tiempo, se lavaron manualmente con abundante agua para eliminar los restos de líquido ruminal, y posteriormente se congelaron hasta su análisis en el laboratorio.

IV.5 ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

Las muestras se descongelaron y lavaron con agua destilada en el Analizador de Fibras Ankon[®] a temperatura ambiente por 3 ciclos de 15 minutos cada uno. Posteriormente se ordenaron las bolsas por número, tratamiento y tiempo.

IV.5.1 Análisis de alimentos

Para las determinaciones analíticas de las pancas de diferentes tamaños se determino el contenido de MS, MO, PC y cenizas de acuerdo a AOAC (1984), las fracciones de fibra de acuerdo a Van Soest et al. (1991) y la PC ligada a las FND y FAD de acuerdo a Licitra et al. (1996).

V.5.2 Análisis de los minerales.

El análisis de minerales se realizó por Espectrometría de Emisión Óptica Inductiva Acoplada a Plasma (OES-IP), de acuerdo a la técnica usada por Kawas en el 2008.

IV.6 METODOLOGÍA PARA DEGRADABILIDAD

Ésta estimación se realizó mediante la ecuación no lineal de Ørskov y McDonald 1979, en el programa StatgraphicsPlus 5.1, obteniendo así los datos de las diferentes fracciones (MS, PC, FDN y FDA) así dio una fracción de rápida degradación (*a*), una fracción potencialmente degradable (*b*) y la velocidad de degradación(*c*), ya obtenidos estos valores se sustituyeron en la ecuación no lineal:

$$D = a + b (1 - e^{-c \cdot t})$$

En donde *t* es el tiempo (hora de muestreo).

Los resultados obtenidos se usaron para obtener un modelo grafico.

IV.7 CALCULOS, ESTIMACIONES Y ANALISIS ESTADISTICO

IV.7.1 Diseño Estadístico

El experimento tuvo un arreglo factorial utilizando un diseño estadístico al azar 3 X 2 (Steel y Terrie, 1986), siendo los factores; el nivel de consumo (2) (alto 58 g de MS/kg PV^{0.75} y consumo bajo 42 g de MS/kg PV^{0.75}) y el tamaño de la penca (3) (chico, mediano y grande), bajo este diseño se realizó el análisis de varianza (ANDEVA) usando el programa SPSS 11.0.1®. En cuanto a la cinética de degradación de la MS, PC; FDN y FDA, se utilizó el modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979) $(a+b(1-e^{-(c*t)}))$, estimando el contenido de la fracción soluble (a), la fracción potencialmente degradable (b) y la tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t), a partir de estos parámetros se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva $(a+b[c/c+kp])$ considerando tres tasas fraccionales de paso (kp) de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h (Sauvant et al. 2003).

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SPSS 11.0.1® (SPSS Inc. Head Quarter, Z33S, Wacker Drive, Chicago Illinois, EEUU).

Se aplicaron las siguientes técnicas estadísticas:

1) Análisis de varianza, para establecer el efecto en la degradación del nivel de consumo y tamaño de la penca.

2) Análisis de varianza, para establecer las diferencia entre el efecto del tiempo de incubación y tamaño de penca de nopal, sobre la degradabilidad de las mismas.

3) El modelo de regresión no lineal sugerido por Orskov y Mc Donald (1979) para estimar los parámetros de la cinética de degradación.

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + TP_i + NC_j + (TP*NC)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

- Y_{ijk} = la observación de el i -ésimo tamaño de penca (chica, mediana y grande) en el j -ésimo nivel de consumo (alto y bajo) con el k -ésimo error experimental.
- μ = la media general.
- TP_i = el i -ésimo tamaño de penca (chica, mediana y grande).
- NC_j = el j -ésimo nivel de consumo (alto y bajo).
- $(TP*NC)_{ij}$ = la ij -ésima interacción entre TP y NC.
- ε_{ijk} = el ijk -ésimo error experimental.

El test de medias utilizado en los análisis de varianza fue la prueba de diferencias mínimas significativas (LSD).

Para todos los casos los niveles de significación corresponden a:

- NS = $P > 0,05$.
- * = $P < 0,05$.
- ** = $P < 0,01$.
- *** = $P < 0,001$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

V.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PENCA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) DE ACUERDO A SU TAMAÑO

La composición química de las pencas de nopal *Opuntia ficus indica* de diferentes tamaños, se presenta en la Cuadro 7. Observándose que el tamaño de la penca influyó en el contenido de MS, FDN, FDA, Hemicelulosa, PC-FDA y cenizas, siendo menor en la Pch ($P < 0.05$), en contraste con la Pm y Pg las cuales presentan una composición similar ($P > 0.05$).

El contenido de PC de la Pch fue mayor ($P < 0.05$) en comparación con la Pm y Pg, este comportamiento se ha descrito en otros tipos de forrajes (NRC, 2001) en donde el contenido de proteína es mayor en etapas mas jóvenes de las plantas, disminuyendo conforme avanza la edad y aumentando la cantidad de fracciones de fibra y cenizas.

CUADRO 7.- Composición química porcentual de la penca del nopal con diferentes tamaños (relación con madurez).

	P. Chica	P. mediana	P. grande	EE±	Sig.
MS	8.33 ^a	9.7 ^b	10.28 ^c	0.26	***
Como % de la MS					
MO	76.3 ^a	75.2 ^b	74.4 ^b	0.33	***
PC	7.7 ^a	5.8 ^b	5.9 ^b	0.38	***
FDN	36.8 ^a	44.9 ^b	43.5 ^b	2.5	**
FDA	11.8 ^a	17.8 ^b	16.0 ^b	1.12	**
Hemicelulosa	25.0 ^a	27.1 ^b	27.4 ^b	1.5	*
PC-FDN	2.12	0.8	1.2	0.31	NS
PC-FDA	0.23 ^a	0.43 ^b	0.30 ^c	0.03	*
Cenizas	23.7 ^a	24.8 ^b	25.5 ^b	0.34	***

a , b, c= Dif. ($P < 0.05$) dentro de renglón

Sig.= Significancia: NS: No significativa ($P > 0.05$), *= $P < 0.05$, **= $P < 0.01$, ***= $P < 0.001$.

Es importante destacar, que el contenido de FDN y FDA esta relacionado con la digestibilidad y degradabilidad de los alimentos, dependiendo así del material soluble, de material indigestible y del contenido de material potencialmente digestible, así como de la tasa de digestión y paso de este último por el rumen (Van Soest *et al.*, 1982), pudiéndose esperar una mayor degradación y digestibilidad en la Pch, al presentar un menor contenido de FDN y FDA, siendo en este caso los elementos de mas lenta y menor degradación, en donde la FDA, es la que presenta en su contenido los elementos menos digestibles, tales como la lignina.

Existe una gran variabilidad en la composición del nopal, tal y como se muestra en el Cuadro 8, en donde se pueden observar valores de MS que van desde 4.4% hasta un 21.8%. Tal diferencia puede relacionarse con la dependencia directa entre la precipitación pluvial antes del corte y contenido de agua en los cladodios (Flores y Aguirre, 1979). También puede deberse a la presencia del mucilago que es un compuesto complejo y de características muy particulares siendo importante la captación y retención de agua (Gibson y Nobel, 1990).

Los resultados obtenidos en esta investigación, para el contenido de MS, PC, FDN y FDA y cenizas (Cuadro 7) se encuentran en un rango muy variable, diversos autores (Cuadro 8) muestran valores para el *Opuntia ficus indica*, que va de 4 a 21% en la MS, de 3 a 19% en la PC, de 22 a 46% para la FDN, de 15 a 39% para la FDA y de 13 a 25% para las cenizas, mientras que en el presente estudio los valores oscilan entre 8.3% y 10.28% para la MS, 5.8% a 7.7% para PC, 36.8% a 44.9% para FDN, 11.8% a 16% para FDA y 23.7% a 25.5% para las cenizas, observando la misma variabilidad en cuanto a los resultados.

Cuadro 8. Composición química de la *Opuntia ficus-indica* observada por diferentes autores.

Autor	Especie utilizada	MS	PC	FDN	FDA	CENIZAS
Resultados en esta investigación	<i>O. ficus-indica</i>	8.33 - 10.28	5.8 - 7.7	36.8 - 44.9	11.8 - 17.8	23.7 - 25.5
Fuentes R J et al., (1997)	<i>O. ficus-indica</i>	11.3	3.8	--	--	13.1
Ramírez et al., (2000)	<i>O. lindehimieri</i>	--	4.2	--	15.0	25.2
Misra et al., (2006)	<i>O. ficus-indica</i>	21.8	12.6	46.6	39.3	--
BenSalem H. et al., (2002)	<i>O. ficus-indica</i>	13.0	5.0	25.5	--	--
Ben S. H. et al., 2004	<i>O. ficus-indica</i>	17.7	4.6	33.8	16.8	
Atti N. et al., (2005)	<i>O. ficus-indica</i>	14.0	7.9	--	--	--
Tegegne F. et al., (2006)	<i>O. ficus-indica</i>	12.23	3.06	23.8	16.2	19.89
Gebremariam T. et al., (2006)	<i>O. ficus-indica</i>	12.0	8.3	39.2	26.3	--
Ramírez T. et al (2007)	<i>O. ficus-indica</i>	4.4	19.5	34.4	17.6	--

V.2 CONTENIDO MINERAL EN EL *Opuntia ficus indica*

La adición de minerales de acuerdo a los requerimientos del animal traerá como resultado una adecuada optimización de la actividad ruminal y del forraje (Spears, 1994). Los forrajes proveen de una importante cantidad de minerales que en rumiantes, una de las funciones de algunos de ellos es estimular la actividad de la microflora ruminal (Underwood, 1981). Sin embargo, en el caso de una deficiencia de uno o mas minerales será necesaria la suplementación estratégica para la buena salud del animal (McDowell, 1997).

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan en el Cuadro 9; donde se observa que se presentó un contenido elevado de calcio (Ca) y bajo de fósforo (P), siendo superior en la Pm, con una relación Ca-P es muy alta Pch 30:1, seguida de la Pm 46:1 y de 26:1 para la Pg. Buxton y Fales (1994) menciona que

el estado de maduración de la planta afecta el contenido de minerales en el forraje. Tegegne et al. (2006) reporta una relación de 16:1 de estos mismos elementos, con esta relación se tiene que buscar una forma de suplementación de P. Si una cabra de 50 kg consume un kilogramo de nopal de las mismas características descritas en este trabajo al día, el contenido de Ca presente en la penca, cubriría las necesidades de mantenimiento (Cuadro 10) ya que al día consumiría alrededor de 3 gr. suponiendo que la mayoría fuera biodisponible. Sin embargo, Greene et al. (1987) y Haenlein (1980, 1991), dicen que la concentración de minerales en los forrajes varía generalmente dependiendo del tipo de suelo, variedad de planta y medio ambiente, Ramírez *et al.* (2001) encontró una alta concentración de Ca (26.7g/kg) en el *Opuntia engelmannii*. En el presente estudio se presenta la cantidad total de minerales pero no su biodisponibilidad de éstos, se necesitara realizar mas estudios en ésta área.

El elevado contenido de Hierro (Fe) (Cuadro 9) en las penca de diferentes tamaños sugiere que tal vez la muestra estaba contaminada con tierra, además se encontró Mercurio (Hg) en la Pm, en una pequeña cantidad, esto puede deberse a que el lugar donde fue cosechado el nopal es una extensión de la Sierra Gorda Queretana, sabiendo que de antaño ésta región ha ocupado un sitio relevante en la producción de Mercurio a nivel nacional (Hernández, 2009). En esta región la utilización del cinabrio (HgS) data desde épocas prehispánicas (Carbonell et al., 1970), actualmente la explotación de Mercurio en esta región está vedada a causa de su alta toxicidad (Hernández, 2009). El problema radica en que éste metal es tóxico y acumulable en los tejidos.

La NRC (1980) describe, que el nivel tóxico del Hg para la cabra es de 2 ppm, el cobalto (Co) es de 10 ppm y el selenio (Se) de 2ppm. No presentando así un riesgo inminente para el animal.

En el caso del Co y Se, se encuentran en niveles muy reducidos (ppb) lo que podría indicar la pobreza de estos en los suelos en donde se cosechó esta *Opuntia*.

Cuadro 9.- Concentración de macro y micro minerales en los diferentes tamaños de penca de nopal.

Macrominerales	Pch	EE±	Pm	EE±	Pg	EE±	Sig.
Calcio %	3.635 ^a	0.007	4.18 ^b	0.0046	3.86 ^c	0.019	***
Fosforo %	0.12	0.0023	0.09	0.0001	0.115	0.002	NS
Magnesio %	1.24 ^a	0.0046	1.21 ^b	0.0023	1.24 ^b	0.005	**
Sodio %	0.02	0.000	0.01	0.0001	0.02	0.000	NS
Potasio %	0.99 ^a	0.0093	1.37 ^b	0.0046	1.38 ^b	0.005	***
Microminerales							
Hierro, ppm	4306.03 ^a	12.8693	113.145 ^b	0.0353	1275.91 ^c	5.223	***
Manganeso, ppm	38.175 ^a	0.0916	11.54 ^b	0.0516	15.33 ^c	0.117	***
Zinc, ppm	20.535 ^a	0.252	9.33 ^b	0.1483	10.09 ^b	0.087	***
Cobre, ppm	2.47 ^a	0.047	0.42 ^b	0.023	1.885 ^c	0.016	***
Molibdeno, ppm	2.99 ^a	0.0186	2.56 ^b	0.0186	2.65 ^c	0.023	***
Selenio, ppb	0	0	44.84	0.57	35.59	0.740	NS
Cobalto, ppb	2463.3 ^a	23.57	59 ^b	0.483	551.25 ^c	5.773	***
Mercurio, ppm	0	0	0.3766	0	0	0	NS

Sig= Significancia: NS:No significativa (P>0.05), ***= P<0.001

Abreviaturas: Pch: Penca chica, PM: Penca Mediana y PG: Penca Grande

Cuadro 10. Requerimientos de minerales para cabras

	Mineral	Requerimiento	Autor
Para mantenimiento	Ca	5gr/100kg PV	Haenlein 1987
	P	0.14g/kg PV ^{0.77}	Kessler 1981
	Mg	0.045 g/kg PV ^{0.75}	Kessler 1981
	Na	0.045 g/kg PV ^{0.77}	Kessler 1981
	Co	0.1-0.15mg/kg MS/Día	Haenlein 1991
En general	Zn	10-50mg/kg MS/Día	Haenlein 1991
	Fe	30-100 mg/kg MS/Dia	Haenlein 1991
	Mn	20-40 mg/kg MS/Dia	Haenlein 1991
	Se	0.1-0.2 mg/kg MS/Dia	Haenlein 1991

V. 3. EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PENCA DE NOPAL SOBRE LA DEGRADABILIDAD

V.3.1. Degradabilidad de la Materia Seca de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 11 se muestra el comportamiento degradativo de la penca de acuerdo a su tamaño, el cual indica un contenido de elementos de rápida degradación en el tiempo 0 de 28.8, 29.9 y 27.7% en la Pch, Pm y Pg respectivamente, con un incremento ($P < 0.05$) de la hora 0 a la 1 en la Pch a 40.5, Pm a 39,4 y Pg a 37.7%), posteriormente la degradación se detiene hasta las 12 horas, sin encontrarse diferencias ($P > 0.05$), a partir de las 12 hrs se reinicia la degradación hasta llegar a valores de 88.0, 86.8 y 81.7 % en la Pch, Pm y Pg respectivamente a las 72 horas de incubación (Gráfica 4). Solo se presentaron diferencias ($P < 0.001$) entre tiempos de degradación pero no entre tamaño de penca ($P > 0.05$).

Çürek M. y Özen (2001), encontraron valores similares en la degradación de MS en especial en los elementos de rápida degradación, siendo de 37% y 34% en cladodios jóvenes y de mayor tamaño respectivamente. Los valores obtenidos a la hora 72 de igual manera son muy parecidos al encontrado en esta investigación.

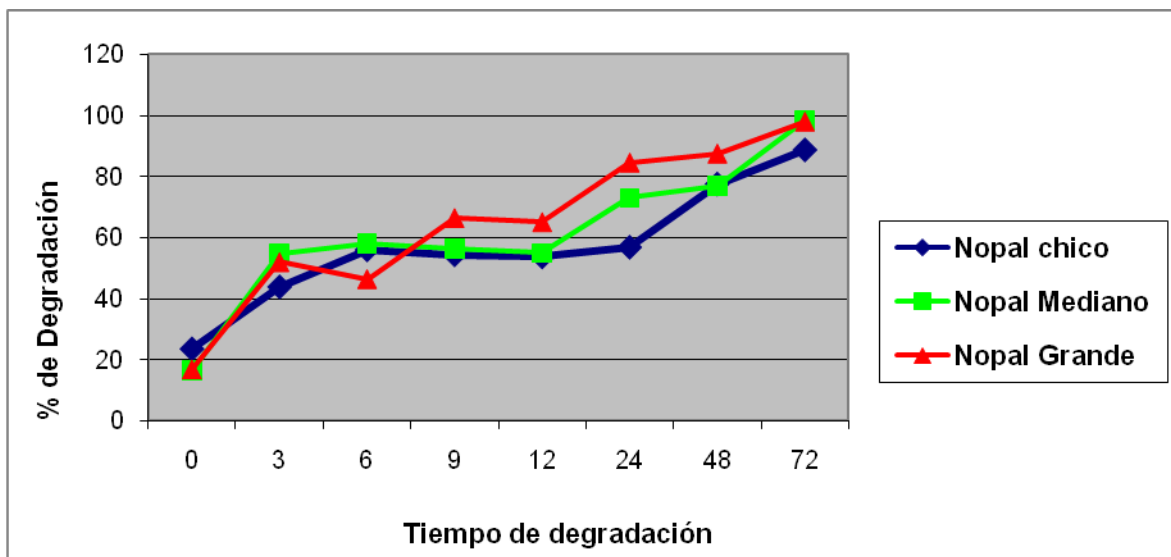
Cuadro 11.- Efecto de el tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la degradación porcentual de la MS.

