



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



**EFFECTO DEL TOSTADO DE LA VAINA DEL MEZQUITE (*Prosopis laevigata*)
EN LA DEGRADABILIDAD *in situ* Y CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA
MATERIA SECA, PROTEÍNA CRUDA, FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y
FIBRA DETERGENTE ÁCIDA EN PRUEBA EN CAPRINOS**

Tesis individual

Que para obtener el título de
Médico Veterinario Zootecnista

Presenta

José Heriberto Aguilar Borjas

Asesor

Dr. Héctor Mario Andrade Montemayor

Querétaro, Qro.

Mayo 2009

No. Adq. H74150

No. Título _____

Clas T5

664.64

A283e

RESUMEN

El mal uso de los recursos naturales ha provocado su deterioro. Teniendo como ejemplos: el sobrepastoreo, fuegos accidentales, desmonte, etc. además de las sequías recurrentes y prolongadas. Siendo aun más grave en las regiones semiáridas. Traduciéndose todo lo anterior en bajas en la producción animal y altas mortalidades por falta de alimentos para el ganado, lo que ha hecho necesario indagar en suplementos alimenticios estratégicos que mejoren la productividad.

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto del tostado de la vaina del mezquite en su composición, degradabilidad y cinética de degradación de la MS, PC, FDN y FDA. Así como el efecto del nivel de consumo en estas variables. Para cubrir dichos objetivos se realizó lo siguiente:

La vaina de mezquite en estado maduro se utilizó como alternativa en la alimentación del ganado caprino, una vez recolectada se tostó en una estufa de desecación (150° C/45 min.) y fue secada a 60° C/48h al igual que la vaina sin tostar (cruda). Ambas muestras fueron molidas (2 mm) e introducidas en bolsas de nylon de 10x5cm con poro de 50 μ (Ankon Technology®). Con una cantidad de 3g de muestra, siendo 2 bolsas con muestra por tiempo y 1 control por animal. Los tiempos de degradación fueron: 0, 1, 3, 6, 9, 12, 48, y 72h. Las bolsas fueron introducidas en las 4 cabras (37.6 \pm 3.4Kg) previamente fistuladas y canuladas del rumen, a las cuales se les sometió a 2 niveles de consumo: consumo alto (CA) 58 g MS/Kg. PV^{0.75}/día y consumo bajo (CB) 42 g MS/ kg PV^{0.75}/día. La prueba experimental se realizó en dos repeticiones.

La determinación del contenido de MS, MO, PC y cenizas se realizó de acuerdo a lo recomendado por la AOAC (1984), las fracciones de fibra de acuerdo a Van Soest et al. (1991) y de fracciones de PC unido a FND y FAD (PC-FND y PC-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), como se describió anteriormente. En cuanto a la cinética de degradación el modelo utilizado fue el descrito por Ørskov y McDonald (1981) $a+b(1-e^{-c*t})$, 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 una tasa fraccional de paso (kp) de 0.04/h, 0.06/h, 0.08/h.

Los resultados fueron los siguientes:

El tostado provocó una menor degradabilidad de la MS ($P < 0.05$) (54.16 ± 0.81 vs 48.04 ± 0.8). Observándose una degradación rápida, seguido de un periodo de estabilización y posteriormente el reinicio de la degradación, con un comportamiento similar entre los tratamientos (VMC y VMT).

La cinética de degradación de la VMT presentó un menor contenido de la fracción (a), con un mayor contenido de la fracción (b) y una menor tasa fraccional de degradación (c), por lo tanto, el potencial de degradación (a+b) a 72 horas fue menor, así como la degradación efectiva, en la que se aplicó una tasas fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h.

El tostado provocó una menor degradación de la PC ($P < 0.05$). Presentándose 3 periodos de degradación en el tiempo, al igual que en la MS.

La VMT en la cinética de degradación presentó un menor contenido de La fracción (a), con un mayor contenido de la fracción (b) y una menor tasa fraccional de degradación (c), por lo tanto, el potencial de degradación (a+b) fue menor, así como la degradación efectiva en la que se aplicaron tasas fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h.

En la degradación de la FDN no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos, solo en tiempos, en donde la degradación fue de forma ascendente.

La cinética de degradación de la FDN presentó una fracción soluble (a) menor ($P < 0.001$), pero mayor contenido ($P < 0.001$) de la fracción de lenta degradación (b), y una mayor tasa fraccional de degradación (c), siendo el potencial de

degradación (a+b) similar en ambos tratamientos (VMC y VMT). Pero la degradación efectiva para la VMT fue mayor ($P<0.05$).

La degradación de la FDA fue similar a la de la degradación de la FDN, observándose diferencias entre tratamientos ($P>0.05$), y entre tiempos de degradación.

Por otra parte en la cinética de degradación de la FDA, no hubo diferencias en el contenido de la fracción (a) pero el contenido de la fracción (b) ($P<0.01$) fue mayor en la VMT, sin presentar efectos en la tasa fraccional de degradación (c) ($P>0.05$). Pero la degradabilidad efectiva, en la que se aplicaron tasa fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h fue menor a la VMT ($P<0.01$).

Por otra parte el consumo en los animales fistulados que tuvieron un consumo mayor de MS (58 g MS/Kg. $PV^{0.75}$ /día) provocó mayor ($P<0.05$) degradación de MS y PC, posiblemente por el mayor consumo de MOD que permitió un mayor desarrollo de microflora bacteriana.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Dr. HÉCTOR MARIO ANDRADE MONTEMAYOR
Por ser mi asesor y dedicar su tiempo y esfuerzo

Dra. TERESA GARCÍA GASCA
Revisor

Dr. HÉCTOR JIMÉNEZ SEVERIANO
Revisor

Por su participación en el trabajo

ÍNDICE

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE	vii
Índice de cuadros	xi
Índice de figuras	xiv
Índice de gráficas	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	4
2.1. Hipótesis	5
2.2. Objetivo general	5
2.3. Objetivos específicos	5
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Ganadería en zonas semiáridas	7
3.2. Sistemas de producción caprina	8
3.3. El mezquite	8
3.3.1. (<i>Prosopis laevigata</i>)	9
3.3.2. Usos del mezquite	10
3.4. Concepto de degradabilidad	11
3.4.1 Determinación de la degradabilidad ruminal	12
3.4.2. Cinética de la degradación ruminal	13
3.4.3. Cinética de degradación de las proteínas	15
3.4.4. Cinética de degradación de los carbohidratos	18
3.4.5. Factores que afectan la degradabilidad ruminal	19

3.4.5.1. Estructura de la molécula de proteína	19
3.5. Solubilidad y degradabilidad del mezquite (<i>P. laevigata</i>)	20
3.6. Tratamientos que afectan la degradabilidad de alimentos	21
3.6.1. Tratamientos químicos	21
3.6.2. Tratamientos físicos	21
3.7. Factores antinutricios	25
3.7.1. Inhibidores de proteasas	25
3.7.2. Lectinas	25
3.7.3. Taninos	26
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	28
4.1. Ubicación	29
4.2. Elaboración de las cánulas	29
4.3. Preparación de los animales para cirugía	30
4.4. Raciones y adaptación de los animales a pruebas <i>in situ</i>	31
4.5. Niveles de consumo	31
4.6. Preparación de las vainas y de las raciones	33
4.6.1. Tostado	33
4.7. Pruebas de degradabilidad <i>in situ</i>	33
4.8. Análisis de laboratorio	34
4.9. Cálculos y estimaciones	35
4.9.1. Cinética de degradación	35
4.10. Diseño estadístico	36