	Horas de Degradación en rumen									X	EE ±	Sig
	0	1	3	6	9	12	24	48	72			
P.chica	28.8 ^a	40.5 ^b	45.5 ^b	40.3 ^b	48.5 ^b	48.1 ^b	57.9 ^c	86.6 ^d	88.0 ^d	58.4	1.2	***
EE±	3.65	2.59	2.48	2.21	1.89	2.32	0.91	2.87	1.70			
P.Mediana	29.9 ^a	39.4 ^b	40.9 ^b	41.7 ^b	43.2 ^b	58.9 ^c	55.8 ^c	74.0 ^d	86.8 ^d	51.3	1.1	***
EE±	3.13	3.72	2.32	1.32	1.74	7.32	2.79	3.33	2.83			
P.Grande	27.7 ^a	37.7 ^b	43.8 ^b	45.0 ^b	45.4 ^b	50.2 ^b	62.5 ^c	79.3 ^d	81.7 ^d	53.5	1.1	***
EE±	3.74	2.28	2.52	2.29	1.45	1.94	2.89	1.91	0.71			
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			

a , b, c, d= Dif (P<0.05) dentro de renglón.

Sig= Significancia: NS: No significativa (P>0.05), ***= P<0.001.

Gráfica 4. Degradación de la MS del nopal por tamaño de penca.



V. 3. 2 Degradabilidad de la Proteína Cruda de las pencas de diferentes tamaños

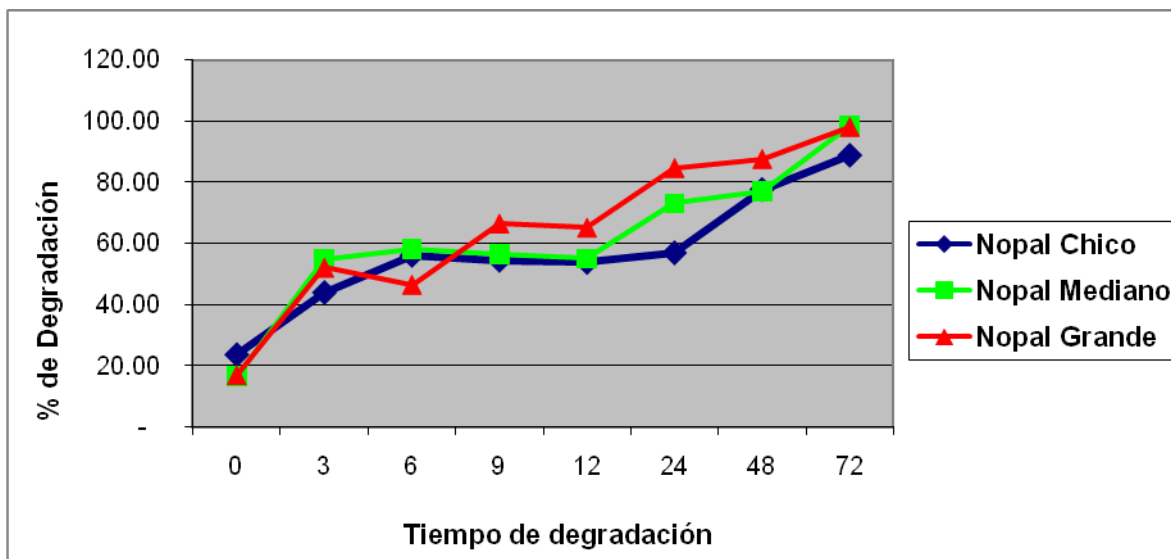
El comportamiento degradativo de la PC de acuerdo a los diferentes tamaños penca se aprecia en el Cuadro 12, en el cual se observa un rango de degradación inicial en el tiempo 0 de 16.4% a 23.6%, con un incremento ($P<0.05$) de la hora 0 a la hora 3 a un 43 y 54 %, posteriormente la degradación se detiene alrededor de las 24 hrs, sin encontrar diferencias ($P>0.05$) (Grafica 5), a partir de las 24 hrs. se reinicia la degradación hasta llegar a valores de 88.8, 98.4 y 97.9 a las 72 hrs. de incubación en la Pch, Pm y Pg respectivamente. De la misma forma que con la MS solo se presentaron diferencias ($P<0.001$) entre horas de degradación y no ($P>0.05$) entre los tamaños de las pencas.

Cuadro 12. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (*Opuntia Ficus indica*) en la degradación de PC en el tiempo.

	Horas de Degradación en rumen								EE ±	Sig	
	0	3	6	9	12	24	48	72			
Pch	23.6 ^a	43.9 ^b	56.1 ^b	54.5 ^b	53.8 ^b	56.9 ^{bd}	77.6 ^{cd}	88.8 ^c	50.0	2.01	***
EE±	3.6	7.7	6.0	6.7	9.5	13.4	7.7	6.7			
Pm	16.4 ^a	54.8 ^b	57.9 ^b	56.3 ^b	54.9 ^b	73.0 ^{bd}	76.9 ^{cd}	98.4 ^c	50.4	2.3	***
EE±	4.8	6.0	5.1	5.5	6.7	9.5	7.7	9.5			
Pg	17.0 ^a	52.0 ^b	46.5 ^b	66.5 ^b	65.1 ^b	84.5 ^{bd}	87.5 ^{cd}	97.9 ^c	46.6	2.3	***
EE±	6.8	6.7	6.0	7.7	5.5	13.4	6.0	6.7			
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			

Sig. = Significancia: NS: No significativa ($P>0.05$), ***= $P<0.001$.

a , b, c, d= Dif. ($P<0.05$) dentro de renglón.

Grafica 5. Degradación de la PC del nopal por tamaño de penca.

V. 3. 3 Degradabilidad de la Fibra Detergente Neutro de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 13 se observa el comportamiento degradativo de la FDN de las pencas de nopal de diferentes tamaños, el cual nos indica que tiene una buena proporción de elementos de rápida degradación, sobre todo en la Pg, comenzando en el tiempo 0 con una degradación del 19.46%, 27.19% y 37.48%, en la Pch, Pm y Pg respectivamente, sin encontrar diferencias ($P > 0.05$) en el tamaño de penca, pero si en el tiempo, observando un incremento ($P < 0.05$) en la hora 1 a la 3 y de la hora 3 a la 6 ($P < 0.05$), a partir de esta hora la degradación se detiene, reanudando alrededor de las 48 hrs, terminando a las 72 hrs con una degradación alrededor del 80% de las fracciones fibrosas de la Pch (grafica 6).

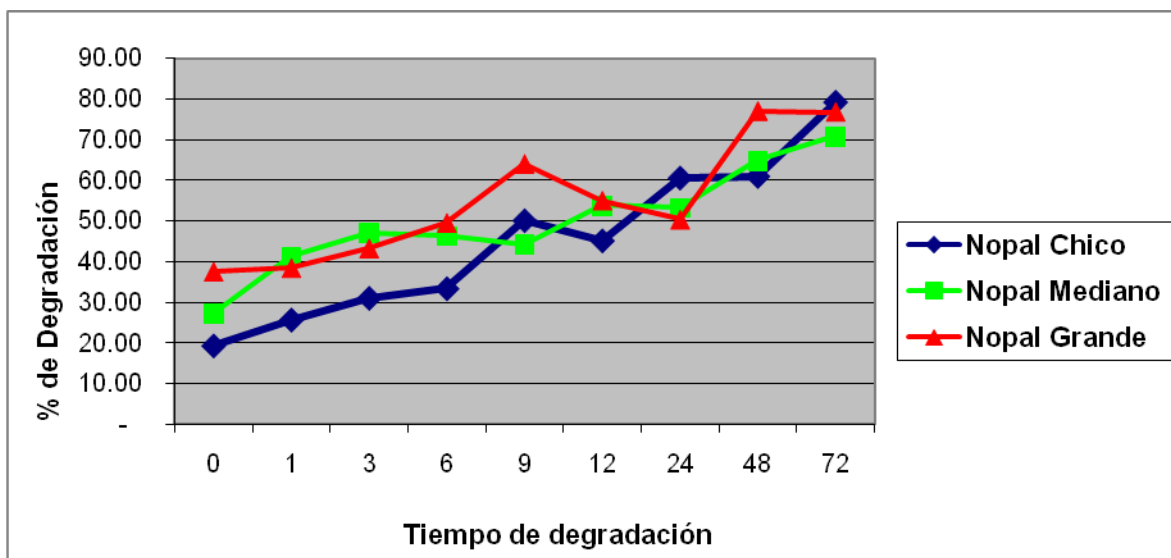
El contenido de FDN esta relacionado con la digestibilidad y degradabilidad de los alimentos (Van Soest et al., 1982), la cual en plantas más jóvenes se espera una mayor degradación y digestibilidad en este caso la Pch. La degradabilidad de un alimento depende de sus características químicas, así como el contenido de FND y FAD (Andrade, 2005), pudiendo esperar una menor degradabilidad en plantas de mayor edad. En este caso solo se observó una menor degradación ($P < 0.05$) en la penca grande.

CUADRO 13. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la degradación de FDN en el tiempo

	Horas de Degradación en rumen										EE ±	Sig
	0	1	3	6	9	12	24	48	72	X		
Pch	19.46 ^a	25.8 ^a	31.14 ^b	33.47 ^c	50.17 ^c	45.22 ^c	60.62 ^c	61.02 ^d	79.21 ^d	45.12 ^a	2,10	***
EE±	5,20	5,01	4,60	6,10	6,10	7,09	8,60	7,09	6,10			
Pm	27,19 ^a	41,20 ^a	47,12 ^b	46,32 ^c	44,24 ^c	53,75 ^c	53,29 ^c	64,75 ^d	70,86 ^d	49,86 ^a	2,20	***
EE±	3,80	4,60	3,80	4,09	6,10	5,40	8,60	7,09	12,20			
Pg	37,48 ^a	38,40 ^a	43,22 ^b	49,50 ^c	64,07 ^c	55,01 ^c	50,32 ^c	77,10 ^d	76,92 ^d	54,67 ^b	2,00	***
EE±	3,80	4,30	6,10	5,01	6,10	5,40	7,09	6,10	8,60			
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		

Sig= Significancia: NS:No significativa ($P > 0.05$), ***= $P < 0.001$.

a , b, c, d= Dif ($P < 0.05$) dentro de renglón.

Gráfica 6. Degradación de la FDN del nopal por tamaño de penca.

V. 3. 4 Degradabilidad de la Fibra Detergente Acida de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 14 se observa el comportamiento degradativo de la fracción de fibra detergente acida de la penca de acuerdo a su tamaño, el nos indica que contiene una elevada cantidad de elementos de rápida degradación en el tiempo 0 (23.34, 31.34 y 41.33% en la Pch, Pm y Pg respectivamente), sin encontrar diferencias entre los tamaños de penca ($P > 0.05$), con un incremento ($P < 0.05$) de la hora 0 a la 1 (51.81%, 41.58% y a 52.07%), por lo tanto, en la primera hora de incubación el 50% de la FDA se ha degradado, posteriormente la degradación se detiene hasta las 12 horas, a partir de este momento se reinicia un proceso de degradación ($P < 0.05$) hasta llegar a valores de 88.83%, 98.44% y 97.89% en la Pch, Pm y Pg respectivamente a las 72 horas de incubación (grafica 7).

El tamaño de la penca influyó en la degradación de la FDA, observándose una menor degradación promedio ($P < 0.05$) en la Pm (57.02), y siendo similar ($P > 0.05$)

en la Pch y Pg (59.10 y 59.96% respectivamente) este comportamiento se aprecia en la Gráfica 7.

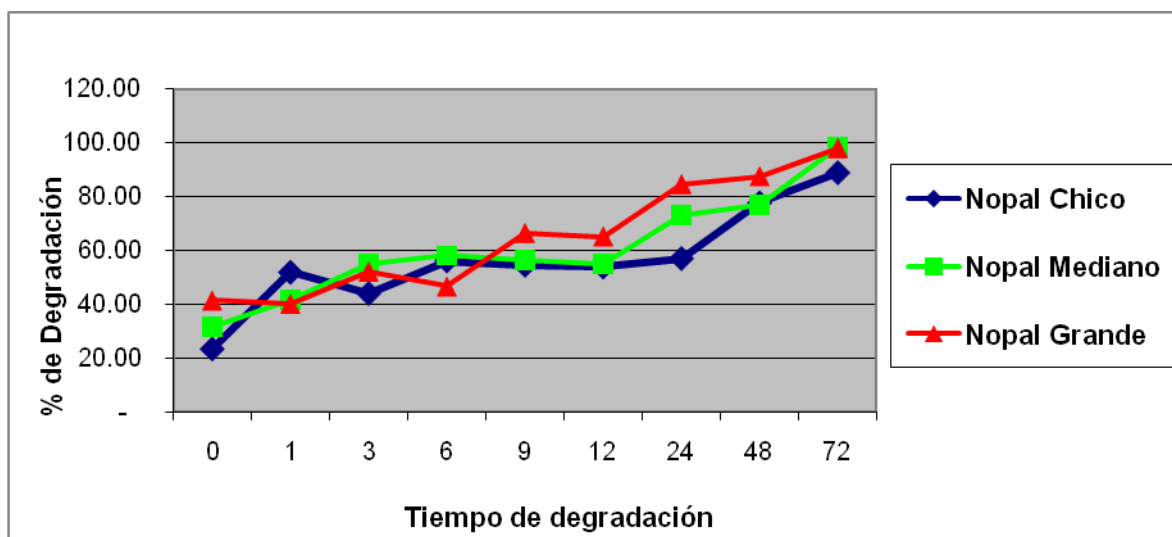
CUADRO 14. Efecto de el tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la degradación porcentual de la FDA.

	Horas de Degradación en rumen									X	EE ±	Sig
	0	1	3	6	9	12	24	48	72			
P.Chica	23.34 ^a	51.81 ^b	43.95 ^b	56.08 ^b	54.47 ^b	53.79 ^b	56.94 ^{bd}	77.64 ^{cd}	88.83 ^c	59.1	3.7	***
EE±	6,02	5,5	7,7	6,02	6,7	9,5	13,47	7,7	6,7			
P.Mediana	31.34 ^a	41.56 ^b	54.84 ^b	57.96 ^b	56.31 ^b	54.96 ^b	73.01 ^{bd}	76.89 ^{cd}	98.44 ^c	57.0	3.4	***
EE±	6,02	9,5	6,02	5,09	5,50	6,70	9,50	7,70	9,50			
P.Grande	41.33 ^a	40.08 ^b	52.07 ^b	46.53 ^b	66.46 ^b	65.12 ^b	84.55 ^{bd}	87.48 ^{cd}	97.89 ^c	59.9	3.8	***
EE±	6,20	6,70	6,7	6,02	7,70	5,50	13,40	6,02	6,70			
Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			

Sig= Significancia: NS:No significativa (P>0.05), ***= P<0.001.

a , b, c, d= Dif (P<0.05) dentro de renglón.

Gráfica 7. Degradación de la FDA del nopal por tamaño de penca.