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1. Composición bromatológica de la vaina del mezquite	38
5.2. Contenido mineral	38
5.3. Degradación de la MS	40
5.4. Cinética de degradación de la MS	41
5.5. Degradación de la PC	43
5.6. Cinética de degradación de la PC	44
5.7. Degradación de la FDN	46
5.8. Cinética de degradación de la FDN	47
5.9. Degradación de la FDA	49
5.10. Cinética de degradación de la FDA	50
5.11. Efecto del nivel de consumo de los animales canulados en la degradabilidad <i>in situ</i> de la MS, PC, FDN y FDA	52
VI. CONCLUSIONES	55
VII. BIBLIOGRAFÍA	58
VIII. ANEXOS	69
8.1. Abreviaturas	70
8.2. Publicaciones producto de la tesis	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.4.4.1. Coeficientes de correlación entre los parámetros de la cinética de degradación de las paredes celulares, y el contenido de lignina de plantas de noreste de México (Adaptada de Ramírez et al. 2000).	19
Cuadro 3.6.2.1. Efecto del tratamiento térmico sobre la desnaturalización y degradación de la proteína (Yu et al., 2002)	24
Cuadro 4.5.1. Ración de adaptación	32
Cuadro 4.5.2. Composición nutricional de la dieta	32
Cuadro 5.1.1. Composición bromatológica porcentual de la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) cruda (VMC) y tostada (VMT).	38
Cuadro 5.2.1. Contenido de minerales en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) cruda (VMC) y tostada (VMT).	40
Cuadro 5.3.1. Efecto del tostado en la degradación de la MS de la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	41
Cuadro 5.4.1. Parámetros de cinética de degradación de la MS de la vaina de mezquite cruda y tostada	42
Cuadro 5.4.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva ¹ de la MS.	42
Cuadro 5.5.1. Efecto del tostado de la vaina del mezquite en la degradabilidad de la PC (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	44
Cuadro 5.6.1. Parámetros de cinética de la degradación de la PC en la vaina de mezquite cruda y tostada.	45

Cuadro 5.6.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva ¹ de la PC.	45
Cuadro. 5.7.1. Efecto del tostado de la FDN en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	47
Cuadro 5.8.1. Parámetros de cinética de la degradación de la FDN en la vaina de mezquite cruda y tostada.	48
Cuadro 5.8.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva ¹ de la FDN.	48
Cuadro 5.9.1. Efecto del tostado de la FDA en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	49
Cuadro 5.10.1. Parámetros de cinética de la degradación de la FDA en la vaina de mezquite cruda y tostada.	51
Cuadro 5.10.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva ¹ de la FDA.	51
Cuadro 5.11.1. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad <i>in situ</i> de la MS en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	52
Cuadro 5.11.2. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad <i>in situ</i> de la PC en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	53
Cuadro 5.11.3. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad <i>in situ</i> de la FDN en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	53
Cuadro 5.11.4. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad <i>in situ</i> de la FDA en la vaina de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>) ¹	54

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 3.1. Fraccionamiento de la proteína según el modelo Cornell y su relación con las determinaciones químicas (Sniffen et al., 1992). 16
- Figura 4.2.1. 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. 30
- Figura 4.3.1. Fotografías de cirugía. **A**, embrocado de la zona a incidir. **B**, exteriorización del rumen. **C**, clamp sujetando un pliegue del rumen. **D**, cabra fistulada y canulada del rumen. 31

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.3.1. Degradación de la MS del mezquite en el tiempo	41
Gráfica 5.4.1. Cinética de la degradación de la MS en la vaina de mezquite cruda y tostada.	43
Gráfica 5.5.1. Degradación de la PC del mezquite en el tiempo	44
Gráfica 5.6.1. Cinética de la degradación de la PC en la vaina de mezquite cruda y tostada.	46
Gráfica 5.7.1. Degradación de la FDN del mezquite en el tiempo.	47
Gráfica 5.8.1. Cinética de la degradación de la FDN en la vaina de mezquite cruda y tostada	49
Gráfica 5.9.1. Degradación de la FDA del mezquite en el tiempo	50
Gráfica 5.10.1. Cinética de la degradación de la FDA en la vaina de mezquite cruda y tostada	52

I. INTRODUCCIÓN

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 2004 165,000 toneladas, principalmente en Coahuila, Durango, Guanajuato, Chihuahua y Jalisco (SAGARPA, 2005) y con una producción de carne de 42 389 toneladas en el 2005 (SAGARPA, 2007).

La cabra es uno de los rumiantes que ha acompañado al hombre desde los albores de su civilización, su domesticación fue aproximadamente hace 10 000 años (Impastato, 2001). México es considerado el primer productor de caprinos en América Latina, con una población de nueve millones 500 mil cabezas (SAGARPA, 2005). La caprinocultura es una de las actividades agropecuarias más extendidas en las regiones áridas y semiáridas de México, las cuales se caracterizan por una precipitación pluvial reducida (360-600mm al año) (SAGARPA, 2003). En estas regiones existe una vegetación de árboles poco densos, arbustos, matorrales y cactáceas, así como suelos pobres y con problemas de erosión (Álvarez y Medellín, 2005). Los caprinos por sus características de adaptación, son el tipo de ganado que pueden subsistir en éstas áreas, por lo que en México el 79% de su población se encuentra en estas regiones (Gamarra, 2005). A pesar de ello, esta actividad representa una fuente de ingresos y alimentos, considerándose como el principal sustento para muchas familias de los sectores menos favorecidos económicamente. Su fácil manejo permite el trabajo de la mujer, niños y ancianos, traduciendo todo esto en un bienestar a las comunidades rurales (Arbiza 1996).

Sin embargo, en las zonas semiáridas como consecuencia de las condiciones climáticas existe una relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos y el inicio de la actividad reproductiva y productiva de cada especie (Malpaux, 2005; Mellado, 2005). La reducida y estacional producción de alimentos, trae como consecuencias una baja productividad animal, con pobres tasas de fertilidad y nacimientos, así como una elevada mortalidad (Cantú, 1997; FIRA, 1999).

La suplementación energética y/o proteica con productos de la región en momentos específicos (inicio de actividad reproductiva, época de partos, etc.)

podría mejorar la productividad, haciendo la caprinocultura más rentable en las zonas semiáridas y rurales. El mezquite (*Prosopis laevigata*), en especial la vaina, es una alternativa de suplementación en la alimentación por su adecuado contenido de nutrientes. Su floración inicia en febrero-marzo y termina en abril-mayo. La fructificación se extiende durante los meses de mayo a agosto, mientras que la recolección se lleva acabo a fines de este mes y hasta octubre, esperando el momento en el que finaliza la época de lluvias (INE, 1994). Ya que la cabra es un animal reproductivamente estacional (Delgadillo 2005; Malpaux, B. 2005; Zarazaga *et al.*, 2005), su estación reproductiva se reduce a los meses de Junio-Octubre (Delgadillo *et al.*, 2002) por lo que al disponer de vaina de mezquite durante el inicio del empadre, se suplementaría en ese momento, traduciéndose en efectos importantes sobre la reproducción, ya que las hembras bien nutridas y en buena condición física presentan una mayor prolificidad (Landau *et al.*, 1997).

No obstante, al ser una leguminosa, el mezquite presenta un elevado contenido de proteínas solubles que al consumirse en cantidades elevadas puede causar pérdidas de nitrógeno en el rumen. Por otro lado contiene algunos factores antinutricios (lectinas, factores antitripsicos, entre otros), que limitan la disponibilidad de los nutrimentos y presentan efectos negativos en el animal. Los tratamientos térmicos tales como el tostado han demostrado su eficacia para disminuir la degradabilidad de la proteína y reducir el contenido de factores antinutricios termolábiles en los alimentos (Yu *et al.*, 2002).

En este trabajo se analizará el efecto del tostado de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) y el nivel de consumo en la degradabilidad *in situ* y cinética de degradación de la materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácida en caprinos.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. Hipótesis

Debido a que los tratamientos térmicos alterarán el comportamiento degradativo de las proteínas (desnaturalización), el tostado de la vaina de mezquite provocará una disminución en la degradabilidad ruminal de la proteína cruda.

2.2. Objetivo general

Analizar el efecto térmico de la vaina del mezquite (*Prosopis laevigata*) como suplemento en la alimentación de caprinos en las regiones del semidesierto.

2.3. Objetivos específicos

1. Evaluar los efectos del tostado de la vaina del mezquite en la composición, degradabilidad y cinética de degradación de la materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), y fibra detergente ácido (FDA).
2. Conocer el efecto del nivel de consumo en estas variables.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. GANADERÍA EN ZONAS SEMIÁRIDAS:

La extensión territorial de México, es de 1 964 375 Km² (INEGI, 2003), de los cuales, 39 217 585 ha son semiáridas, y presentan una precipitación pluvial de 350 a 600 mm al año (SAGARPA, 2003).

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, 2006).

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).

Las variaciones climatológicas, que sobre todo en la primera mitad de la década de los 90's afectaron severamente a las ganaderías extensivas del Centro y Norte del país, resultaron en la prolongación de los periodos de estiaje. Lo anterior provocó la disminución de la disponibilidad de forrajes lo que 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, 2006). Lo anterior muestra la relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos y el inicio de la actividad reproductiva y productiva, siendo afectado en forma especial el ganado caprino, por su estacionalidad reproductiva. (Malpaux, 2005; Mellado, 2005)

3.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAPRINA

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. 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, 2006). En esta es 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 este sistema de producción está caracterizado por bajos niveles de producción (Cofré, 2007).

3.3. EL MEZQUITE

El mezquite (*Prosopis spp*), pertenece a las familia Leguminoseae, es un árbol o arbusto que se encuentra en forma natural formando parte del matorral espinoso. También se distribuye en forma aislada entremezclado con plantíos o cultivos anuales como el maíz y alfalfa, así como en laderas riolíticas o en terrenos aluviales con vegetación muy alterada. (FAO, 1998).

Existen muchas variedades de mezquite, sin embargo, en la región de Querétaro, especialmente en los alrededores de la ciudad de Querétaro, Pedro Escobedo y San Juan del Río, la especie dominante es *Prosopis laevigata*. (Zamudio *et al.*, 1992).

3.3.1. *Prosopis laevigata*

Su origen viene de regiones áridas y semiáridas de México y regiones del sur y sureste de los Estados Unidos. (FAO, 1998). En la República Mexicana, estas regiones o zonas representan el 54.3% de su superficie total. (Cervantes, 2002).

En nuestro país, el mezquite (*Prosopis laevigata*) se localiza en el centro y sur de México, en ambientes muy diversos que van desde los climas calientes hasta los templados y de los semihúmedos hasta los muy secos. Sin embargo, su principal distribución se encuentra en las zonas áridas y semiáridas del país; en los estados de Guerrero, Querétaro, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Veracruz, Nuevo León, Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, y Zacatecas. (INE, 1994); así como en el centro y en el sur del Perú (Ffolliott y Thames, 1983).

De acuerdo a la clasificación de la FAO, el mezquite se localiza en las zonas desérticas y semidesérticas, formando parte de la vegetación de árboles poco densos y arbustos desde el nivel del mar hasta los 2.050 msnm. En cuanto a sus condiciones de hábitat natural y de las localidades donde esta especie ha sido cultivada, el crecimiento del mezquite se encuentra íntimamente relacionado con la profundidad del suelo y la disponibilidad de agua en el subsuelo. Por tal motivo, los ejemplares que alcanzan mayor altura y grosor del fuste se localizan en valles con suelos profundos, así como en los márgenes de ríos y arroyos, cuerpos de agua y drenaje de los escasos escurrimientos en zonas áridas y semiáridas. (FAO, 1998).

Recientemente el mezquite ha sido considerado un arbusto con una alta capacidad colonizadora, debido a su habilidad de producir un gran número de semillas. Una causa de la rápida dispersión del árbol de mezquite es que la difusión de sus semillas es debido al apacentamiento de los animales (Mahgoub *et al.*, 2005). Se conoce como zoocora y endozoica a la diseminación de la semilla a través del aparato digestivo del borrego y/o la cabra (FAO, 1998).

El mezquite soporta temperaturas extremas, las cuales varían entre 0° y hasta 48° C y una temperatura media anual de 18° C, precipitaciones bajas, las cuales en algunas ocasiones son de 100 mm o menores, humedad relativa baja, insolación alta y vientos en la época invernal muy fuertes, período de lluvias corto (de 2 a 3 meses), con presencia de heladas. Por las condiciones en las zonas áridas y semiáridas donde se localiza la especie, prospera mejor en suelos arenosos profundos de buen drenaje. Los suelos con mayor distribución del mezquite son las partes bajas que por lo general presentan un elevado contenido de sales, aunque también se desarrolla en suelos arcillosos, por otra parte es tolerante a la salinidad (FAO, 1998).

3.3.2. Usos del mezquite

El mezquite ha sido un árbol muy importante en la vida de los habitantes de las regiones áridas y semiáridas de México y el suroeste de los Estados Unidos. Al ser una especie que crece de manera natural en estos territorios, ha brindado durante siglos diversos usos sin los cuales hubiera sido muy difícil la sobrevivencia en las épocas de estiaje, pues es precisamente durante este tiempo cuando el mezquite florece y proporciona sus jugosos frutos. En la actualidad, el mezquite sigue siendo un recurso de importancia para los pobladores de las regiones áridas y semiáridas, quienes llevan a cabo su aprovechamiento como una actividad complementaria a la agricultura, la ganadería y la explotación de otras especies silvícolas. Dentro de sus diferentes usos está la madera, leña, carbón, y otros como alimentación humana y animal. (INE, 1994). También es apreciado como

planta melífera y por su obtención de gomas para usos farmacéuticos. (FAO, 1998).

Las hojas y vainas se utilizan como forraje para el ganado, sobre todo la última, ya que las vainas tienen un alto valor nutritivo., además de considerarse el producto más valioso, pues contribuye a reducir el costo de la alimentación del ganado en las zonas áridas y semiáridas. Debido a lo anterior, es de gran importancia desde el punto de vista socioeconómico (FAO, 1998) a la vez que su recolección representa un ingreso adicional para los campesinos de las regiones donde es aprovechado. El rendimiento de producción de vaina por árbol está entre los 15 y 20 Kg. y se recolectan de 4,500 a 5,000 Kg. en una ha al año. (INE, 1994).

Se ha utilizado la vaina de mezquite como alimento para ganado caprino en las regiones semiáridas de nuestro país por su adecuado contenido de nutrientes, como son: proteína cruda (PC) 12-18%, fibra detergente neutro (FDN) 29-40% y carbohidratos no estructurales (CNE) 25-50% (Ramírez *et al.*, 2000; Batista *et al.*, 2002).

Sin embargo, presenta algunos inconvenientes. Uno de ellos es que el valor nutritivo de la vaina de mezquite (así como los granos de otras leguminosas), es mucho menor del que se podría esperar en relación con su composición química. (Brenes y Brenez, 1993). Es decir, su uso en la alimentación animal se encuentra limitado y la utilización es ineficiente bajo ciertas circunstancias (Yu *et al.*, 2002).

3.4. CONCEPTO DE DEGRADABILIDAD

El alimento que el rumiante ingiere se puede dividir en dos fracciones, una fracción indegradable y una fracción potencialmente degradable, que es la que es procesada por los microorganismos a una velocidad o ritmo determinado (González *et al.*, 1991).