V. 4 EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PENCA DE NOPAL SOBRE LA CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN

V. 4. 1 Cinética de degradación de la Materia Seca de las pencas de diferentes tamaños

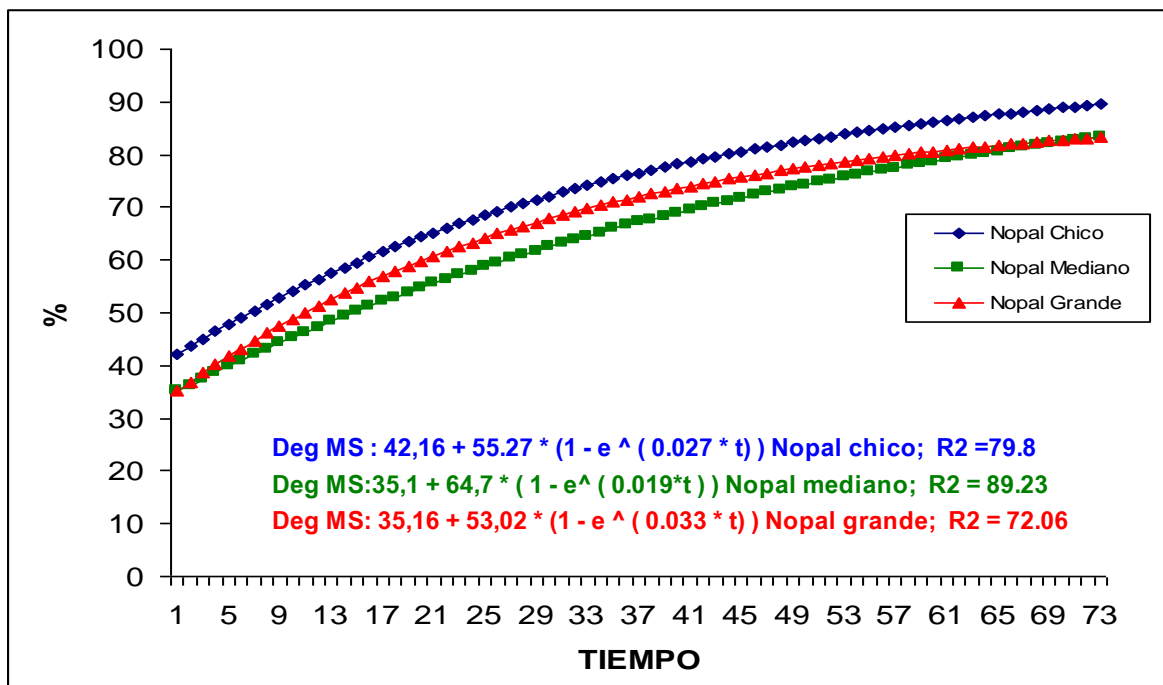
En el Cuadro 15 y Gráfica 8 se presenta la cinética de degradación de la MS de la penca de nopal de diferentes tamaños, los resultados indicaron que la Pch presenta una fracción soluble (*a*) mayor ($P < 0.05$) que la Pm y Pg ($P > 0.05$). Sin embargo, la fracción de lenta y potencialmente degradable (*b*) fue mayor ($P < 0.05$) en la Pm. Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (*c*) fue similar ($P > 0.05$) en las pencas de diferentes tamaños. El resultado a esto fue una similar ($P > 0.05$) degradación potencial de las Pch y Pm, y menor en la Pg, lo cual al ajustarse a una tasa fraccional de paso (K_p) de 0.04/h 0.06/h y 0.08/h, resultó en una mayor ($P < 0.05$) degradabilidad efectiva de la Pch, y similar ($P > 0.05$) entre la Pm y Pg. Existe poca información relacionada a la cinética de degradación del nopal, sin embargo, Cerrillo y Juárez (2004) utilizando la técnica de producción de gas observaron una degradabilidad potencial en *Opuntia spp* de 44.8%, lo cual es inferior a lo observado en este trabajo con *Opuntia ficus indica* (superior al 88% a las 72 horas). Çürek, 2001 reporta una degradación potencial a las 96 horas de 84% y 65% de la MS en cladodios jóvenes y maduros respectivamente.

Cuadro 15. Parámetros de cinética de la degradación de la MS de penca de nopal con diferentes tamaños

Tamaño de penca	Deg. Potencial ¹			Deg. Efectiva ²			R ²	EEM±	
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp =0.06			Kp =0.08
P. Chica	42,16 ^a	55,27 ^a	0,027 ^a	97,43 ^a	64,43 ^a	59,31 ^a	56,10 ^a	79.8	6.55
P. Mediana	35,1 ^b	64,7 ^b	0,019 ^a	99,8 ^a	55,93 ^b	50,66 ^b	47,51 ^b	89.23	4.15
P. Grande	35,16 ^b	53,02 ^a	0,033 ^a	88,18 ^b	59,12 ^b	53,97 ^b	50,64 ^b	72.06	6.48
Sig	**	**	NS	***	***	**	**		

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. ¹Deg. Potencial= a + b; ² Deg. Efectiva= a + b (c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.04/h,0.06/h y 0.08/h). Sig= Significancia: NS:No significativa (P>0.05), ** P<0,01, ***= P<0.001.

Grafica 8. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la cinética de degradación de la MS en el tiempo.



V. 4. 2 Cinética de degradación de la Proteína Cruda de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 16 y grafica 9 se presenta la cinética de degradación de la PC de la penca de nopal de diferentes tamaños, los resultados obtenidos indican que la Pch presenta una fracción soluble (*a*) mayor ($P < 0.05$) que la Pm y Pg sin encontrar diferencias entre las dos ultimas ($P > 0.05$).

Sin embargo, la fracción de lenta y potencialmente degradable (*b*) en las pencas de diferentes tamaños se comportó de manera diferente ($P < 0.05$) (85, 51 y 54 % en Pch, Pm y Pg respectivamente). Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (*c*) fue diferente ($P < 0.05$) entre pencas de diferentes tamaños, siendo mayor en la Pm seguido de la Pg y por ultimo la Pch. El resultado fue una mayor ($P < 0.05$) degradación potencial en la Pch y similar ($P > 0.05$) entre la Pm y Pg, pero al ajustar a una tasa fraccional de paso (Kp) de 0.04/h 0.06/h y 0.08/h resulta en una menor degradabilidad efectiva ($P < 0.05$) en la Pch, influenciada directamente por una menor velocidad de degradación (2%/hr).

La cinética de degradación de la PC del nopal se aprecia en la tabla 16, en donde se observa que la penca chica comienza por encima de la Pm y Pg, pero la velocidad en la que se degrada pronto es superada por estas alrededor de la hora 3, conforme avanza el tiempo, la Pm y Pg detienen su degradación terminado a las 72 hrs por debajo de la Pch. La PC de la Pch se degrada mas lenta pero constantemente, por eso cuando se ajusta a una tasa fraccional de degradación, esta siempre va a ser menor en la Pch.

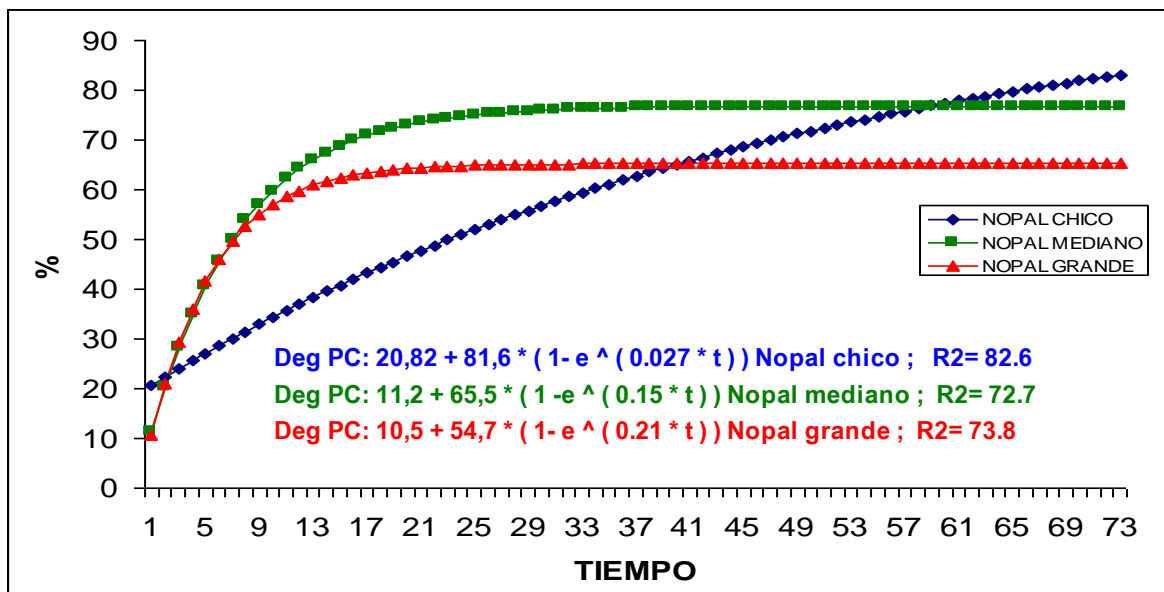
CUADRO 16. Parámetros de cinética de la degradación de la PC de penca de nopal con diferentes tamaños

PC	Deg. Potencial ¹			Deg. Efectiva ²			R ²	EEM ±	
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06			Kp=0.08
Nopal Chico	20.82 ^a	81.63 ^a	0.02 ^a	102.45 ^a	48.03 ^a	41.22 ^a	37.14 ^a	82.6	11.86
Nopal Mediano	11.24 ^b	65.56 ^b	0.15 ^b	76.8 ^b	62.99 ^a	58.06 ^b	53.99 ^b	72.7	15.93
Nopal Grande	10.53 ^b	54.71 ^c	0.21 ^c	65.24 ^b	56.48 ^b	53.08 ^b	50.14 ^b	73.8	11.03
Sig	**	***	***	**	**	**	**		

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

Sig= Significancia: NS:No significativa (P>0.05), ** P<0,01, ***= P<0.001.

Gráfica 9. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la cinética de degradación de la PC en el tiempo.



V. 4. 3 Cinética de degradación de la Fibra Detergente Neutro de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 17 y grafica 10, se presenta la cinética de degradación de la FDN de la penca de nopal con diferentes tamaños, los resultados indican que la pencas de diferente tamaño son diferentes en su fracción *a* ($P < 0.05$), siendo mayor ($P < 0.05$) en la Pg, seguida de la Pm y por último la Pch. El comportamiento que presenta la fracción de lenta y potencial degradación (*b*), es mayor ($P < 0.05$) en la Pg, seguido de la Pch y por ultimo la Pm. Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (*c*) fue menor ($P < 0.05$) en la Pg (0.053/h), seguida de la Pch ($P < 0.05$) y por último la Pm.

El resultado de esto fue una degradación potencial mayor ($P < 0.05$) en la Pg (95%), seguida de la Pch (72%) y por ultimo la Pm (58%). Al aplicar una tasa fraccional de paso (*Kp*) de 0.04/h 0.06/h, y 0.08/h, la Pg presenta una degradación mayor ($P < 0.05$) que la Pch y Pm. Esto se debe a que presenta una fracción *a* y *b* superior que la Pch y Pm.

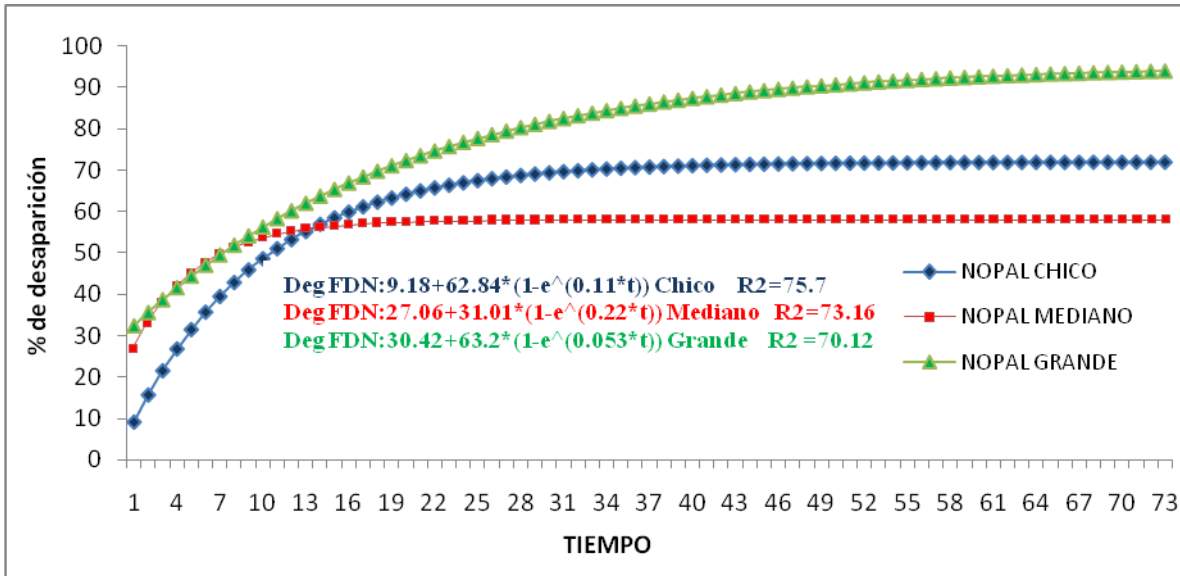
Ramírez et al. (2000), reportan una degradación de la FND en *Opuntia lindehimieri* del 82%.

CUADRO 17. Parámetros de cinética de la degradación de la FDN de penca de nopal con diferentes tamaños o madurez.

FDN	Deg. Potencial ¹				Deg. Efectiva ²			R ²	EEM±
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Nopal Chico	9,18 ^a	62,8 ^a	0,11 ^a	72,02 ^a	55,26 ^a	49,84 ^a	45,56 ^a	75.7	12.76
Nopal Mediano	27,0 ^b	31,0 ^b	0,22 ^b	58,07 ^b	53,44 ^a	51,60 ^a	50,01 ^a	73.16	7.7
Nopal Grande	30.32 ^c	63.2 ^c	0.053 ^c	93.52 ^c	66.33 ^b	59.96 ^b	55.50 ^b	70.12	10.26
Sig	***	***	***	***	**	**	**		

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. ¹ Deg. Potencial= a + b; ² Deg. Efectiva= a + b (c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.04/h,0.06/h y 0.08/h). Sig= Significancia: NS:No significativa ($P > 0.05$), ** $P < 0,01$, ***= $P < 0.001$.

Gráfica 10. Efecto del tamaño de la penca de nopal en la degradación de la FDN en el tiempo.



V. 4. 4 Cinética de degradación de la Fibra Detergente Ácida de las pencas de diferentes tamaños

En el Cuadro 18 y grafica 11 se presenta la cinética de degradación de la FDA en la peca de nopal con diferentes tamaños, los resultados indicaron que la Pch presenta una fracción soluble (a) mayor que la Pg ($P < 0.05$), pero similar ($P > 0.05$) a la Pm. Por otro lado, la fracción de lenta y potencial degradación (b) presenta el mismo comportamiento degradativo, siendo Pm la que presenta una fracción mayor ($P < 0.05$). Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (c) fue similar ($P > 0.05$) entre las pencas de diferente tamaño. El resultado a esto fue una similar ($P > 0.05$) degradación potencial de las Pch y Pm, y menor ($P < 0.05$) en la Pg, lo cual al ajustarse a una tasa fraccional de paso de 0.04/h 0.06/h y 0.08/h, resultó en una mayor ($P > 0.05$) degradabilidad efectiva de la Pch, seguida de la Pg y por ultimo la Pm. Teixeira et al, (1999) trabajando con caprinos reporta una degradación efectiva de la fracción de fibra acida de *Nopalea cochenillifera* (L.) Lyons-Cactaceae en Pch, Pm, Pg, de 15, 16 y 19 % respectivamente.

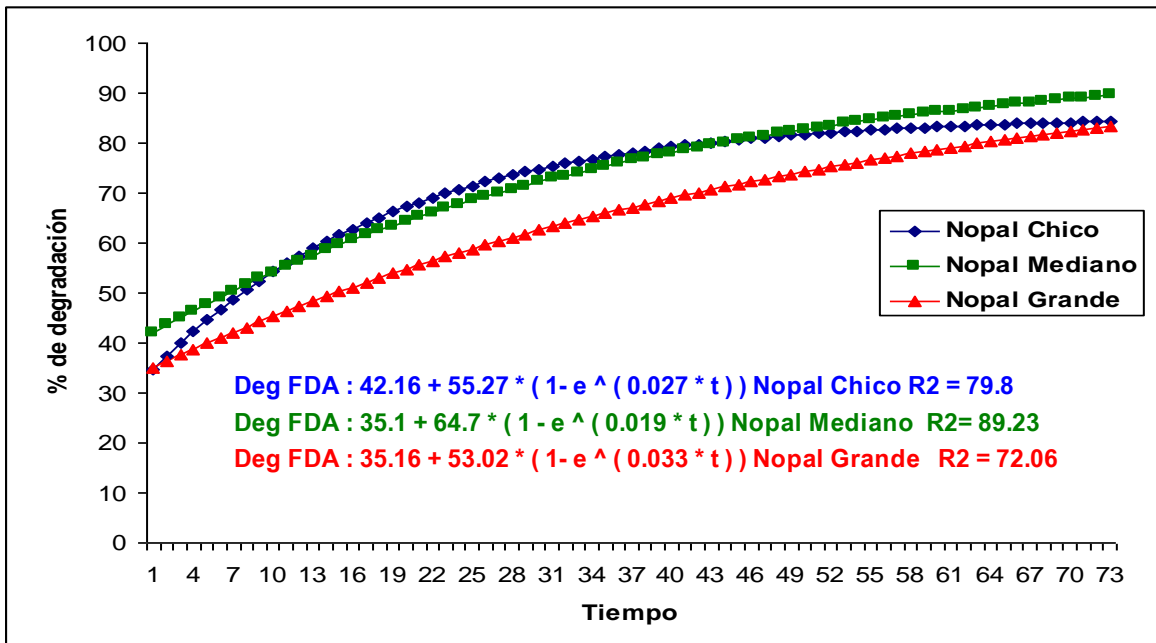
TABLA 18. Parámetros de cinética de la degradación de la FDA de peca de nopal con diferentes tamaños.

FDA	Deg. Potencial ¹				Deg. Efectiva ²			R ²	EM
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08		
Nopal Chico	42,16 ^a	55,27 ^a	0,027 ^a	97,43 ^a	64,43 ^a	59,31 ^a	56,10 ^a	79.8	6.55
Nopal Mediano	35,1 ^{a b}	64,7 ^c	0,019 ^a	99,8 ^a	55,93 ^b	50,66 ^b	47,51 ^b	89.23	4.15
Nopal Grande	35,16 ^b	53,02 ^b	0,033 ^a	88,18 ^b	59,12 ^c	53,97 ^c	50,64 ^c	72.06	6.48
Sig	**	**	NS	**	***	***	***		

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. ¹ Deg. Potencial= a + b; ² Deg. Efectiva= a + b (c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.04/h, 0.06/h y 0.08/h).