La fracción del alimento que se hidroliza en el rumen para proporcionar energía (carbohidratos fundamentalmente) o una mezcla de péptidos, aminoácidos libres y amoníaco (proteínas y nitrógeno no proteico, 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 pasan al intestino contribuyendo con un 40 a 50% de la proteína. La restante fracción proteica que llega a intestino procede directamente del alimento y corresponde a la proteína no degradable en rumen (PND) (Owens y Goestch, 1984).

La degradación ruminal está influenciada por varios factores: características de la ración, nivel de consumo que influye en el tiempo de permanencia del alimento y, por tanto, su exposición a los microorganismos ruminales; y las condiciones ambientales en el rumen (pH y la concentración de NH_3) (Ørskov, 1988).

3.4.1 Determinación de la degradabilidad ruminal

Existen varios métodos para determinar la degradabilidad en el rumen, el más común es el *in situ* o *in sacco*, que se basa 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. 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 los nutrientes (Mehrez y Ørskov, 1977).

La degradabilidad se calcula restando el contenido del nutriente presente en la bolsa al que se encuentra después de la incubación. Las curvas de degradación obtenidas se pueden modelizar 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).

3.4.2. Cinética de la degradación ruminal

Los alimentos presentan diversas fracciones de acuerdo a su velocidad y grado de degradación. El modelo más sencillo indica dos fracciones, la primera es una fracción soluble de muy rápida degradación y la segunda una fracción potencialmente degradable, dependiente de la tasa de degradación y el tiempo de exposición. La cantidad degradable depende también del tiempo de permanencia del alimento en el rumen, parámetro relacionado con su ritmo de paso. La interpretación de esta información ha generado la creación de diferentes modelos matemáticos (Broderick, 1994). El modelo más común 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** 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" (t_0 ó L), antes de que se inicie la degradación. Como consecuencia, McDonald (1981) propuso 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 (Dhanao, 1988).

La integración de la información relativa a las distintas fracciones de un alimento o componente (a y b), el ritmo de degradación en rumen (c ó k_d) y el ritmo de paso de la digesta a través del retículo-rumen (r ó k_p) permite calcular la cantidad de un alimento o componente del mismo que será degradado en rumen. A lo anterior se le denomina degradabilidad efectiva, ya que la velocidad de paso del alimento es un factor importante a considerar así, a mayor ritmo de paso menor degradabilidad (Mertens, 1987). Como consecuencia, atendiendo al modelo de Ørskov y McDonald (1979) la estimación se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Degradabilidad efectiva} = a + b [k_d / (k_d + k_p)]$$

3.4.3. Cinética de degradación de las proteínas

Las fracciones proteicas de ciertas leguminosas, como los guisantes, consiguen un porcentaje de degradación alto en un corto periodo de tiempo, mientras que otras como la harina de pescado o harinas tratadas térmicamente tienen niveles de degradación más bajos incluso con tiempos de degradación mayores. Las fracciones nitrogenadas se pueden dividir de acuerdo a su forma de degradación en (Andrade-Montemayor, 2005):

- Una fracción rápidamente degradable (a) que incluye al nitrógeno no proteico y algunas proteínas solubles y de rápida degradación.
- Una fracción potencialmente degradable (b), cuya degradación ruminal dependerá de su ritmo de degradación (c ó k_d) y de la velocidad de paso por el rumen (r ó k_p).
- Y una no degradable, la cual pasa intacta al duodeno junto con la proteína microbiana sintetizada en el rumen, para su posterior digestión intestinal.

De tal manera que los alimentos se caracterizarán por las distintas fracciones degradables y no degradables que contienen. En el *National Research Council* (NRC) (2001) se propone un modelo que describe la degradación ruminal a partir de valores obtenidos *in situ* usando tres fracciones proteicas.

- La fracción A representa la proteína soluble (incluyendo el NNP) y se asume que se degrada instantáneamente.
- La fracción B representa la fracción potencialmente degradable (se calcula por diferencia entre la proteína total y la suma de la fracción A mas la fracción C).
- La fracción C se considera totalmente indegradable en rumen.

Con este modelo, la proteína degradable en el rumen (PDR) se calcula:

$$PDR = A + B [k_d / (k_d + k_p)]$$

Y la proteína no degradable (PND) según la siguiente ecuación, donde k_d es el ritmo de degradación obtenido *in situ* y k_p el ritmo de paso.

$$PND = B [k_p / (k_d + k_p)] + C$$

Este modelo del NRC (2001), es una síntesis de uno de los sistemas que utiliza mayor número de fracciones proteicas: el *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (Sniffen *et al.*, 1992). En este modelo la proteína se divide en cinco fracciones: A, B₁, B₂, B₃ y C (Figura 3.1). A cada subfracción se le atribuye un ritmo de degradación (k_d), característico de cada alimento, que junto con una estimación del tiempo de retención del contenido digestivo ruminal o ritmo fraccional de tránsito (k_p), permite estimar la proporción de cada fracción que es degradada en el rumen o que lo abandona sin sufrir degradación (Sniffen y Robinson, 1987).

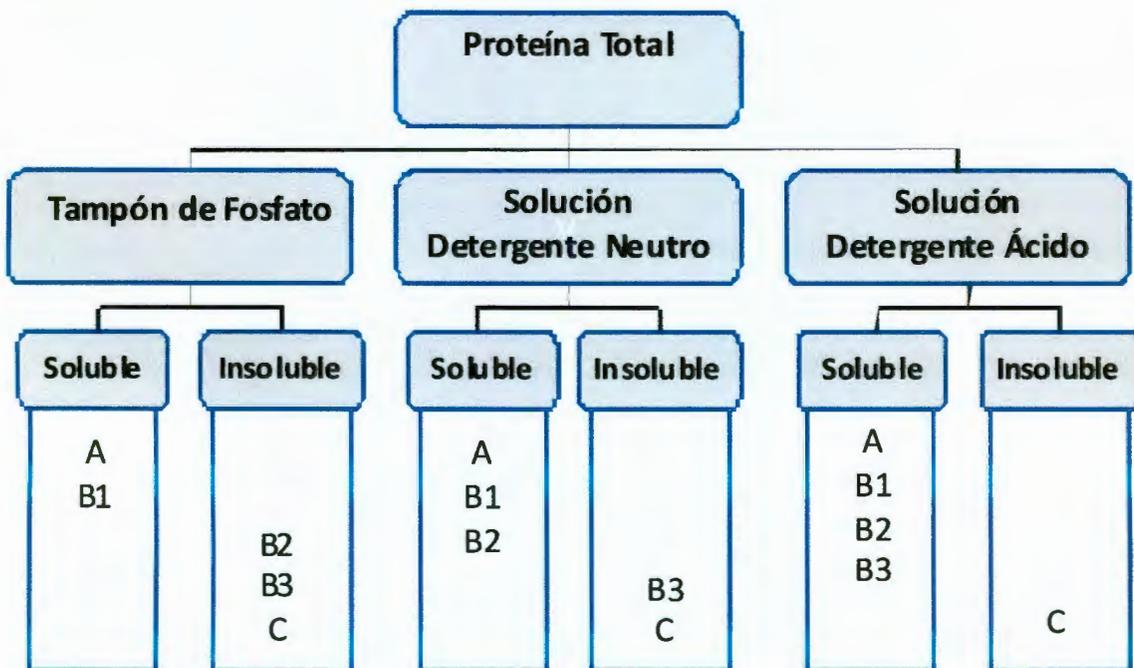


Figura 3.1. Fraccionamiento de la proteína según el modelo Cornell y su relación con las determinaciones químicas (Sniffen et al., 1992).