Sig= Significancia: NS: No significativa ($P > 0.05$), ** $P < 0,01$, ***= $P < 0.001$.

Gráfica 11. Efecto del tamaño de la penca de Nopal en la cinética de degradación de la FDA en el tiempo.



V. 5 EFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO SOBRE LA TASA DEGRADACIÓN DE LOS NUTRIMENTOS

El nivel de consumo no afectó ($P > 0.05$) la degradación de la MS, PC, FDN y FDA de las pencas de nopal de diferentes tamaños (Cuadro 19).

Huntington y Givens (1995), mencionan que el nivel de consumo de los animales que están sometidos a pruebas de degradabilidad *in situ*, puede influir en el nivel de degradación del alimento, sin embargo, los datos obtenidos en este trabajo no arrojaron diferencias. Se pensó que como todos los animales se sometieron a un periodo de adaptación a la ración desarrollaron así una parecida microflora ruminal no variando así la degradación, aun cuando se sometieron a dos niveles de consumo, posiblemente la diferencia en el nivel de consumo no sea suficiente para afectar la degradación.

TABLA 19. Efecto del nivel consumo de los diferentes tamaños de penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) en cabras fistuladas en la degradabilidad *in situ* de la MS, PC, FDN Y FDA.

		Nopal Chico	Nopal Mediano	Nopal Grande	Sig.	% Deg X
MS	Consumo alto	55.18	50.74	66.13	NS	57.35±3.02
	EE±	1.96	1.74	2.11		
	Consumo Bajo	53.84	54.29	54.13	NS	54.09±2.97
	EE±	1.97	1.7	1.53		
	Sig.	NS	NS	NS		
PC	Consumo alto	46.58	44.14	50.82	NS	47.18±4.62
	EE±	2.45	2.2	4.23		
	Consumo Bajo	40.9	41.47	54.44	NS	45.60±5.54
	EE±	2.3	2.78	1.96		
	Sig.	NS	NS	NS		
FDN	Consumo alto	44.1	49.93	63.73	NS	52.59±3.97
	EE±	2.7	4	4.5		
	Consumo Bajo	44.3	52.06	52.86	NS	49.74±3.94
	EE±	3.1	2.8	2.9		
	Sig.	NS	NS	NS		
FDA	Consumo alto	59.8	52.33	71.76	NS	61.30±4.27
	EE±	4.28	3.01	5.98		
	Consumo Bajo	53.74	60.76	57	NS	57.17±3.33
	EE±	2.72	2.54	4.75		
	Sig.	NS	NS	NS		

Sig= Significancia: NS:No significativa (P>0.05), ***= P<0.001.

NS:No significativa (P>0.05),

V. 6 EFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO EN LA CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA PENCA DE NOPAL CON DIFERENTES TAMAÑOS

En el Cuadro 20 se presenta la cinética de degradación de la MS, PC, FDN y FDA en la penca de nopal con diferentes grados de consumos, los resultados indicaron que no ($P>0.05$) existió un efecto del nivel de consumo en los diferentes niveles de consumo,

CUADRO 20. Parámetros de cinética de la degradación de la MS, PC, FDN Y FDA de la penca de nopal con diferentes niveles de consumo.

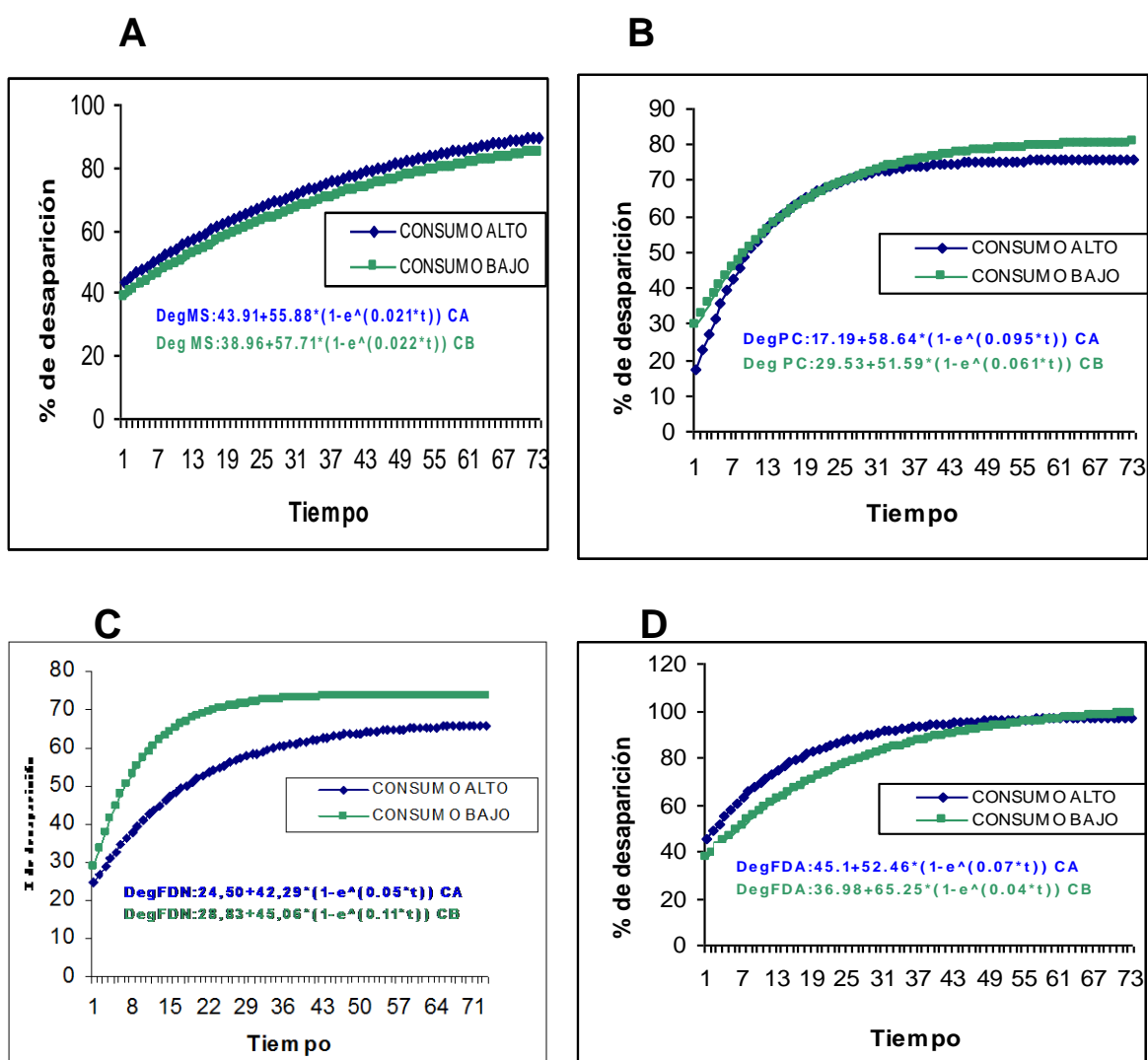
MS	Deg. Potencial ¹			Deg. Efectiva ²			R ²	EM	
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06			Kp=0.08
Consumo Alto	43.91 ^a	55.88 ^a	0.021 ^a	99.79 ^a	63.14 ^a	58.39 ^a	55.52 ^a		
Consumo Bajo	38.96 ^a	57.71 ^a	0.022 ^a	96.67 ^a	59.43 ^a	54.44 ^a	51.40 ^a		
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
PC	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08	R ²	EM
Consumo Alto	17.19 ^a	58.64 ^a	0.095 ^a	75.83 ^a	58.45 ^a	53.13 ^a	49.02 ^a		
Consumo Bajo	29.53 ^a	51.59 ^a	0.061 ^a	81.12 ^a	60.68 ^a	55.53 ^a	51.8 ^a		
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
FDN	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08	R ²	EM
Consumo Alto	24.5 ^a	42.29 ^a	0.05 ^a	66.79 ^a	47.99 ^a	43.72 ^a	40.76 ^a		
Consumo Bajo	28.83 ^a	45.06 ^a	0.11 ^a	73.89 ^a	61.874 ^a	57.98 ^a	54.91 ^a		
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
FDA	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06	Kp=0.08	R ²	EM
Consumo Alto	45.1 ^a	52.46 ^a	0.07 ^a	97.56 ^a	78.48 ^a	73.34 ^a	69.58 ^a		
Consumo Bajo	36.98 ^a	65.25 ^a	0.04 ^a	102.23 ^a	69.605 ^a	63.08 ^a	58.73 ^a		
Sig	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		

a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fraccional de degradación. ¹ Degradación. Potencial= a + b; ² Degradación efectiva= a + b (c/c+kp). Kp= Tasa fraccional de paso (0.04, 0.06 y 0.08 %/h).

Sig= Significancia: NS:No significativa ($P>0.05$),

En la Gráfica 12 se presenta la cinética de degradación de la MS, PC, FDN y FDA de la peca de nopal con diferentes consumos, observando que su comportamiento degradativo en el CA y el CB no presenta diferencias ($P>0.05$),

Gráfica 12. Efecto del consumo en la degradación; A) MS; B) PC; C) FDN; D) FDA, de la peca de nopal en el tiempo.



Para cabras que presentan diferentes niveles de consumo, la degradación de las diferentes fracciones estudiadas en este trabajo se comportan igual sin importar el tamaño de la penca que sea consumida. Huntington y Givens (1995), mencionan que el nivel de consumo de los animales que están sometidos a pruebas de degradabilidad *In situ*, puede influir en el nivel de degradación del alimento, lo que se puede explicar por su efecto en el ecosistema microbial del contenido ruminal.

VI. CONCLUSIONES

El nopal puede considerarse una buena opción de suplementación para animales en el semidesierto, no solo por que contiene una buena proporción de agua, cerca del 90%, si no que también por que, puede aportar una buena parte de la energía que un animal consume durante el día, ya que tan solo la MS tiene una degradación del 80% y de esto el 56% es MO digestible.

El nopal puede considerarse como una buena fuente de fibra para los animales, ya que la degradación de la FDN puede llegar hasta el 80%, ésta también tiene una relación directa con la producción de energía en el organismo.

La cantidad de algunos minerales presentes en el nopal se presentan en muy baja cantidad, tomando así en cuenta que habrá de encontrar una manera de suplementar la falta de estos elementos en el animal. En contraste el contenido de Ca en las pencas de Nopal se encuentra en una muy alta concentración, no sabiendo cuanto de éste estará biodisponible para el animal, se necesitarán realizar más estudios en esta área.

Aun cuando se trataron de simular las condiciones corporales de los animales utilizando dos niveles de consumo, éste no afectó su degradación en ninguno de sus componentes.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. 1984.** Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pp 152-157.
- Andrade 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. Tesis Doctoral. Dep. Producción Animal. Universidad de Murcia. España.
- Atti N., M .Mahouachi, H. Rouissi. 2005.**The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. *Med. Sci.* 73 229–235.
- Ben Salem H., A. Nefzaoui, L. Ben Salem. 2002.** Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis* and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 96 15-30.
- Ben Salem H., Nefzaoui A., L. Salem Ben. 2004.** Spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *J. Animal Sci.* 51: 65–67.
- Bravo H. H., L. Scheinvar. 1995.** El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. pp 233.
- Broderick G. A. 1994.** Quantifying forage protein quality. En G. C. Fahey, Jr (ed.). Forage Quality. Evaluation , and utilization. American Society of Agronomy, Inc., Madison Wis. pp 200-229.

- Buxton, D.R., S. L. Fales. 1994.** Plant environment and quality. In: Fahey Jr., G.C. (Editor-in-Chief), National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. University of Nebraska, Lincoln, NE, pp. 155±199.
- Cantú B. J. E. 1997.** Zootecnia de Ganado caprino (una revisión). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna. Torreon.232. pp 30-35.
- Carbonell M., ZamoraS., Langenscheidt A. y Franco C., 1970,** Minería Prehispánica en la Sierra Gorda de Querétaro: Secretaria del Patrimonio Nacional, Consejo de Recursos Naturales No renovables, 133 p.
- Cerrillo M. A., R. A. S. Juárez. 2004.** *In Vitro* gas production parameters in cactus and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. Liv. Res. Rural Dev. 16: 1-8.
- Cofré B. P. 2007.** Sistemas de producción caprinos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias/Centro Regional de Investigación Quilamapu. Gobierno de Chile. <http://www.inia.cl/quilamapu/textos/cap2.htm>. Ultima consulta Diciembre, 2007.
- Çürek M., N. Özen. 2001.** Feed Value Of Cactus And Cactus Silage. Turkey, Turk J Vet Anim Sci:633-639.
- Delgadillo J. A. 2005.** Fotoperíodo y bioestimulación: Métodos naturales para controlar la reproducción caprina. XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa.. Pp. 131-141.

- Delgadillo J.A., J. A. Flores., F. G. Véliz., H. F. Hernández, G. Duarte., J. Vielma., P- Poindron., P. Chemineau., B. Malpaux. 2002.** Inducción of sexual activity in lactating anovulatory females goats using male goats treated only with artificially long days. J. Animal. Sci. 80: 2780-2786.
- Dhanoa M. S. 1988.** On the analysis of Dacron bag data for low degradability feeds. GFS. 43: 441-444.
- Ducoingc W. A. E. 2006.** Introducción a la caprinocultura. Clases en línea. FMVZ-UNAM.2006.www.http://amaltea.fmvz.unam.mx/clases%en%linea%.html Última consulta Diciembre, 2006.
- FAO. 2004.** World Statistics. Glipha. Global livestock production and health atlas. Animal production and health division. <http://www.fao.org/ag/aga/glipha/index.jsp> Última consulta Agosto, 2008.
- FAO. 2006.** World Statics: <http://www.FAO.org> . ultima consulta Septiembre del 2008
- Fernández F. J. A. 2005.** El ganado caprino español. Federación española de asociaciones de ganado selecto. <http://www.agroinformacion.com/leer-articulo.aspx?not=437>. Ultima consulta Agosto 2008.
- FIRA. 1999.** Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México. FIRA. Banco de México XXXII (313): 15-62.
- Flores V.C.A., J. R. Aguirre 1979.** El nopal como forraje. UACH-CIESTAM. Chapingo, México. pp 80, 91.

- Fuentes F.R., 1997.** Feeding Prickly Pear Cactus to Small Ruminants in Northern Mexico. I. Gotas Department of Animal Production Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro" Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Gamarra J. 2005.** Estructura y funcionamiento del sistema ganadero caprino en San José Ixtapa, Reserva de la Biosfera Tehucan – Cuicatlán (Puebla, México). Boletín IFP. Año 3, Número 12. <http://boletin.fundacionequitas.org/12/12.11.htm>
- Gebremariam T., S. Melaku, A. Yami. 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 Science and Technology. J. Animal Sci.
- Gibson, A. C. y P.S. Nobel. 1990.** The Cactus Primer, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- González J. S., M. D. Carro, S. López. 1991.** Digestion ruminal de los forrajes: Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña. FF. Bermudez. (ed). CSIC. Madrid. España. pp 93-104
- Greene, L.W., Pinchak, W.E., Heitschmidt, R.K., 1987.** Seasonal dynamics of minerals in forages at the Texas experimental ranch. J. Range Manage. 40, 502±506.
- Haenlein, G.F.W., 1980.** Mineral nutrition of goats. J. Dairy Sci. 63, 1729±1748.
- Haenlein G. F. 1987.** Mineral and vitamin raqueriment and diferencies. IV conf on gota. Brasilia. Brasil.

- Haenlein, G.F.W., 1991.** Advances in the nutrition of macro and microelements. In: Proceedings of the Seventh Annual Conference on Goat Production, Monterrey, NL, Mexico, pp. 290- 320.
- Hernandez-Silva, G.(Ed.), 2009.** Mercurio: Impacto en el Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda Queretana, México. Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro. México.
- Huntington J. A y D. I. Givens. 1995.** The *in situ* Technique for Studying the Rumen Degradation of Feeds: A Review of the Procedure. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B). 65: 63-78.
- INEGI. 2007.** Estadística Nacional:
<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&e=> . Ultima consulta Noviembre 2008.
- Kawas R.J., Pérez, B. 2008.** Determinación de minerales en forrajes por Espectrometría de Emisión Óptica Inductiva Acoplada a Plasma (OES-ICP). Laboratorios AQUA. Monterrey, N.L. México.
- Kessler .1981.** Elements mereraux majeurs chez la chevre donnés de base et recommandés nutrition et systemes d' alimentation de la chevre. Toves, France.
- Landau S., P. Morand-Fehr., P. Bas., P. Schmidely y S. Giger-Reverdin. 1997.** Nutritional efficiency for conception, pregnancy and lactation in goats with an emphasis on glucose and nitrogen metabolism Vol 2. VI International conference on goats. Edt.. International academic publisher. Beijing. Peoples Republic of China. pp 528-536.