Así, cada fracción se corresponde con:

- A = Es el NNP y la proteína que es soluble instantáneamente en rumen a tiempo 0, que tiene una k_d infinita. Químicamente es la fracción que es soluble en solución borato-fosfato pero que no precipita en ácido tricloroacético.
- B = Es la fracción potencialmente degradable. Su degradación dependerá de la relación entre la k_d y la k_p , y se divide en tres, B_1 , B_2 y B_3 :
 - B_1 = Es la fracción de proteína que es soluble en tampón borato-fosfato y precipita en ácido tricloroacético. Esta fracción es de degrababilidad rápida ($k_d = 120-400\%/h$) y se corresponde con la fracción soluble de albúminas y globulinas.
 - B_2 = Es la calculada como el total de proteína menos la suma de las fracciones A, B_1 , B_3 y C. Esta fracción es de degradabilidad intermedia ($k_d = 3-16\%/h$) y se corresponde con la fracción insoluble de albúminas y globulinas.
 - B_3 = Se obtiene por diferencia entre la proteína ligada a la fibra detergente neutro y la proteína ligada a la fibra detergente ácida. Esta fracción es de degradabilidad lenta ($k_d = 0,06-0,5\%/h$) y se corresponde con la proteína ligada a la pared celular disponible.
- C = Es el porcentaje de proteína que se recupera con la FDA o nitrógeno insoluble en FDA, esta fracción se considera no degradable ($k_d = 0\%/h$) y contiene a las proteínas unidas a lignina y a taninos, además de las proteínas dañadas por calor producto de reacciones Maillard.

Además, la degradabilidad dependerá de múltiples factores (Broderick, 1994) como: área de superficie disponible, características físicas y químicas de la proteína, acción protectora de otros componentes, así como de la propia ración y de su nivel de ingestión.

3.4.4. Cinética de degradación de los carbohidratos

Los carbohidratos se han dividido en dos grandes grupos, estructurales (CE) y no estructurales (CNE), atendiendo a su composición y función. Esta clasificación también va a determinar su cinética de degradación ruminal y su lugar de digestión (Nocek y Tamminga, 1991; Dehority, 1993).

Así, en el sistema *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (Sniffen et al., 1992) se valora el aporte de energía al rumen en términos de carbohidratos estructurales y no estructurales, basándose en el esquema de fraccionamiento de la fibra de Goering y Van Soest (1970). Los carbohidratos estructurales se corresponden con la fibra detergente neutro (FDN), mientras que los carbohidratos no estructurales comprenden el resto de los carbohidratos (azúcares, almidón, fructosanos, galactanas, pectinas y β -glucanos) estimados por diferencia entre el contenido en materia orgánica y el de carbohidratos estructurales (o fibrosos según este fraccionamiento), la proteína y el extracto etéreo.

Los CE son los principales carbohidratos de los forrajes, son elementos complejos constituyentes de la pared celular o FDN, y presentan enlaces de tipo β . Los alimentos fibrosos se degradan más lentamente que los carbohidratos no estructurales, por lo que constituyen un sustrato de fermentación microbiana que proporciona energía a un ritmo más lento (Chesson, 1983). La degradabilidad de la celulosa de los forrajes puede variar entre el 25-90%, mientras que la hemicelulosa entre un 45-90% (Moore y Hatfield, 1994), siendo uno de los factores más limitantes de la degradabilidad de estos componentes de la pared celular la presencia de lignina en la misma (Akin y Chesson, 1990).

Como consecuencia, dependiendo del alimento, las características de degradación de sus fracciones fibrosas son diferentes. En el Cuadro 3.4.4.1 se muestra una matriz de correlaciones que relaciona los parámetros de la cinética de degradación

de las paredes celulares con la composición en lignina de diferentes plantas utilizadas en el pastoreo de pequeños rumiantes en el noreste de México, trabajo realizado por Ramírez *et al.*, (2000). Estos resultados evidencian unas correlaciones, negativas, altas y significativas entre la degradabilidad de la FDN en sus distintas fracciones (a y b), su degradabilidad potencial (a+b) y el ritmo de degradación, constatándose el efecto negativo del nivel de lignina sobre la degradabilidad de las paredes celulares.

Cuadro 3.4.4.1. Coeficientes de correlación entre los parámetros de la cinética de degradación de las paredes celulares, y el contenido de lignina de plantas de noreste de México (Adaptada de Ramírez *et al.*, 2000).

	a (%) ¹	b(%) ²	a+b(%)	c(%/h) ³
Lignina	-0,77***	-0,64***	-0,77***	-0,77***

¹ a (%): Fracción rápidamente degradable.

² b (%): Fracción potencialmente degradable.

³ c (%/h): Tasa fraccional de degradación o k_d .

*** (P<0,001).

3.4.5. Factores que afectan la degradabilidad ruminal

Existen numerosos factores ligados al alimento, como las características de las fuentes nitrogenadas y los carbohidratos, que pueden considerarse como elementos que van a afectar la tasa de degradación en rumen. Además, existen otros factores ligados al animal que también influyen en la degradación ruminal de los nutrientes (Andrade-Montemayor, 2005).

3.4.5.1. Estructura de la molécula de la proteína

La estructura tridimensional de las proteínas es un factor que determina tanto su solubilidad como su degradabilidad en rumen. En general, a mayor complejidad y

cantidad de enlaces presentes, mayor dificultad tendrán las enzimas microbianas para acceder a la proteína y degradarla (Andrade-Montemayor, 2005).

La clasificación de la proteínas en solubles e insolubles, ha sido de gran importancia en la alimentación de los rumiantes ya que, generalmente, las proteínas solubles proporcionan más nitrógeno disponible a los microorganismos ruminales (Wallace, 1988; Van Soest, 1994; NRC, 2001). Sin embargo, no existe una clara relación entre la solubilidad de las proteínas y su degradabilidad. En general, las proteínas solubles son más vulnerables a la proteólisis que las proteínas insolubles, debido a que la accesibilidad de las proteasas es mayor si la proteína se encuentra en solución. Sin embargo, algunas proteínas pueden ser hidrolizadas en estado sólido y ser poco solubles, como es el caso de la zeína y la caseína (NRC, 1985; 2001), o en forma contraria, la albúmina que es una proteína muy soluble pero resistente a la degradación ruminal (McDonald *et al.*, 1995).

Mahadevan *et al.* (1980) concluyó que la solubilidad de una proteína no es un indicador de susceptibilidad a la proteólisis. En ese sentido, Stern y Satter (1984) al analizar 34 raciones diferentes, observaron una correlación de tan solo 0.26 entre la solubilidad del N y la degradabilidad de la PB *in vivo*.

3.5 SOLUBILIDAD Y DEGRADABILIDAD DEL MEZQUITE (*Prosopis laevigata*)

La solubilidad de la proteína contenida en muchas semillas de leguminosas como el mezquite es muy elevada, como su tasa de degradación. Esto parece causar un desequilibrio entre la proteína del alimento y la síntesis de proteína microbiana, resultando una innecesaria pérdida de nitrógeno en rumen. Una reducción en la tasa o grado de degradación de la proteína de las semillas de leguminosas en el rumen puede ser benéfica para el animal siempre que se cubra la cantidad necesaria para una adecuada síntesis de proteína microbiana, ya que la proteína que escape de la degradación ruminal y aminoácidos y péptidos serán absorbidos en el intestino delgado. (Yu *et al.*, 2002).

3.6. TRATAMIENTOS QUE AFECTAN LA DEGRADABILIDAD DE ALIMENTOS

Uno de los factores que afectan la degradabilidad de los alimentos y sus componentes en el rumen, son los tratamientos que los distintos ingredientes sufren antes y durante el procesado de los alimentos (Andrade-Montemayor, 2005). Los tratamientos se pueden dividir en tratamientos químicos y físicos, siendo sus efectos dependientes del tipo de alimento y nutriente.

3.6.1. Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos consisten en el uso de formaldehído y las combinaciones de éste con otros productos como ácido fórmico, taninos, isopropanol, propanol y etanol (Andrade-Montemayor, 2005), todo lo anterior con el mismo fin: disminuir o evitar la excesiva degradación y pérdida de nitrógeno en rumen.

3.6.2. Tratamientos físicos

Dentro de los tratamientos físicos se encuentran: la disminución del tamaño de partícula del alimento y los tratamientos térmicos. El primero puede incrementar la degradabilidad de la MS de los granos en el rumen y aumentar la velocidad de paso de partículas del alimento a través del rumen. Con esto disminuye la degradabilidad ruminal del grano al presentar un menor tiempo de exposición a los microorganismos (Nocek y Tamminga, 1991; Lykos y Vargas, 1995).

El tratamiento térmico es uno de los métodos que ha demostrado su efectividad en la reducción de la degradabilidad de las proteínas en el rumen (Goelma *et al.*, 1999; Yu *et al.*, 2002; Andrade-Montemayor, 2005). Los tratamientos térmicos de las semillas de leguminosas pueden además inactivar factores antinutricios,

siendo también efectivos en reducir la solubilidad de la proteína y/o almidón en el rumen e incrementar cantidades de proteína y/o almidón en el intestino delgado para su absorción y digestión. Dentro de los tratamientos térmicos están (Yu *et al.*, 2002):

- Tostado en seco. Es un tratamiento de calor transferido por conducción, convección y radiación. Pudiéndose generar el calor por medio de un quemador de gas o eléctrico. Los niveles de humedad pueden ajustarse antes del tratamiento. La temperatura puede llegar arriba de los 200°C, con un lapso de tiempo hasta de horas.
- Micronizado. Este método implica el calentamiento interno de las semillas de las leguminosas por medio de rayos infrarrojos, a una temperatura entre 125 y 135°C durante 40-90 segundos. Los rayos infrarrojos provocan que las moléculas del material vibren, calentándolas y por tanto pierden humedad.
- Tostado presurizado. Este puede ser llevado a cabo en contenedores de presurizado. Existiendo una relación positiva entre el vapor a presión y la temperatura de los contenedores presurizados. El tiempo y temperatura del proceso puede ser muy variable.
- Extrusión. La extrusión consiste en general a que las semillas enteras sean sometidas a una fusión, transporte, presión y deformación en un contenedor metálico, es decir, el tratamiento va a combinar temperatura por fricción, presión, humedad y rompimiento, seguido por la expansión del alimento al salir. El tiempo del proceso de extrusión varía de 30 a 50 segundos, mientras que la temperatura oscila entre 80 a 200°C.
- Tratamiento de expansión. La expansión es muy similar a la extrusión, solo que existe una modificación en la manufactura del equipo, de tal manera que las

presiones usadas durante el tratamiento son de 3800 a 4000 kPa. El tiempo de proceso va de 5 a 15 segundos y la temperatura en un rango de 80 a 140°C.

- Peletizado. Este tratamiento implica una compresión del alimento ya tratado y haciéndolo pasar por un dado. El tiempo de tratamiento no excede los 15 segundos y el tratado o acondicionamiento puede ser por adición de agua y/o vapor en relación a la cantidad de fricción entre las partículas del alimento, la pared y el dado. Esto se lleva a una temperatura de 65 a 90°C.

De acuerdo con Goelema *et al.* 1999. El tostado en seco es el tratamiento más efectivo en alterar la degradabilidad de la proteína en rumen, principalmente por reducir la tasa fraccional de degradación.

El mecanismo por el cual se altera el comportamiento degradativo de la proteína con tratamientos térmicos implica principalmente la desnaturalización (la cual es una desorganización de la forma molecular total de la proteína). Lo anterior provoca el desdoblamiento de una estructura en espiral o plisada, o la separación de la proteína en sus subunidades, que pueden después desplegarse, esto es, alterando la estructura cuaternaria, terciaria y secundaria (Yu *et al.*, 2002), por ruptura de los puentes de hidrógeno y enlaces disulfuro responsables de esta última estructura (Andrade-Montemayor, 2005). Además, otro efecto de dichos tratamientos en la degradabilidad de la proteína son las reacciones de Maillard, que pueden formarse dependiendo de la temperatura alcanzada, el tiempo de transformación y el contenido de humedad durante el proceso (Goelema *et al.*, 1999) (Cuadro 3.6.2.1), ocasionando dichas reacciones una reducción en la digestibilidad tanto en rumen como en intestino delgado (Hernández, 2000).

disponible en el tracto intestinal, dependiendo de la concentración y posiblemente de la estructura química. (Tiemann *et al.*, 2006).

Muchos de estos factores antinutricios pueden ser inactivados mediante una adecuada aplicación de diversos tratamientos tecnológicos. Se han desarrollado en la industria de la alimentación animal varios métodos de procesado para mejorar el valor nutritivo de una amplia variedad de alimentos. De todos los tratamientos tecnológicos, el calor, solo o en combinación con otras técnicas, es uno de los métodos más comunes y efectivos que pueden ser utilizados (Brenes y Brenes, 1993).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación disciplinaria- Fisiología (CENID-Fisiología) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias el cual posee un clima semidesértico con lluvias en verano (precipitación pluvial anual de 450 a 630 mm), y una temperatura media anual de 15°C. Así como en los laboratorios de Nutrición Animal de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicada en Juriquilla, Querétaro.

4.2. ELABORACIÓN DE CÁNULAS

En la fabricación de las cánulas se utilizó un molde, a base de un material combinado de poliplus negro y blanco, dándole una consistencia flexible. La cánula contaba con un tapón, el cual presentaba en su interior un tornillo y una rondana. Dicho tapón que se acortaba (se engrosaba) o alargaba (se adelgazaba) según el sentido del giro de una mariposa en su extremo superficial (Figura 4.2.1). Las dimensiones de la cánula fueron de 7.5 cm de diámetro, 4 cm. en el cuello y una luz de 2.5 cm. El seguro consistió de una abrazadera, la cual aprisionaba el cuello de la cánula con el tapón dentro de ella. Para asegurar que la cánula permaneciera en el mismo lugar anatómico del animal (fosa paralumbar izquierda), se le insertó una rondana, revestida del mismo material en la base del cuello.