- Licitra G. G., T. M. Hernández y P. J. Van Soest. 1996.** Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57: 347-358.
- López G. J. J., R. J. M. Fuentes, G. A. Rodríguez, 2003.** Organización De Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje; Producción y uso de Opuntia como forraje en el centro-norte de México. Ed. Candelario Mondragón-Jacobo. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). México. Cp.3.
- Malpaux B. 2005.** Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacan Sinaloa. Octubre de 2005. pp 99-131.
- McDonald L. R., 1981.** A revised model for estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.* 96: 251-252.
- McDowell, L.R., 1997.** Minerals for Grazing Ruminants in Tropical Regions, 3rd Edition. Bulletin. University of Florida, pp. 8
- Mehrez A. Z., E. R. Ørskov. 1977.** A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. 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. 2005. pp 99-131.

- Mishra 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.) with or without groundnut meal. J. Animal Sci. 63: 125-134.
- Mondragon C. J., G. S. Méndez, J. Olmos. 2003.** El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. En. Mondragón-Jacobo F y S.Pérez. G. El Nopal (*Opuntia* spp) como forraje. Edit. FAO. Roma.
- Nobel P.S. 1983.** Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. Am J. Bot. 70: 1244- 1253.
- Nobel P.S. 1988.** Environmental biology of agaves and cacti. New York: Cambridge Univ. Press.
- Nobel P.S. 1991.** Achievable productivities of CAM plants: Basis for high values compared with C₃ and C₄ plants. Tansley Review no. 32. New Phytol. 119: 183-205.
- Nobel P.S. 1998.** Los Incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. México.
- Nobel P.S. 2003.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: El Nopal (*Opuntia* spp.) como forage; Ecofisiología de *opuntia ficus-indica*. Ed. Candelario Mondragón-Jacobo. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). México. Cp.3.
- NRC. 1980.** Mineral tolerante of domestic animal. Primera edicion. Edit. Nacional academy of sciences.washington, DC.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. Edit: Nat. Academic Press. Washington. DC.

Ørskov E. R. 1988. Nutrición proteica de los rumiantes. 1^{er} edición en español. Ed. Acribia. Zaragoza. España.

Ørskov E. R., I. McDonald 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92: 499-503.

Owens F. N., A. L. Goetch. 1984. Digesta passage and microbial protein synthesis. En: Proc.of the sixth international symposium on ruminant physiology. Control of digestion and metabolism in ruminants. Milligan, L. P., W. L. Grovum, y A. Dobson (eds). Reston Book. New Jersey. . pp: 196-226.

Ramírez R. G., R. R. Neira, R. A. Ledezma, C. A. Garibaldi. 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern México. J. Animal Sci. 36: 49-55.

Ramírez T. H. M., A. J. Reyes, R. J. Pinos, R. J. Aguirre. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. Agrociencia 41: 619-626. Junio.

Ramírez, R.G., G. F. W. Haenlein, M. A. Nuñez, 2001. Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern Mexico. J. Animal Sci. 39, 153–159.

- Reynolds S.C., J. E. Arias. 2003.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: El Nopal (*Opuntia* spp.) como forage; Antecedentes generales. Ed. Candelario Mondragón-Jacobo. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). México. Cp.1.
- Rojo R.R., Rebollar R.S., Juvencio H.M., Felipe G.R., Albarrán P.B., 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, Zac.
- SAGARPA. 2005.** Producción Caprina de carne y leche. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/DPcar.htm> Última consulta febrero, 2008.
- SAGARPA. 2007, SIACOM.** Inventario de ganado caprino, numero de cabezas. Disponible en. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/FTP/invc.pdf>. Última consulta septiembre, 2007.
- Sasaki S. S. 2002.** Mechanism of insulin action on glucosa metabolism in ruminants. J. Animal Sci 73: 423-433.
- Sauvant D., J-M. Pérez, G. Tran. 2003.** Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero Cerdos, aves, bovinos, ovinos, caprinos, conejos, caballos y peces. 1er Edición en Español Blas, B. C., V. Jimeno. V., P. García. R. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Scheinvar L. 1995.** Taxonomy of utilized opuntias. In: G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta B. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy.

Spears, J.W., 1994. Minerals in forages. In: Fahey Jr., G.C. (Editorin- Chief), National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. University of Nebraska, Lincoln, NE, pp. 281 317.

Steel G. R. , J. Torrie. 1986. Bioestadística, principios y procedimientos. Mc. Graw Hill. México.

Tegegne F., Kijora C., Peters K.J. 2006. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water Small Rum. Resch. RUMIN-3191.

Teixeira J. C., A. R. Evangelista, J. R. O. Perez, I. A. C. Molina, I. R. Moron. 1999, Cinética da digestão ruminal da palma forrageira (*nopalea cochenillifera* (L.) Lyons-cactaceae) em bovinos e caprinos,ciênc. E A. 23 179-186.

Ting L.P. 1985. Crassulacean acid metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 36: 595-622.

Underwood, E.J., 1981. 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. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. . 2nd ed. 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.

Winter K. 1985. Crassulacean acid metabolism. *En:* J. Barber & N.R. Baker (eds) Photosynthetic mechanisms and the environment. Amsterdam: Elsevier. pp.329-387.

Zarazaga L. A., J. L. Guzmán, C. Domínguez, M. C. Pérez y R. Prieto. 2005. Effect of plan of nutrition on seasonality of reproduction in Spanish Payota goats. *A. Repro. Sci.* 87 (3-4): 253-267.

VIII. ANEXOS

VIII.1. ABREVIATURAS

®: Registrado

µm: Micrómetro

a: fracción soluble

A.O.A.C.: Association of Official Analytical Chemist

b: fracción potencialmente degradable

BH: Base Húmeda

BS: Base Seca

c: Tasa fraccional de degradación

Ca: Calcio

CA: Consumo alto

CB: Consumo Bajo

CAM: Crassulacean Acidic Metabolis

CE: Carbohidratos Estructurales

CENID: Centro Nacional de Investigación Disciplinaria

Cm: Centímetro

Co: Cobalto

e: Antilogaritmo de 1

EE±: Error Estándar de la Media

EEUU: Estados Unidos de América

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FDA: Fibra Detergente Ácida

FDN: Fibra Detergente Neutro

Fé: Hierro

h: Hora

Ha: Hectárea

Hg: Mercurio

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

Kg: Kilogramos

Km: Kilómetro

Kp: tasa fraccional de paso.

m: Metro

MO: Materia Orgánica

MS: Materia Seca

MS: Materia Seca

NRC: Nutricional Research Council

°C: Grados centígrados

P: fosforo

PC: Proteína Cruda

PC-FDA: Proteína Cruda unida a la Fibra Detergente Ácido

PC-FDN: Proteína Cruda unida a la Fibra Detergente Neutro

Pch: Penca chica

PG: Penca grande

PM: Penca mediana

PV^{0.75}: Peso metabólico

Qro: Querétaro

SAGARPA: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Se: selenio

spp: Subespecie

t: tiempo

TM: TRADEMARK



XXI REUNIÓN NACIONAL SOBRE CAPRINOCULTURA
del 4 al 6 de octubre de 2006.
Asociación Mexicana de Producción Caprina, A. C.
Toluca, México.



Efecto de tamaño de corte de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) sobre la degradabilidad *in situ* y cinética de degradación de la materia seca en caprinos

Effect of the size of prickly pear cladodes (*Opuntia ficus indicus*) on dry matter *in situ* degradability and degradation kinetic in goats

Villegas DJLO¹, Aguilar BJH¹, Andrade MHM¹, Basurto GR², Jimenez SH², Vera AHR²

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario S/N, Col Cerro de las Campanas CP 76010, Santiago de Querétaro, Qro.

² CNID-Fisiología Animal. INIFAP. Km 1 Carretera a Colon, Ajuchitlan, Querétaro, CP76280.

Resumen

Se analizó el efecto que presenta el tamaño de la penca del nopal (grande madurez de la penca) en la degradación *in situ* y cinética de degradación de la materia seca en caprinos. Se utilizaron 6 hembras encastadas de Nubia, fistuladas y canuladas del rumen en dos repeticiones (n=12, 4 animales/tratamiento), con un peso de 37.6 ±3.4 kg. Los animales fueron alimentados en forma restringida, considerando dos niveles de consumo, alto (CA) (58 g MS/kg PV^{0.75} /día) y bajo (CB) (42 g MS/ kg PV^{0.75} /día). El diseño fue de bloques al azar con arreglo factorial 3x2 (tres tamaños de penca x 2 niveles de consumo). El tamaño de la penca se determinó como la multiplicación del largo x ancho, siendo: penca chica (Pch) (170.7±48.2 cm²), penca mediana (Pm) (548.1±105.0 cm²) y penca grande (Pg) (809.1±48.2 cm²). Las pencas fueron secadas a 60°C por 96 horas y se molieron a 2 mm. Los tiempos de degradación fueron 0,1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas teniendo 2 bolsas con muestra y un control por hora y animal. Las bolsas se retiraron en su tiempo correspondiente se lavaron y secaron 60°C/48 horas. La cinética de degradación se estimó por medio del modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979). A partir de este se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva (a+b[c/c+kp]) (kp= de 0.06/h). Los resultados indicaron que las Pch presentaron un menor contenido de MS, FND y FDA y mayor contenido de PC. La degradabilidad de la MS fue mayor (P<0.05) en la Pch (58.4±1.2), y similar (P>0.05) en la Pm y Pg (51.36±1.16, 53.55±1.13 respectivamente). En cuanto a la cinética de degradación la Pch presentó un mayor contenido de fracción soluble (42.1%) en comparación de la Pm (35.1%) y Pg (35.1%), la Pg presentó una mayor velocidad de degradación (0.033/h), que la Pch (0.027/h) y la mediana (0.019/h) teniendo como resultado, potencial de degradación (a+b) similar en la Pch (97.4%) y Pm (99.8%), y menor en la Pg (88.2%). Sin embargo, la degradación efectiva fue mayor en la Pch (59.3%) que en las Pm (51.2%) y Pg (53.9%). No se presentaron efectos del nivel de consumo (P<0.05) en la degradación de la MS, pero si se presenta un efecto (P<0.05) de la interacción tamaño de penca x nivel de consumo, siendo superior la degradación de las Pch en el CA. En conclusión, el tamaño de la penca no afecta la degradación de la MS a 72 h. Sin embargo, la Pch al tener un mayor contenido de materiales solubles y de rápida degradación (a) puede presentar una mayor degradación efectiva.

Palabras Clave: Degradabilidad, cinética de degradación, nopal

Introducción

Una de las principales limitantes en el desarrollo de la caprinocultura en las regiones semiáridas, es la limitada y estacional producción de alimentos, lo que conlleva a la reducida capacidad productiva y reproductiva de estos animales en condiciones de climas extremos. 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, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/ha (Misra *et al.* 2006). Su elevado contenido de agua (90% o más) (Ramírez *et al.* 2000; Mondragón *et al.* 2003), puede ser una fuente de aporte de este líquido en regiones con escasez de agua, por otra parte, 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 (Mondragón *et al.* 2003). Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento degradativo en caprinos. Algunos trabajos indican que niveles de degradación potencial desde el 44% (Cerrillo *et al.* 2004), hasta 82% de degradabilidad de la FND. Sin embargo, no se ha generado información sobre el efecto que presenta la madurez de la penca del nopal en la degradabilidad y capacidad de utilización ruminal en caprinos y el efecto que puede presentar la subalimentación en la capacidad de utilización de esta planta.

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto del nivel de madurez (tamaño) de la penca del nopal (*Opuntia ficus-indica*), sobre la composición, degradación y cinética de degradación (*In situ*) de la MS, así como el efecto del nivel de consumo de alimento de cabras fistuladas sometidas a pruebas *In Situ* en la degradación del nopal.

Materiales y métodos

Se utilizaron 6 hembras encastadas de Nubio fistuladas y canuladas del rumen, con un peso de 37.6 ± 3.4 kg y con 2 niveles de consumo alto (CA) (58 g MS/kg $PV^{0.75}$ /día) y bajo (CB) (42 g MS/ kg $PV^{0.75}$ /día). El periodo de adaptación a la ración y estabilización de consumo fue de 8 semanas. La alimentación consistió en una ración con 12% de PC, 2.11 Mcal de EM y 7.37% de PDeg y se ofreció en forma restringida de acuerdo al nivel de consumo. El tamaño de la penca fue considerado como el resultado de la multiplicación del largo x ancho, siendo: penca chica (Pch) (170.7 ± 48.2 cm²), penca mediana (Pm) (548.1 ± 105.0 cm²) y penca grande (Pg) (809.1 ± 48.2 cm²). Las pencas fueron medidas, picadas y secadas a 60°C por 96 horas y posteriormente se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm. El contenido de MS, MO, PC y cenizas se realizó de acuerdo a AOAC (1984), la fracciones de fibra se analizaron de acuerdo a Van Soest *et al.* (1991) y la PC ligada a las FND y FAD de acuerdo a Licitra *et al.* (1996). La metodología para la estimación de la degradabilidad *In Situ* fue de acuerdo a Mehrez y Ørskov (1977) en la que se utilizaron bolsas de nylon de 10 x 5 cm con un poro de 50 micrones (Ankom technology™), cada bolsa contenía 5 gr de muestra y 2 bolsas con muestra y un control por tiempo y animal. Los tiempos de degradación fueron 0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72 horas, utilizando 4 animales por tratamiento. Todas las bolsas con excepción de la del tiempo 0 se introdujeron en el rumen y se

retiraron en su tiempo correspondiente, las bolsas del tiempo 0 solo fueron lavadas con el resto, usando tres ciclos de 15 minutos cada uno, para posteriormente secarse en horno de aire forzado a 60°C/96 horas. El diseño estadístico utilizado fue de bloques al azar con arreglo factorial, siendo los factores el nivel de consumo (2 niveles) y el tamaño de la penca (3 tamaños). En cuanto a la cinética de degradación se utilizó el modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979) $a+b(1-e^{-ct})$, estimando el contenido de la fracción soluble (a), la fracción potencialmente degradable (b) y la tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t), a partir de estos parámetros se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva (a+b[c/c+kp]) considerando una tasa fraccional de paso (kp) de 0.06/h (Sauvant *et al.* 2003).

Resultados y discusión

Composición Bromatológica. La composición de la penca se presenta en el cuadro 1, en el que se observa que el contenido de MS, FND, FAD y Hemicelulosa fue menor en la Pch, y tendió a incrementarse a mayor tamaño o madurez de la misma. Sin embargo, el contenido de MO y PC tendió a disminuir con el tamaño o madures de la penca, este comportamiento ha sido reportado en varios forrajes por NRC (2001). Por otra parte, en la Pch el contenido de PC-FND fue mayor y el contenido de PC-FAD tendió a ser menor en la Pch, al igual que el contenido de cenizas, cuyos valores fueron de 23.7, 24.8 y 25.5 % en la Pch, Pm y Pg respectivamente. El contenido de nutrimentos en el nopal es muy variable de acuerdo a la variedad y edad, se han reportado contenidos de 4% a 9% (Ramírez *et al.* 2000; Grebemariam *et al.* 2006; Mishra *et al.* 2006). En cuanto al contenido de cenizas Ramirez *et al.* (2000) informó de valores similares a los obtenidos en este trabajo. Es importante destacar, que el contenido de FND esta relacionado con la digestibilidad y degradabilidad de los alimentos (Van Soest *et al.* 1982), pudiéndose esperar una mayor degradación y digestibilidad en la Pch.

Degradación de la MS. En el cuadro 2 se puede apreciar el comportamiento degradativo de la penca de acuerdo a su tamaño o madurez, el cual indica un contenido de elementos de rápida degradación en el tiempo 0 (27 a 29%), con un incremento ($P<0.05$) de la hora 0 a la 1 (37 a 40%), posteriormente la degradación se detiene hasta las 12 horas, sin encontrarse diferencias ($P<0.05$) de la hora 1 a las 12, y a partir de este momento se reinicia un proceso de degradación hasta llegar a valores de 88, 86 y 81% en la Pch, Pm y Pg respectivamente a las 72 horas de incubación. El tamaño de la penca influyó en la degradación de la MS, observándose una mayor degradación ($P<0.05$) en la Pch (58.4 ± 1.2), y siendo similar ($P>0.05$) en la Pm y Pg (51.36 ± 1.16 , 53.55 ± 1.13 respectivamente). Como se indicó anteriormente, la mayor degradación de la MS en el nopal pequeño se puede deber al menor contenido de fracciones fibrosas y mayor contenido de PC (Van Soest. 1982).

Cuadro 1.- Composición bromatológica porcentual de la penca del nopal con diferentes tamaños (relación con madurez).

	P. Chica	P. mediana	P. grande
MS	8.33	9.7	10.28
Como % de la MS	76.3	75.2	74.4
MO			
PC	7.7	5.8	5.9
FND	36.8	44.9	43.5
FAD	11.8	17.8	16.0
Hemicelulosa	25.0	27.1	27.4
PC-FND	2.12	0.8	1.2
PC-FAD	0.23	0.43	0.30
Cenizas	23.7	24.8	25.5

Efecto del nivel de consumo en la degradación: El nivel de consumo no afectó ($P>0.05$) la degradación de la MS de la penca. Sin embargo, se presentó un efecto de interacción ($P<0.05$) tamaño de penca x consumo, en el que el CA aumentó la degradabilidad de la MS pero solo en el caso de la Pch (65.05 vs 50.9, 51.2, 51.8, 51.7, 55.8 en la Pch (CA), Pm (CA), Pg (CA), CPch (CB), Pm (CB) y Pg (CB) respectivamente). Huntington y Gives (1995), mencionan que el nivel de consumo de los animales que están sometidos a pruebas de degradabilidad *in situ*, puede influir en el nivel de degradación del alimento, lo que se puede explicar por su efecto en el ecosistema microbial del contenido ruminal.