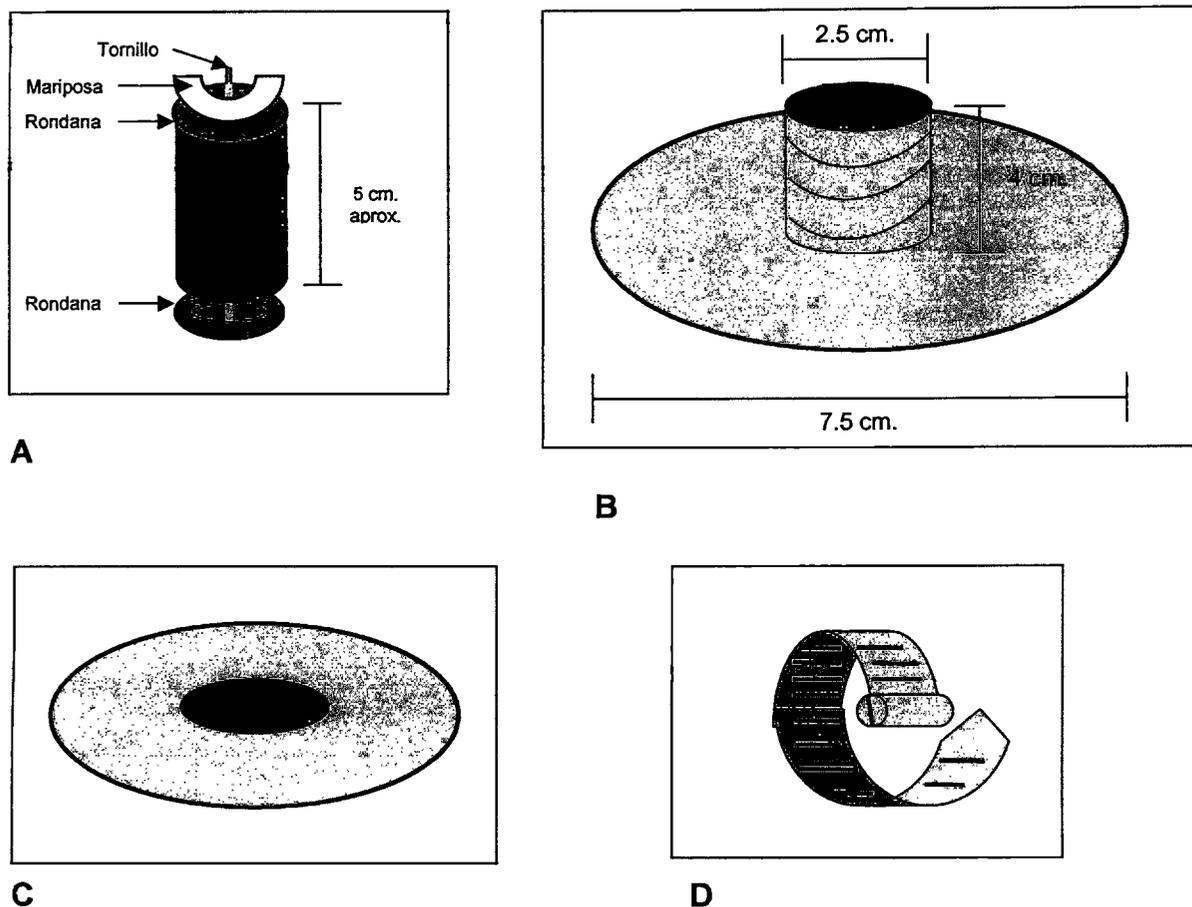


Figura 4.2.1. Dibujo esquemático de una de las cánulas utilizadas en las pruebas *In situ*. **A**, tapón de la cánula con todos sus componentes. **B**, cánula de poliplas. **C**, rondana revestida de poliplas. **D**, abrazadera.

4.3. PREPARACION DE ANIMALES PARA CIRUGIA

Se utilizaron cuatro cabras hembras con un peso promedio de 37.6 (± 3.4) kg encastadas con Nubio, para su fistulación y canulación del rumen. La preparación de los animales para la cirugía consistió en un ayuno de 12 horas, asepsia de la zona a incidir (fosa paralumbar izquierda) es decir, rasurado, lavado y embrocado con yodo. Se aplicaron 30 ml de clorhidrato de lidocaína como anestésico local en la zona a incidir y en su periferia, (subcutánea e intramuscularmente). Al perder sensibilidad el flanco del animal, se hizo una incisión paracostal en la piel y tejido subcutáneo con bisturí, se diseccionaron los músculos con tijera (disección roma)

al igual que peritoneo para exteriorizar el rumen, tomar un pliegue de 5 cm aproximadamente de éste y colocar un clamp para su posterior necrosis. Se suturaron todos los tejidos (piel, músculos, peritoneo y rumen) quedando el clamp sujetando el pliegue de rumen. En el postoperatorio se colocó nitrofurazona y violeta de genciana en y alrededor de la zona operatoria, así como la administración de un antibiótico y un antipirético intramuscular, actividades que se repitieron además del lavado con agua y jabón del flanco izquierdo de los animales durante los días previos a la colocación de la cánula (Figura 4.3.1).

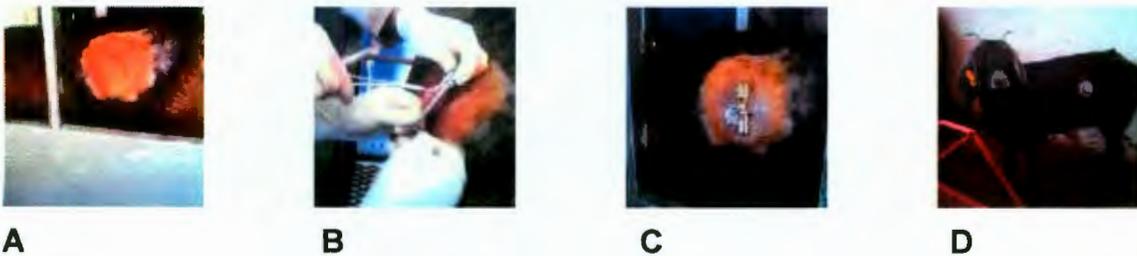


Figura 4.3.1. Fotografías de cirugía. **A**, embrocado del a zona a incidir. **B**, exteriorización del rumen. **C**, clamp sujetando un pliegue del rumen. **D**, cabra fistulada y canulada del rumen.

4.4. RACIONES Y ADAPTACIÓN DE LOS ANIMALES A PRUEBAS *in situ*

La composición de la ración ofrecida, en ingredientes y contenido nutricional se presenta en los Cuadros 4.5.1 y 4.5.2., la ración fue realizada para cubrir las necesidades de mantenimiento de las cabras de acuerdo a los requerimientos del Instituto Kika de la Garza, de la Universidad de Langston Oklahoma. EUA (2004). Posterior a la recuperación de la cirugía, los animales se sometieron a un periodo de adaptación a la ración de 8 semanas.

4.5. NIVELES DE CONSUMO

La composición de la ración en ambos grupos fue la misma, sin embargo, se manejaron dos niveles de consumo, con la finalidad de simular condiciones de

restricción alimenticia en el semidesierto, y conocer el efecto del nivel de consumo en la degradabilidad ruminal del alimento, los niveles de consumo fueron:

-Consumo Bajo (CB): 42 g MS/kg. $PV^{0.75}$ /día.

-Consumo Alto (CA): 58 g MS/Kg. $PV^{0.75}$ /día.

Los animales recibieron agua a libre acceso

Cuadro 4.5.1. 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 4.5.2. Composición nutricional de la dieta.

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

4.6. PREPARACIÓN DE LAS VAINAS Y DE LAS RACIONES

Las vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*) fueron recolectadas en la región de Vizarrón (Cadereyta, Qro.) durante los meses de Julio a Septiembre, dichas vainas se encontraban en estado maduro, estas se dividió en dos partes iguales: vaina de mezquite tostada (VMT) y vaina de mezquite cruda (VMC).

4.6.1. Tostado

El tostado de las vainas se realizó de acuerdo lo recomendado por Yu *et al.* (2002). Las vainas crudas fueron extendidas en charolas e introducidas en una estufa de desecación con aire forzado a una temperatura de 150° C por 45 minutos.

Tanto las VMC como las VMT fueron introducidas en un horno de desecación con aire forzado a una temperatura de 60° C durante 48 horas, para determinar su contenido de materia seca (MS). Una vez realizado lo anterior se molieron ambos productos separadamente en un molino Willey con una criba de 2 mm.

4.7. PRUEBAS DE DEGRADABILIDAD *in situ*

El periodo experimental consistió de 2 fases: 15 días de adaptación a dieta y 72 horas de muestreo. Durante el periodo de adaptación y experimental las cabras permanecieron en corraletas de 4m de largo por 5m de ancho.