Cuadro 2.- Degradación de la MS de la penca de nopal (*Opuntia Ficus indicus*) con tres diferentes tamaños

	0	1	3	6	9	12	24	48	72
P.chica	28.83 ^a	40.55 ^b	45.59 ^b	40.30 ^b	48.57 ^b	48.11 ^b	57.97 ^c	86.67 ^d	88.07 ^d
EE±	3.65	2.59	2.48	2.21	1.89	2.32	0.91	2.87	1.70
P.mediana	29.90 ^a	39.49 ^b	40.99 ^b	41.77 ^b	43.24 ^b	58.93 ^c	55.88 ^c	74.08 ^d	86.86 ^d
EE±	3.13	3.72	2.32	1.32	1.74	7.32	2.79	3.33	2.83
P.Grande	27.74 ^a	37.77 ^b	43.82 ^b	45.07 ^b	45.43 ^b	50.29 ^b	62.57 ^c	79.37 ^d	81.74 ^d
EE±	3.74	2.28	2.52	2.29	1.45	1.94	2.89	1.91	0.71

a, b, c, d = Dif ($P<0.05$) dentro de renglón

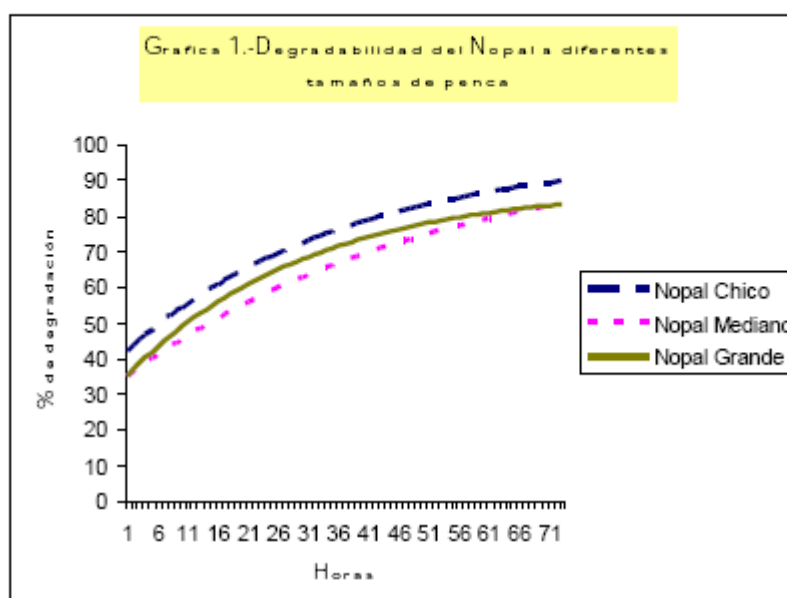
Cinética de degradación de la MS: En el cuadro 3 y Grafica 1, se presenta la cinética de degradación de la MS de la penca de nopal con diferentes grados de madurez, los resultados indicaron que la Pch presenta una fracción soluble (a) mayor a las de la PM y Pg que son similares. Sin embargo, la fracción de lenta y potencial degradación (b) fue mayor en la Pm. Por otra parte, la tasa fraccional de degradación (c) fue mayor en la Pg, seguido de la Pch y por último la Pm. El resultado fue una similar degradación potencial de las Pch y Pm, y menor en la Pg, lo cual al ajustarse a una tasa fraccional de paso de 0.06/h, resultó en la mayor degradabilidad efectiva de la Pch, y similar entre la Pm y Pg. Existe poca información relacionada a la cinética de degradación del

nopal, sin embargo, Cerrillo *et al.* (2004) utilizando la técnica de producción de gas observa una degradabilidad potencial en a (*Opuntia spp*) de 44.8% lo cual es inferior a lo observado en este trabajo con (*Opuntia Picus Indica*) (superior al 88% a las 72 horas) y Ramirez *et al.* (2000), reporta una degradación de la FND en (*Opuntia Lindenmieri*) de 82%.

Cuadro 3.- 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 ¹	Deg. Efectiva ²	R ²	EM
P. chica	42.16	55.27	0.027	97.43	59.31	79.8	6.55
P.mediana	35.10	64.71	0.019	99.81	51.27	89.23	4.15
P.grande	35.16	53.02	0.033	88.18	53.97	72.06	6.48

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



Conclusiones

Las pencas de menor tamaño y madurez al presentar un menor contenido de fracciones fibrosas y mayor de PC pueden ser consideradas como una buena opción de suplementación para los caprinos en el semidesierto, debido a su mayor degradabilidad ruminal y por lo tanto mayor aporte de nutrientes. El nivel de alimentación, influyó únicamente en las pencas de menor tamaño, las cuales presentaron una mayor tasa de degradación.

Literatura citada

A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.

- Cerrillo, M. A., R. A. S. Juárez. 2004. *In Vitro* gas production parameters in cactus and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. Liv. Res. for Rural Dev. 16: 1-8.
- Gebremariam, T., S. Melaku., A. Yami. 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 sheep. Anim Feed Sci. Technol. En línea
- Huntington J. A y D. I. Givens. 1995. The *in situ* Technique for Studying the Rumen Degradation of Feeds: A Review of the Procedure. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B). Vol 65: 63-78.
- Ramírez, 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 México. Small. Rum. Research. 36: 49-55.
- Licitra. G. 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.
- Mehrez, A. Z. y E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 88: 645-650.
- 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.) with or without groundnut meal. Smal Rum. Resch. 63: 125-134.
- Mondragon-Jacobo, C., S.Méndez G. S ; G.Olmos O.2003. El cultivo de Opuntia para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. En. Mondragón-Jacobo F y S.Pérez. G. El Nopal (Opuntia spp) como forraje. Edit. FAO. Roma.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. Edit: Nat. Academic Press. Washington. DC.
- 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.
- Ramírez, 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 México. Small. Rum. Resch. 36: 49-55.
- Sauvant, D., J-M. Pérez y G. Tran. 2003. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero Cerdos, aves, bovinos, ovinos, caprinos, conejos, caballos y peces. 1er Edición en Español Blas, B. C., V. Jimeno. V., P. García. R. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- 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

SHORT NOTE [NOTA CORTA]

EFFECT OF DRY ROASTING ON COMPOSITION, DIGESTIBILITY AND
DEGRADABILITY OF FIBER FRACTIONS OF MESQUITE PODS
(*PROSOPIS LAEVIGATA*) AS FEED SUPPLEMENT IN GOATS

[EFECTO DEL SECADO TOSTADO SOBRE LA COMPOSICIÓN,
DIGESTIBILIDAD Y DEGRADABILIDAD DE LA FRACCIÓN DE FIBRA DE
VAINAS DE MESQUITE (*PROSOPIS LAEVIGATA*) COMO SUPLEMENTO
ALIMENTICIO EN CABRAS]

¹Andrade-Montemayor H; ¹Alegria-Rios F, ¹Pacheco-López M ; ¹Aguilar-Borjas H ; ¹Villegas-Díaz JLO; ²Basurto-Gutierrez R; ²Jimenez-Severiano H; ²Vera-Ávila H.R.

¹Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Juriquilla. Av. De las Ciencias s/n, Del. Sta Rosa Jáuregui, C.P. 76230. Querétaro, Qro, México. E-mail: andrademontemayor@yahoo.com.mx, Tel: 52(442)4468347.

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria-Fisiología Animal (CENID-Fisiología) INIFAP. Km 1 Carretera Colón-Querétaro, Qro, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Two studies were performed to analyze the roasting effects (150° C/45 min) in the composition, *in vivo* digestibility and *in situ* degradability of fiber fractions (NDF and ADF) of mesquite pods. In the first test, eight Nubian goats (37.6 ± 3.4 kg), fistulated and cannulated of rumen were used, in two periods with four goats/treatment, each. Roasted pods (150°C/45 min) (RMP) and Raw pods (RP) were milled in a 2 mm sieve, and placed into porous bags; two bags were used as sample, one of them without sample for each degradation time and for each animal. Tested degradation times were 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 hours. A cross-over design was used, with two periods, considering the treatments (raw or roasted pods), periods and interactions in question. The kinetics of degradation for the fibrous fractions were valued with a non-linear model (Deg= a + b* (1 - e(-c*t)) and the effective degradation (E.Deg) (a + b* [c/c + kp*]), being kp the fractional rate of passage (kp 0.6/hr). During the second experiment, *in vivo* digestibility of the fiber fractions was studied, using ten male goats (32.68 ± 4.5 kg) for two periods of twenty-two days each, including fifteen days for adaptation and seven days for sampling in a metabolic cage. The food administered and rejected in addition to excrements were weighed and measured and the NDF and ADF contents were analyzed. With this information the digestibility coefficient was calculated (Cdig). The experimental rations were control (CTR); raw mesquite pods (RP)= 80% CTR+ 20% of RP; Roasted mesquite pods (RMP)= 80% CTR+20% RMP. Roasting process modified the mesquite pods composition (P< 0.05), increasing the content of crude protein (CP), ADF, crude protein linked to NDF

and ADF (CP-NDF and CP-ADF) as well as ashes. The treatment did not modify (P>0.05) both, NDF and ADF degradation. Nevertheless, soluble fraction decreased (P<0.05), whereas slow degradation fraction (b) and degradation fractional rate (c) increased, resulting in a major E.Deg (P<0.05). Roasting caused an increment (P<0.05) in ADF slow degradation fraction (b), which caused a minor D.effect (P<0.05). A 20 % inclusion of RP or RMP did not affected (P>0.05) the consumption (g/d) of NDF and ADF. Nevertheless, ADF consumption (g/kg of PV^{0.75} per day) was higher in the RMP. Otherwise, the RP or RMP inclusion increased the NDF and ADF digestible content (%of the DM), without Cdig modification. In conclusion, roasted mesquite pods can modify their nutrimental content, as it can modify the NDF kinetic degradation increasing the fractional degradation rate and the effective degradation, thus, RP or RMP inclusion in the rations improved the Cdig of the ADF.

Key words: Degradability, digestibility, fiber fractions, mesquite, roasted, goats.

INTRODUCTION

Near 70% of the goat population in México is found in arid or semiarid zones, in extensive production systems, depending on pasture, which restrain the production, considering that the low raining levels determine the food quantity and quality available (Iruegasas, et al, 1999). The goat is a seasonal animal, presenting it's birth and production season during dry periods, when poor forage production occurs, leading to important productive losses (Pacheco-López, et al. 2007). Mesquite pods (*Prosopis laevigata*) are an alternative as alimentary supplement during dry

Andrade-Montemayor et al., 2009

periods, due to their nutritional content (12 to 18% of CP), and its excellent adaptation capabilities to arid or semiarid zones (Pacheco-López, et al. 2007). Nevertheless, as a leguminous plant, it may have a high content of degrading proteins that could lead to nitrogen losses (Yu et al 2002). Otherwise, it also presents a high content of antinutritional factors, such as lectins, protease inhibitors and tannins, that may affect food degradation and digestion (Yu et al, 2002; Huyler and Kincaid, 1999). Heat treatments, such as roasting, can diminish the degradability of proteins and other nutrients, even the heat labile antinutritional factors (Alegria-Rios et al., 2007; Andrade-Montemayor, 2005; Yu et al., 2002), and for this reason, the objective of this study was to analyze the dry roasting effects of mesquite pods on the fiber fractions degradability and digestibility.

MATERIAL AND METHODS

Study area localization

The experiment was performed at the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP CENID- National center of research in animal physiology) located in Ajuchitlán, Colón, Qro. Mexico, and at the animal nutrition Laboratories of Veterinary School of Natural Sciences Faculty of the Autonomous University of Querétaro, Campus Juriquilla in Querétaro, México.

In situ tests

Design, consumption rates and ration

Tests were performed in two periods, with 15 days for adaptation and 72 hours for sampling each. 4 Nubian goats, rumen fistulated and cannulated, were used in each period, with an average weight of 37.6 ± 3.4 kg. A crossed design in two periods with two treatments (raw and roasted) was used (Steel and Torrie, 1986), analyzing the effects of treatment, period and their interaction.

The offered portion was composed of: sorghum grains 37.5%, soybean meal 6.1%, alfalfa hay 24.2%, corn stubble 20%, molasses 11.1%, minerals and vitamins premix 1.1%. Presenting a 94% organic matter (OM), 15.9 % of crude protein (CP), 9.7% acid detergent fiber (ADF), 18.2% neutral detergent fiber (NDF), 5.4% CP linked to ADF (CP-ADF); 8.9% of CP linked to NDF (CP-NDF) and 6.1% ashes.

Pods and ration preparation

Roasting: Pod roasting (RMP) was conducted according to Yu et al. (2002). The raw pods (RP) were extended on to trays and introduced into a dry oven with forced air at 150° C /45 min .

Desiccation and milling

The RMP as the RP desiccation was performed under a 60°C temperature for 48 hrs, to determine its dry matter content (DM), and later were milled in a Willey mill with a 2 mm sieve.

In situ degradability

In situ degradability tests were performed according to methodology recommended by Mehrez and Ørskov (1979). 3 grams of milled RMP or RP were introduced into nylon porous bags (10 x 5 cm), with a 50 µm pore size (Ankom Technology™).

Degradation times were from 0 to 1,3,6,9,12,24,48 and 72 hrs. Two bags and a blank were introduced per time and per animal. Bags removed at its corresponding time were washed and frozen at -20°C for their posterior analysis.

Laboratory Analysis

Once the samples were defrosted, they were washed three times with distilled water during 15 min each cycle, following with drying in a forced air oven to 60°C for 48 hrs. In the original RMP and RP (Without degradation) as well as in the residual of each bag after degradation, dry material content (DM) and CP (AOAC; 1984) were determined in addition to NDF and ADF (Van Soest et al. 1991) and PC-NDF and PC-ADF, according to Licitra et al. (1996).

Degradation kinetics

Degradation kinetics was determined according to the non-linear model described by Ørskov and Mac Donald (1979) ($a+b(1-e^{-ct})$) that estimate soluble fraction (a), one potentially degradable fraction (b) and a degradation fractional rate (c) through time (t). From this model the potential degradation (a+b) and the effective degradation ($a+b(c/c+kp)$) was calculated, in which applied a fractional rate of passage (kp) of 0.06/h (Sauvant et al. 2003).

Statistic model of degradability analysis

The statistic model used was:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + \epsilon_{ijk}$$

Where:

Y_{ijk} = observation of the i-number treatment (RP and RMP) in the j-number period (1, 2) with the k-number of experimental error.

μ = general average

T_i = i-number treatment (RP, RMP)

P_j = j-number period

$(T \times C)_{ij}$ = ij-number treatment x period interaction.

E_{ijk} = ijk,-number experimental error.

The means comparison was calculated by LSD (minimal significant differences), and a T of Student test was used to compare degradation kinetics values. (Steel and Torrie, 1986).

In vivo digestibility tests

10 Nubian males goats were used, with an average weight of 32.68 ± 4.5 kg, remaining in metabolic cages, with a trough, drinking trough and a urine recovery system. The used methodology in this test was according to the recommendations by Hutington and Givens (1995).

The experimental period was carried on for 44 days, divided into two periods of 22 days each, and consisting in 15 days for ration adaptation and 7 days for sampling, establishing a daily and individual control of food consumption and feces and urine production.

The experimental rations were:

Control (CTR) (ration described at *in situ* tests), RP ration: 80% CTR + 20 % RP; RMP ration: 80% CTR + 20% RMP. The food was offered in a restricted form (43 g/kg of PV^{0.75}) once a day (07:30 hrs). Every day, the offered and rejected food was weighted, so the produced feces, along with samples were taken and frozen at -20°C for posterior analysis.

Analytical determinations

The samples of offered food, rejected food and feces, were dried in an air forced oven at 60°C for 48 hrs. Later were milled in a Willey mill with 2 mm sieve.

The analytical determinations were: DM, CP, OM and ashes according to AOAC (1984), and ADF, NDF and hemicelluloses, according to Licitra et al (1996).

Statistic design, calculations and determinations

A cross over statistic design was used (Steel and Torrie, 1986) consisting in 2 periods of animal sampling; each animal receiving a different diet for every period. For the ANOVA the treatment effect, the period and the treatment*period interactions were considered, based on the following model:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + (T \times P)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

ϵ_{ijk}

Y_{ijk} = Observation of the i-number treatment (Control, RP, RMP) in the ij-number period with the ijk-number experimental error.

μ = general average

T_i = the i- number tratment (Control, RP, RMP)

P_j = The j-number period (1,2)

$(T \times P)_{ij}$ = the ij-number T and P interaction

ϵ_{ijk} = the ijk-number experimental error.

Minimum significant differences (LSD) was the average test used and the significant levels were NS= $P > 0.05$; *= $P < 0.05$, **= $P < 0.01$, ***= $P < 0.001$.

Digestibility Rate

The apparent digestibility rate of the DM, CP, NDF, ADF, Hemicelluloses, CP-NDF and CP-ADF, were determined by the following formula:

Nutrient Cdig (%) ((ingested nutrient g – excreted nutrient g)/nutrient ingestedg) x 100

RESULTS AND DISCUSSION

RP and RMP composition

Roasting effect of mesquite pods in the nutrient composition is shown Table 1, noticing an increase ($P < 0.05$) on the DM, ADF, CP-NDF and ashes content; and consequently, decreases ($P < 0.05$) on the OM and NDF content, without affecting ($P > 0.05$) the hemicelluloses and CP-ADF content. Heat treatments such as roasting, present various effects on the nutrient composition. One effect is the modification of protein and starch structure, which modify their ruminal solubility and degradability. This also modifies the degradable amount in the rumen as well as the digested at the intestine (Goelema et al., 1998; Yu et al., 2002; Andrade-Montemayor, 2005). Moreover, Sauvante et al. (2001) observed that roasting the *L. angustifolium* increases the DM, CP, NDF and ADF content in a similar way as the observed in this work. Other authors like Mass et al. (1999) and Huyler and Kincaid (1999) indicated that heat treatment increases the content of protein linked to the cell wall existing the formation of complexes between fiber carbohydrates and the protein.

Roasting effects in fiber fractions degradability and degradation kinetics

In table 2 and 3, degradability of the NDF and ADF roasting effect is presented. Notice that treatment did not modified ($P > 0.05$) the fiber fraction degradability. Nevertheless, NDF of the RP and RMP degradation was about the 68.8 and 73.0% each, within the first hour and 76.4% within the 72 hours respectively. Otherwise, the ADF degradation started with 32.78 vs. 27.36% at the RP vs. RMP in each case and ended within 67.9 vs. 72.67% each.

The NDF and ADF degradation kinetics are presented in tables 4 and 5. Again, notice that in NDF of RMP, the soluble fraction (a) and fast degradation % content diminished ($P < 0.05$), but increased the slow degradation fraction (b) ($P < 0.05$) and the fractional rate of degradation (c); resulting in a similar degradation potential ($P > 0.05$), but major effective degradation ($P < 0.05$) (65.9 vs 78.42%). Otherwise, in

Andrade-Montemayor et al., 2009

ADF the heat treatment did not modified ($P>0.05$) fast degradation fraction content (a), fractional degradation rate (c) and potential degradation (a+b);

nevertheless, slow degradation fraction content (b) increased ($P<0.05$) in the RMP (54.87 vs. 89.38).

Table 1. Nutritional composition in Mesquite pods roasted effect (%).

	RP ¹	RMP ¹	Sig ³	SEM± ⁴
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
Hemicellulose	9.54	7.72	NS	1.28
CP-NDF (%DM)	4.77	4.96	**	0.13
CP-ADF (%DM)	3.26	4.51	NS	0.88
CP-NDF(%CP)	40.63	40.48	***	0.10
CP-ADF(%CP)	27.76	36.81	NS	6.39
ASHES	5.90	6.23	**	0.20

¹ Raw Pods; ² Roasted Mesquite Pods; ³ Significant level: NS ($P>0.05$); * ($P<0.05$); ** ($P<0.01$); *** ($P<0.001$); ⁴ Standard error of the mean.

Table 2. Roasted effect of the Mesquite pods (*Prosopis laevigata*)¹ in the NDF degradability.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	SEM±	Sig ¹
RP	52.48a	68.88b	73.68b	77.64b	75.19b	77.27b	71.34b	73.14b	76.35b	4.9	*
SEM±	6.13	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84		
RMP	46.59a	73.02b	77.27b	78.48b	65.30b	72.12b	70.64b	74.78b	76.48b	4.8	*
SEM±	4.84	4.84	4.84	5.18	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84		
Sig ¹	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		

¹ Raw Pods; ² Roasted Mesquite Pods; ³ Significant level: NS ($P>0.05$); * ($P<0.05$); ** ($P<0.01$); *** ($P<0.001$); ⁴ Standard error of the mean. a,b,c, differences within lines ($P<0.05$).

Table 3. Roasted effect of ADF mesquite pods (*Prosopis laevigata*)¹.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	SEM± ⁴	Sig ³
RP ¹	32.78a	36.94a	40.21ab	51.05ab	60.43b	52.64ab	53.07b	60.16b	67.99b	8.2	*
SEM±	9.60	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	8.76	9.60	8.11		
RMP ²	27.36a	40.20a	38.21ab	50.16ab	55.17b	51.43ab	62.52b	60.93b	72.67b	7.8	*
SEM±	7.59	7.59	7.59	8.11	8.11	7.59	7.59	7.59	8.76		
Sig ³	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		

¹ Raw Pods; ² Roasted Mesquite Pods; ³ Significant level: NS ($P>0.05$); * ($P<0.05$); ** ($P<0.01$); *** ($P<0.001$); ⁴ Standard error of the mean. a,b,c, differences within lines ($P<0.05$).

Tropical and Subtropical Agroecosystems 9(2009): xxx - xxx

Table 4. Kinetic parameters of NDF degradation of mesquite raw and roasted pods.

Treatment	a	b	c	Potential Deg. ¹	Effective Deg. ²	R ²	SEM±
RP	53.62	27.21	0.52	80.83	65.98	75.64	5.19
RMP	46.96	33.51	0.94	80.44	78.42	78.87	6.47
Sig ²	***	***	***	Ns	**		

In which a= Soluble fraction and fast degradation (%), b = Potentially degradable fraction, c = degradation fraction rate. ¹ Potential Degradation = a + b; ² NS = non-differences (P>0.05); ** Differences (P<0.01); *** Differences within columns (P<0.001).

³ Effective Degradation = a+b(c/c+kp), in which kp: fractional rate of passage (0.06/hr)

RP: Raw Pods; RMP: Roasted Pods.

Table 5. Kinetic parameters of ADF degradation in mesquite raw and roasted pods.

Treatment	a	b	C	Potential Deg. ¹	Effective Deg. ²	R ²	SEM±
RP	34.96	60.71	0.05	95.67	89.38	73.33	11.20
RMP	31.96	68.83	0.03	100.76	54.87	68.72	13.90
	ns	**	ns	Ns	**		

In which a= Soluble fraction and fast degradation (%), b = Potentially degradable fraction, c = degradation fraction rate. ¹ Potential Degradation = a + b; NS = non-differences (P>0.05); ** Differences (P<0.01); *** Differences within columns (P<0.001).

² Effective Degradation = a+b(c/c+kp), in which kp: fractional rate of passage (0.06/hr)

RP: Raw Pods; RMP: Roasted Pods.

Roasting may allow complex formations among fiber carbohydrates and proteins, diminishing in rumen fiber degradability (Huyler, M.T and R. L. Kincaid, 1999). Therefore, the protein structure is modified and diminishes its rumen degradability, making N less available to ruminal microorganisms which may affect the ruminal degradation process (Andrade- Montemayor, 2005; Yu et al, 2002). For that reason, could affected the soluble and fast disponibility fractions in FDN and FDA. This is indicated with a fast degradation that stops within the first hours, obtaining a degradability percentage that ranges from a 78% in the NDF of RMP, and 65% in the NDF of RP, and in ADF a 54% in the RMP to 89% in RP. The degradability values are superior to those obtained by other investigators, whom obtained a wall cell potential degradability (a+b) of 39 to 42% and an effective degradability of 17 to 27% in mesquite pods (*Prosopis glandulosa*) (Ramírez et al., 2000). This could be affected by antinutritional factors, however the heat treatments may affected or can diminish the content or activity of these factors (Alegria et al., 2000).

Roasting effects on feed intake and digestibility

Three rations were tested in this experiment. The control ration (CTR) or base ration, and 2 rations in which a 20% of the DM of CTR ration was replaced by a 20% of RMP or 20% of RMP. As observed in table 6, the RP or RMP inclusion did not modified the ration nutritional contents, except the NDF content which increases (P<0.05) with RP or RMP inclusion. Nevertheless, these did not affect the NDF consumption (table 7), even that a slight increase was presented (P< 0.05) at the FDA consumption (g/kg PV^{0.75}). Roasting does not modify the NDF and ADF Cdig (P> 0.05). Therefore the RP or RMP used in the rations, improves (P< 0.05) the digestible NDF and ADF (%DM). Yu et al.(2002) and Andrade-Montemayor (2005) observed that it is advantageous that roasting do not affect the fiber fractions digestibility of many leguminous plants (*L. angustifolium*, *Vicia faba*, *Vicia ervilia*) as it was found herein. Therefore, Ramírez et al, (2000) and Guerrero et al. (2007) obtained Cdig and potential and effective degradability of DM and NDF of mesquite pods (*Prosopis laevigata*) values inferior to those shown in this document.

Table 6. Experimental ration composition used at digestibility tests.

	Control	20% RP ¹	20%RMP ¹	Sig ³	SEM ⁴
DM	87.04	88.26	89.01	NS	0.43
OM	93.87	93.92	93.83	NS	0.39
CP	15.97	16.90	15.26	NS	1.44
NDF	18.25a	19.88b	19.85b	***	0.19
ADF	9.69	11.12	11.45	NS	0.45
CP-NDF(%DM)	8.73	7.93	7.97	NS	0.62
CP-ADF(%DM)	5.39	4.93	5.30	NS	1.07
ASHES	6.13	6.08	6.17	NS	0.39

¹ Ration with raw pods; ² Ration with roasted Pods; ³ Significant level: NS (P>0.05); * (P<0.05); ** (P<0.01); *** (P<0.001); ⁴ Standard error of the mean. a,b,c, differences within lines(P<0.05). Different letters in a line are statistically differences.

Table 7. Nutrients ingested in experimental rations .

	Control	RP	RMP	SEM ²	Sig ¹
	Ingestion (g/day)				
NDF	110.3±4.8	105.9±5.4	116.4±5.4	7.2	NS
ADF	58.7±2.6	59.7±2.9	66.9±2.9	3.8	NS
	Ingestion(g/Kg. PV ^{0.75} and day)				
NDF	7.9±0.3	7.9±0.3	8.6±0.3	0.3	NS
ADF	4.2±0.1 ^a	4.4±0.2 ^a	4.9±0.2 ^b	0.2	*

¹Ration with raw pods; ² Ration with roasted Pods; ³ Significant level: NS (P>0.05); * (P<0.05); ** (P<0.01); *** (P<0.001); ⁴ Standard error of the mean. a,b,c, differences within lines(P<0.05). Different letters in a line are statistically differences

CONCLUSIONS

Mesquite pods roasted allow an increase at the NDF effective degradability, but diminish the ADF effective degradability. Nevertheless, it improves the digestible NDF and ADF content (%DM) with no Cdig modifications. The latter may be caused by the diet fiber fractions major content in the ration with the addition of the RP or RMP.

However, the Cdig and degradability in these studies are good, and are good indicator that the mesquite pods can be a food supplement in goat in semi-desert.

This short communication is plenty of mistakes
Table 8 is not cited in the text

REFERENCES

- Alegria-Rios F. S., Garcia-Gasca T., Andrade-Montemayor H. 2007. El tostado de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) puede modificar el contenido de proteina y factores antimutricios. XXII Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. AMPCA. Zacatecas. México. Pp 59-62-
- Andrade-Montemayor, H.M. 2005. Valoración nutritiva de dos sistemas de alimentación y evaluación del uso de fuentes alternativas de proteina vegetal en la alimentación de caprinos. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.Pp:1-293
- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- Goelema, J. O., M. A. M. Spreeuwenberg, G. Hof, A. F. B. Van der Poel y S. Tamminga. 1998. Effect of pressure toasting on the rumen degradability and intestinal digestibility of whole and broken peas, lupin and faba beans and mixture of these feedstuffs. Anim. Feed Sci. Technol. 76: 35-50.
- Guerrero, M., Ramirez, R. G., Juárez, A. S., Nerváes, G., Montoya, R., Cerrillo, M. A. 2007. Digestibilidad verdadera in Vitro de la materia seca de frutos consumidos por cabras en pastoreo. XXII Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA. Zacatecas. México, pp 47-50.
- Huntington J.A. y D. I Givens. 1995. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. Nutrition. Abs. Rev. Series B. 65(2): 63-78.
- Huyler, M. T. y R. L. Kincaid. 1999. The relationship between intestinally available protein and detergent insoluble protein of feedstuffs. Anim. Feed Sci. Technol. 78:101-107.
- Iruegas, E.L., Castro, L.C., Ávalos F. L. 1999. Oportunidades de desarrollo de la Industria de

Tropical and Subtropical Agroecosystems 9(2009): xxx - xxx

- la leche y carne de cabra en México. FIRA. Boletín Informativo. Vol.XXXII. pp.5-99.
- 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.
- Lindberg, J. E. y H. L. Gonda. 1996. Fibre and Protein digestion in goats. Vol.2. Pags: 495-510. En: VI International Conference on Goats. Edit. International Academic Publishers. Beijing, China
- Mass, R. A., G. P. Lardy, R. J. Grant y T. J. Klopfenstein. 1999. *In situ* neutral detergent nitrogen as a method for measuring forage protein degradability. J. Anim. Sci. 77:1565-1571
- Mehrez, A. Z. y E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 88: 645-650.
- 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.
- Pacheco-López, M.J., Alegria-Ríos, F.S., Andrade-Montemayor, H., Basurto-Gutiérrez R., Jiménez-Severiano, H., Vera-Ávila H.R. 2007 Cambios en la composición y digestibilidad aparente in vivo de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda, de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) por efecto del tostado (Estudio en cabras). XXII Reunión nacional sobre caprinocultura, Zacatecas, México.
- Ramírez, 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 México. Small. Rum. Research. 36: 49-55.
- Sauvant, D., J-M. Pérez y G. Tran. 2003. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero Cerdos, aves, bovinos, ovinos, caprinos, conejos, caballos y peces. 1er Edición en Español Blas, B. C., V. Jimeno. V., P. García. R. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Steel, G. R. y J. Torrie. 1986. Bioestadística, principios y procedimientos. Mc. Graw Hill. México.
- Van Soest, J. P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. 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.
- Yu, P., J. O. Goelema, B. J. Leury, S. Tamminga y A. R. Egan. 2002a. 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.

Table 8. Digestibility coefficient and digestible nutrient content.

Nutrient	Control	RP ¹	RMP ²	SEM ³	Sig ⁴
	digestibility coefficient				
FDN	87.9±0.7	89.8±1.0	89.7±1.0	1.0	NS
FDA	76.1±2.7	80.1±3.8	78.5±3.8	3.8	NS
	digestible nutrient content(%MS)				
FDND ⁵	16.0±0.1 ^a	17.8±0.2 ^b	17.8±0.2 ^b	0.2	***
FDAD ⁶	7.3±2.8 ^a	8.9±0.4 ^b	9.0±0.4 ^b	0.4	**

¹ Ration with raw pods; ² Ration with roasted Pods; ³ Standard error of the mean; ⁴ Significant level: NS (P>0.05); * (P<0.05); ** (P<0.01); *** (P<0.001); a,b,c, differences within lines (P<0.05). Different letters in a line are statistically differences; ⁵FDND= neutro-detergent fiber digestible; ⁶FDAD= Acid-detergent fiber digestible.



9th International Conference on Goats
Sustainable Goat Production: Challenges and Opportunities of Small and Large Enterprises



310. Effect of prickly pear cladode size (*Opuntia Ficus indicus*) on in situ degradability and degradation kinetics of fiber fractions in goats

Villegas-Díaz J. L.O¹; Aguilar-Borjas. J. H¹; Andrade-Montemayor H.M^{1*}; Basurto-Gutierrez R²; Jimenez-Severiano H²; Vera-Ávila H. R².

¹Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro. Cuerpo Académico en Morfofisiología Animal. Ave. De las Ciencias S/N, Juriquilla, Santiago de Querétaro, Qro. México. CP76230. ²CENID-Fisiología Animal. INIFAP. Km 1 Carretera a Colon, Ajuchitlan, Querétaro, México. CP76280.
E-mail: andrademontemayor@yahoo.com.mx.

In general cladode size is associated to different ripeness stages, which may vary in their dietary attributes. Therefore, in this experiment we analyzed how different cladode sizes affects nutritional contents, degradation kinetics and degradability of fiber fraction (Neutral and Acid detergent fiber) (NDF and ADF); as well as the effects of intake level on these factors. Six rumen cannulate Nubian goats (37.6±3.4 kg) were used, and their intake was restricted considering two levels: High intake (HI) (58 g of DM/kg BW^{0.75}/day) and Low intake (LI) (42g of DM/kg BW^{0.75}/day). Size of cladodes was determined by multiplying their length by width, so three categories were designed: Small cladodes (SC) (170.7 ± 48.2 cm²), Medium cladodes (MC) (548.1 ± 105.0 cm²) and Large cladodes (LC) (809.1 ± 48.2 cm²). The experiment was randomly designed with 3x2 factorial arrangements (three cladodes sizes and 2 consumption levels), with 4 animals per treatment, and degradation times were determined for 0, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 hrs. Three bags tow with sample and one without sample obtained by each degradation time and animal were used. Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents observed data from both, total samples and waste from each bag were utilized to estimate ADF and NDF degradation kinetics parameters and degradability. A nonlinear equation $a + b * (1 - e^{-c * t})$ was used, where (a) is the soluble and rapid degradation fraction, (b) is the slow degradation fraction, (c) is the fractional degradation rate in time (t), (a+b) is potential degradation, and $(a + b [c / c + kp])$ is the effective degradation where kp is the fractional rate of passage (kp = 0.06/h). The results showed that the SC had a lower content (P <0.05) of NDF (36.8a SC vs. 44.9b MC and 43.5b LC) and ADF (11.8a SC vs. 17.8b MC and 16.0b LC). In addition, no differences were observed in NDF and ADF rumen degradability (P>0.05) by size or level intake. However, the content of (a) fraction in NDF was significantly lower (P <0.05) in the SC, followed by MC and LC (9%a, 27%b, 32%c respectively). In contrast, the (b) fraction was higher (P <0.05) in the SC, and the fractional degradation rate (c) was higher (P <0.05) in NDF of LC. The (a) fraction of ADF in SC and MC were higher (P <0.05) than LC, but the LC has a higher content (P <0.05) of (b) fraction, and fractional degradation rate were not different (P> 0.05). In conclusion, intake level in rumen cannulated goats did not affect degradation and degradability of prickly pear cladodes; however, the SC presented a lower solubility and slower degradation of the NDF, whereas effective degradability of these was lower. FDA in SC presented a higher effective degradation and a greater solubility.





XXII REUNIÓN NACIONAL SOBRE CAPRINOCULTURA

3, 4 y 5 de octubre de 2007. Zacatecas, Zac.

EFFECTO 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.

EFFECT OF THE SIZE OF PRICKLY PEAR CLADODES (*OPUNTIA FICUS INDICUS*), ON *IN SITU* DEGRADABILITY AND DEGRADATION KINETIC OF CRUDE PROTEIN IN GOATS.

Villegas-Díaz J. L.O¹; Aguilar-Borjas. J. H¹; Andrade-Montemayor H.M^{1*}; Basurto-Gutierrez R²; Jimenez-Severiano H²; Vera-Ávila H. R².

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Lic. Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario S/N, Col Cerro de las Campanas CP 76010, Santiago de Querétaro, Qro. ² CNID-Fisiología Animal. INIFAP. Km 1 Carretera a Colon, Ajuchitlan, Querétaro, CP76280.

RESUMEN

Se analizó el efecto que presenta el tamaño de la penca del nopal en la degradación *In situ* y cinética de degradación de la Proteína Cruda (PC) en caprinos. Se utilizaron 6 hembras encastadas de Nubia, fistuladas y canuladas del rumen en dos repeticiones, con un peso de 37.6±3.4kg, fueron alimentados en forma restringida, considerando dos niveles de consumo, alto (CA) (58g MS/Kg. PV_{0.75}/día) y bajo (CB) (42g MS/Kg. PV_{0.75}/día). El diseño fue cruzado con arreglo factorial 3x2 (tres tamaños de penca x 2 niveles de consumo). El tamaño de la penca se determinó multiplicando el largo x ancho, siendo: penca chica (Pch) (170.7±48.2cm²), penca mediana (Pm) (548.1±105.0cm²) y penca grande (Pg) (809.1±48.2cm²). Las pencas fueron secadas a 60°C por 96 horas y se molieron a 2 mm. Los tiempos de degradación fueron 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas, teniendo 2 bolsas con muestra y un control por hora y animal. Las bolsas se retiraron en su tiempo correspondiente, se lavaron y secaron 60°C/48 horas. En los residuos de cada bolsa, se tomó una muestra, en la que se determinó el contenido de proteína. A partir de éstas se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva (a+b[c/c+kp]) (kp= de 0.04/h, kp= de 0.06/h, kp= de 0.08/h). La cinética de degradación se estimó por medio del modelo de regresión no lineal a+b*(1-e^{-c*t}). En cuanto a la cinética de degradación de la PC, la Pch presentó un mayor contenido de la fracción de rápida degradación (a) así como de la fracción de lenta degradación (b), sin embargo, la tasa fraccional de degradación (c) fue menor en la Pch, lo que permitió una menor degradación efectiva. El consumo de alimento no presentó ningún efecto (P>0.05). En conclusión, la degradación efectiva de la Pch es menor que la de la Pm y Pg, al ser afectada por su velocidad de degradación (2%/hr.), sin embargo la degradación potencial es mayor en la Pch que en la Pm y Pg.

Palabras Clave: Degradabilidad, cinética de degradación, nopal, tamaño de penca.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales limitantes en el desarrollo de la caprinocultura en las regiones semiáridas, es la pobre y estacional producción de alimentos, lo que conlleva a la reducida capacidad productiva y reproductiva de estos animales en condiciones de climas extremos. 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, en los que puede llegar a producir hasta 2 toneladas de MS/ha (Misra et al. 2006). Por su elevado contenido de agua (90% o más) (Ramírez et al. 2000; Mondragón et al. 2003), puede ser una fuente importante de este líquido en regiones con escasez, por otra parte, presenta un considerable contenido de carbohidratos solubles y por lo tanto, su aporte energético es importante. Debido a éstas y otras características se ha utilizado como una fuente de forraje desde tiempos remotos (Mondragón et al. 2003). Sin embargo, se conoce muy poco sobre sus características y comportamiento degradativo en caprinos. Algunos trabajos, indican niveles de degradación potencial desde el 44% (Cerrillo et al. 2004), hasta 82% de degradabilidad de la Fibra Neutro Detergente (FND). Sin embargo, no se ha generado información sobre el efecto que presenta la madurez de la penca del nopal en la degradabilidad de la PC y capacidad de utilización ruminal en caprinos así como el efecto que puede presentar la subalimentación en la capacidad de utilización de esta planta. El objetivo del presente trabajo, fue analizar el efecto que tiene el tamaño (madurez) de la penca del nopal (*Opuntia ficus-indica*), sobre la composición, degradación y cinética de degradación *In situ* de la proteína, así como el efecto del nivel de consumo de alimento de cabras fistuladas sometidas a pruebas *In Situ*, en la degradación y cinética de degradación de la PC del nopal.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 6 hembras encastadas de Nubio fistuladas y canuladas del rumen en dos repeticiones (n=12), con un peso de 37.6 ±3.4 Kg. y con 2 niveles de consumo alto (CA) (58 g MS/Kg. PV_{0.75} /día) y bajo (CB) (42 g de Materia Seca (MS)/ Kg. PV_{0.75}/día). El periodo de adaptación a la ración y estabilización de consumo fue de 8 semanas. La alimentación consistió en una ración con 12% de PC, 2.11 Mcal de Energía Metabolizable (EM) y 7.37% de Proteína degradable (PDeg) y se ofreció en forma restringida de acuerdo al nivel de consumo. El tamaño de la penca fue considerado como el resultado de la multiplicación del largo x ancho, siendo: penca chica (Pch) (170.7 ±48.2 cm²), penca mediana (Pm) (548.1± 105.0 cm²) y penca grande (Pg)(809.1±48.2 cm²). Las pencas fueron medidas, picadas y secadas a 60°C por 96 horas y posteriormente se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm. La cantidad de proteína se determinó de acuerdo a AOAC (1984). La metodología para la estimación de la degradabilidad *In Situ* fue de acuerdo a Mehrez y Ørskov (1977) en la que se utilizaron bolsas de nylon de 10 x 5 cm con un poro de 50 micrones (Ankom technology™), cada bolsa contenía 3 gr de muestra con 2 bolsas con muestra y un control por tiempo y animal. Los tiempos de degradación fueron 0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72 horas, utilizando 2 animales por tratamiento por ronda. Todas las bolsas con excepción de la del tiempo 0 se introdujeron en el rumen y se retiraron en su tiempo correspondiente, las bolsas del tiempo 0 solo fueron lavadas con el resto, usando tres ciclos de 15 minutos cada uno, para posteriormente secarse en horno de aire forzado a 60°C/96 horas. El diseño estadístico utilizado fue cruzado con arreglo factorial 3X2, siendo los factores el nivel de consumo (2 niveles) y el tamaño de la penca (3 tamaños). En cuanto a la cinética de degradación de la PC se utilizó el modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979) $a+b(1-e^{-(c*t)})$, estimando el contenido de la fracción soluble (a), la fracción potencialmente degradable (b) y la tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t) y a partir de estos parámetros se obtuvo el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva (a+b[c/c+kp]) considerando una tasa fraccional de paso (kp) de 0.04/h, 0.06/h, 0.08/h (Sauvant et al. 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Bromatológica: La composición de la penca se presenta en el cuadro 1, en el que se observa que el contenido de MS, FND, Fibra Detergente Ácido (FDA) y Hemicelulosa fue menor en la Pch, y tendió a incrementarse a mayor tamaño o madurez de la misma. Sin embargo, el contenido de Materia Orgánica (MO) y PC tendió a disminuir con el tamaño o madures de la penca, este comportamiento ha sido reportado en varios forrajes por NRC (2001). Por otra parte, en la Pch el contenido de Proteína Cruda unida a Fibra Detergente Neutro (PC-FDN) fue mayor y el contenido de Proteína Cruda unida a Fibra Detergente Ácido (PC-FDA) tendió a ser menor en la Pch, al igual que el contenido de cenizas, cuyos valores fueron de 23.7, 24.8 y 25.5 % en la Pch, Pm y Pg respectivamente. El contenido de nutrimentos en el nopal es muy variable de acuerdo a la variedad y edad, se han reportado contenidos de PC de 4% a 9% (Ramírez *et al.*, 2000; Grebemariam *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2006). En cuanto al contenido de cenizas Ramírez *et al.* (2000) informó de valores similares a los obtenidos en este trabajo. Es importante destacar, que el contenido de FND esta relacionado con la digestibilidad y degradabilidad de los alimentos (Van Soest *et al.*, 1982), pudiéndose esperar una mayor degradación y digestibilidad en la Pch.

Degradación de la PC: el comportamiento degradativo de acuerdo al tamaño o edad de la penca se aprecia en el cuadro 2, en el que muestra que no existieron diferencias ($P > 0.05$) entre tamaños o edad pero sí entre tiempos. Observándose una degradación al tiempos 0 de 16 a 23%, seguido de una rápida degradación hasta el tiempo 3, posteriormente se estabiliza la degradación hasta las 2 horas, en donde sigue un incremento de esta. El comportamiento degradativo que presentan los diferentes tamaños de penca de nopal fueron similares a lo observado en la MS en trabajos anteriores (Villegas *et al.*, 2006).

Por su parte la cinética de degradación (cuadro 3 y grafica 1) nos indica un mayor contenido fracciones solubles y de rápida degradación (a) en la Pch, pero una menor tasa de degradación (c), indicando un degradación potencial elevada pero de una forma lenta, por lo que la tasa de paso (kp) afectó mayormente a la Pch en su potencial de degradación, haciendo posible que esta tenga una menor degradabilidad efectiva. Por su parte las Pm y Pg presentaron una mayor degradabilidad efectiva que la Pch aún cuando su degradación potencial sea menor, es posible que el mucilago pudo haber retardado el ataque microbiano a la PC del nopal en especial a la Pch (mayor cantidad de carbohidratos no fibrosos). No se encontraron trabajos que mencionen el comportamiento degradativo de la PC en el nopal, sin embargo, Ramírez *et al.* (2000) menciona que la degradabilidad efectiva de las paredes celulares de *Opuntia lindheimieri* en su fracción a y b fueron de 36 y 47 % respectivamente.

Por otro lado, el consumo del animal canulado no afectó la degradación de la PC , (cuadro 4), sin embargo, Huntington y Gives (1995), mencionan que el nivel de consumo de los animales que están sometidos a pruebas de degradabilidad *In situ*, puede influir en la degradación del alimento, lo que se puede explicar por su efecto en el ecosistema microbial del contenido ruminal.

CONCLUSIONES

Una de las alternativas para la alimentación en las cabras es el nopal (*Opuntia ficus indica*) el cual se encuentra presente en una buena cantidad en la zonas semiáridas de nuestro país. La degradación *in-situ* del nopal se comporta de una manera muy particular al comenzar rápidamente, seguida de un periodo de estabilización y después de las 24 horas de reanuda esta degradación. La Pch presenta un contenido mayor de PC, sin embargo, la degradación efectiva de esta, es menor que en la Pm y Pg, influenciada por la velocidad de degradación, siendo lenta en la Pch y por lo tanto se ve afectada en mayor forma a menor tasa de paso. Es posible que la concentración de mucilago, puede influir en la degradación, retrazando el ataque microbiano en la Pch. La degradación de la PC en la penca fue influenciada por su edad (tamaño), ya que la Pch presentó una menor degradación efectiva. El nivel de consumo no influyó en el comportamiento degradativo de los diferentes tamaños de penca.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- Cerrillo, M. A., R. A. S. Juárez. 2004. In Vitro gas production parameters in cactus and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. Liv.Res. for Rural Dev. 16: 1-8.
- Gebremariam, T., S. Melaku., A. Yami. 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 sheep. Anim Feed Sci. Technol. En línea
- Huntington J. A y D. I. Givens. 1995. The in situ Technique for Studying the Rumen Degradation of Feeds: A Review of the Procedure. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B). Vol 65: 63-78.
- Mehrez, A. Z. y E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 88: 645-650.
- Mishra, 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.) with or without groundnut meal. Smal Rum. Resch. 63: 125-134.
- Mondragon-Jacobo, C., S.Méndez G. S ; G.Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. En. Mondragón-Jacobo F y S.Pérez. G. El Nopal (*Opuntia* spp) como forraje. Edit. FAO. Roma.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. Edit: Nat. Academic Press. Washington. DC.
- 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.
- Ramírez, R. G., R. R. Neira-Morales, R. A. Ledezma-Torres, C. A. Garibaldi-González. 2000. Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern México. Small. Rum. Research. 36: 49-55.
- Ramírez, R. G., R. R. Neira-Morales, R. A. Ledezma-Torres, C. A. Garibaldi-González. 2000. Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern México. Small. Rum. Resch. 36: 49-55.
- Van Soest, J. P. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Edit. Ithaca, New York. USA. Cornell University press.
- Villegas Díaz J. L.O., J.H. Aguilar Borjas, H.M. Andrade Montemayor, R. Basurto Gutierrez, H. Jimenez-Severiano, H. R. Vera-Ávila. 2006. Efecto de tamaño de corte de la penca de nopal (*Opuntia Ficus indica*) sobre la degradabilidad in situ y cinética de degradación de la materia seca en caprinos. XXI Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. AMPCA. Toluca, México. Octubre.

Cuadro 1.- Composición bromatológica porcentual de la penca del nopal con diferentes tamaños (relación con madurez).

	P. Chica	P. mediana	P. grande
MS	8.33	9.7	10.28
MO	76.3	75.2	74.4
PC	7.7	5.8	5.9
FDN	36.8	44.9	43.5
FDA	11.8	17.8	16.0
Hemicelulosa	25.0	27.1	27.4
PC-FDN	2.12	0.8	1.2
PC-FDA	0.23	0.43	0.30
Cenizas	23.7	24.8	25.5

Cuadro 2.- Efecto del tamaño de nopal en la degradabilidad de PC en el tiempo.

	0	3	6	9	12	24	48	72	X	EE ±	Sig	
1		23.6a	43.9b	56.1b	54.5b	53.8b	56.9bd	77.6cd	88.8c	50.0	2.01	***
EE±			3.6	7.7	6.0	6.7	9.5	13.4	7.7	6.7		
2		16.4a	54.8b	57.9b	56.3b	54.9b	73.0bd	76.9cd	98.4c	50.4	2.3	***
EE±			4.8	6.0	5.1	5.5	6.7	9.5	7.7	9.5		
3		17.0a	52.0b	46.5b	66.5b	65.1b	84.5bd	87.5cd	97.9c	46.6	2.3	***
EE±			6.8	6.7	6.0	7.7	5.5	13.4	6.0	6.7		
Sig			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Cuadro 3.- Parámetros de cinética de la degradación de la PC de penca de nopal con diferentes tamaños o madurez

	Deg. Potencial			Degradación efectiva ₁			R ²	EM	Sig	
	a	b	c	a+b	Kp=0.04	Kp=0.06				Kp=0.08
Nopal Chico	20.8	81.6	0.02	102.4	48.03	41.22	37.14	82.61	11.86	NS
Nopal Mediano	11.2	65.5	0.15	76.8	62.99	58.06	53.99	72.76	15.43	NS
Nopal Grande	10.5	54.7	0.21	65.24	56.4	53.08	50.14	73.8	13.03	NS

₁ Degradación efectiva: $a+b*(c/c+kp)$ kp= Tasa fraccional de paso (0.04 =4%/h), (0.06= 6%/h), (0.08= 8%), : NS: No significativa (P>0.05), a= fracción soluble y de rápida degradación, b= fracción de lenta degradación, c= tasa fraccional de paso/hora.

Cuadro 4.-Efecto del nivel de consumo de alimento de animal fistulado en la degradabilidad de los diferentes nutrimentos nutrimentos

	Nopal chico				Nopal mediano				Nopal grande				Sig.
	Consumo alto		Consumo bajo		Consumo alto		Consumo bajo		Consumo alto		Consumo bajo		
	X	EE	X	EE	X	EE	X	EE	X	EE	X	EE	
MS	59.7	4.6	54.2	5.1	59.7	4.6	65.7	7.3	59.6	6.3	62.9	5.6	NS
PC	37.6	5.9	27.1	6.6	36.1	7.2	47.1	9.4	53.2	8.5	41.8	7.2	NS