Las pruebas de degradabilidad *In Situ* se realizaron de acuerdo a la metodología recomendada por Mehrez y Orskov (1977). Para estas pruebas se introdujeron 3 gramos de VMC o VMT molidas en bolsas porosas de nylon de 10 por 5 cm con un poro de 50 µm (Ankom Technology ®), utilizando dos bolsas con material y una blanco, por tiempo y animal. Los tiempos de degradación fueron de 0, 1, 3, 6, 9,

12, 24, 48 y 72 horas utilizando cuatro animales por tratamiento y dando un total de 27 bolsas (18 bolsas con muestra y 9 bolsas blanco) por cada cabra.

Fueron introducidas 24 bolsitas, dos bolsas muestra y una bolsa blanco, multiplicada por los ocho tiempos de degradación. Dichas bolsas fueron atadas en un hilo en común para cada una de las cabras en cada tratamiento, sumando así 94 bolsas introducidas en el rumen y 108 bolsas junto con el tiempo cero, dando un total de 216 bolsas debido a que el muestreo fue pareado. Se identificaron cada una de las bolsas con número, tipo de muestra y cantidad de la misma. Después de la cirugía y los cuidados post-operatorios se introdujeron las bolsas al rumen previamente sumergidas en agua, y fueron retiradas en su tiempo correspondiente, excepto la hora cero que no fue introducida, solamente remojada y congelada. Este procedimiento se repitió utilizando un modelo cruzado con arreglo factorial (2x2) para analizar el efecto del tostado y el nivel de consumo.

Al momento de obtener las muestras de rumen fueron lavadas con agua corriente y almacenadas a 3° C para su posterior análisis.

4.8. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras descongeladas fueron sometidas a tres ciclos de lavado con agua destilada con una duración de 15 minutos cada uno. Posteriormente se secaron en un horno de aire forzado a 60° C durante 48 horas.

Se determinó el contenido de materia seca (MS), y proteína cruda (PC) de acuerdo a lo recomendado por la AOAC (1984), las fracciones de fibra [fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA)] 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).

4.9. CÁLCULOS Y ESTIMACIONES

4.9.1. Cinética de degradación

Se determinó la cinética de degradación de acuerdo al modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979), estimando el contenido de la fracción soluble o de rápida degradación, la fracción potencialmente degradable (b) y tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t).

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

Donde:

- a = fracción soluble (%)
- b = fracción potencialmente degradable (%)
- c = tasa fraccional de degradación (tasa/h)
- t = tiempo (h)

Calculándose a partir de estos parámetros el potencial de degradación y la degradación efectiva, y considerando una tasa fraccional de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h.

$$(a+b [c/c+kp])$$

Donde:

- a+b = degradación potencial
- a+b (c/c+kp) = degradación efectiva
- kp = tasa fraccional de paso (0.04/h, 0.06/h, 0.08/h)

4.10. DISEÑO ESTADÍSTICO

Se determinó el efecto del tostado en la degradabilidad de PC, MS, FDN y FDA, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + (TxC)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = la observación de el i -ésimo tratamiento (mezquite) en el j -ésimo (no tostado, tostado) con el k -ésimo error experimental.
- μ = la media general.
- T_i = el i -ésimo tratamiento (no tostado, tostado). (mezquite).
- C_j = el j -ésimo nivel de consumo
- $(TxC)_{ij}$ = ij -esima interacción tratamiento x consumo .
- ϵ_{ijk} = ijk -esimo error experimental.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA. En el cuadro 5.1.1 se presenta la composición bromatológica de la VMC y la VMT, observándose que el tratamiento térmico no modificó ($P>0.05$) el contenido de MO, PC, hemicelulosa ni cenizas. Sin embargo, el contenido de fracciones fibrosas (FDN, FDA, PC-FDN y PC-FDA) se incrementó ($P<0.05$). Otros autores (Huyler y Kincaid, 1999; Andrade-Montemayor, 2005) han observado un incremento en el contenido de dichas fracciones, en diversas semillas de leguminosas, después de aplicar tratamiento térmico (tostado o extrusión). Los autores sugieren la formación de complejos entre la PC y los carbohidratos de la pared celular (PC-FDN y PC-FDA) causados por el efecto térmico durante el tratamiento. Complejos similares a las reacciones de Maillard, mientras que el aumento de FDA y FDN se debió a la unión del contenido celular (carbohidratos no estructurales, proteínas, etc.) con las paredes celulares.

Cuadro 5.1.1. Composición bromatológica porcentual de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) cruda (VMC) y tostada (VMT).

	VMC	VMT	EEM±	Sig [†]
MS	93.39	97.51		
Como %de la MS				
MO	95.41	95.13	0.89	Ns
PC	14.97	14.87	1.02	Ns
FDN	39.01	44.00	0.66	***
FDA	21.78	26.91	0.48	**
Hemicelulosa	17.23	17.09	1.29	Ns
PC-FDN	1.48	3.16	4.31	***
PC-FDA	0.62	1.21	2.68	**
Cenizas	4.58	4.86	2.35	Ns

5.2. Contenido Mineral.

En el cuadro 5.2.1 se muestra el contenido de minerales tanto de la vaina de mezquite cruda como de la vaina tostada. El contenido de calcio y zinc resultó similar a la alfalfa, y el fósforo y potasio, similar a la soja y al rastrojo de maíz, (respectivamente) (NRC, 2007). El hierro presentó un incremento significativo ($P<0.05$) en la VMT sin embargo, se pudiera deber a una contaminación con tierra

durante la recolección de la vaina en el campo, donde se recolectó directamente del árbol así como del suelo.

Se analizó el contenido de mercurio, debido a que en la zona de recolección de la vaina (Vizarrón, Cadereyta, Qro.), es una región minera donde abunda dicho mineral. Se encontraron trazas de mercurio en la VMC (0.24 ppm/kg MS) sin ser detectado en la VMT sin embargo, se requiere de un consumo mínimo de 0.2 ppm por kg de MS durante 91 días para que presente toxicidad (NRC, 1980).

Por otra parte, la relación Ca:P fue cercana a la deseable 2:1, aún cuando los niveles de estos minerales así como el de la mayoría se encontraron por debajo de lo requerido para caprinos en mantenimiento (NRC, 2001). Cabe destacar que el contenido de Se fue bajo (62 ppb VMC vs 53 ppb VMT), al igual que el Co (50 ppb VMC vs 65 ppb VMT). Lo anterior podría ser indicador de la deficiencia de estos minerales en los suelos de la región, aunque no conocemos el contenido de éstos en la misma. Además, la región donde fue recolectada la vaina de mezquite es una zona donde el suelo derivó de roca volcánica por lo que se presumen bajos niveles de dicho mineral (Se) (Silva *et al.*, 2000). Por su parte, las deficiencias de cobalto no son importantes, ya que este micro mineral es sintetizado por los microorganismos ruminales a partir de la vitamina B₁₂ (NRC 2001). Los requerimientos para mantenimiento, para el caso del Se son de 0.1 a 0.2 mg/kg MS y en el del Co son de 0.1 a 0.15 mg/kg de MS (Haenlein, 1991).

Las diferencias encontradas entre las VMC y VMT para Se y Co son mínimas, mientras que en el Hg no se detectó en la vaina tostada, sin alguna explicación sobre la reducción o aumento de dichos minerales por efecto del tratamiento térmico.

Cuadro 5.2.1. Contenido de minerales en la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) cruda (VMC) y tostada (VMT).

	VMC	VMT	EEM±	Sig ¹
% MS				
Calcio (%)	0.32	0.38	0.02	Ns
Fósforo (%)	0.16	0.17	0.006	Ns
Magnesio (%)	0.12	0.12	0.0025	Ns
Sodio (%)	0.02	0.01	0.002	Ns
Potasio (%)	0.96	1.23	0.07	Ns
Ppm MS				
Hierro (ppm)	92.13a	162.17b	1.66	***
Manganeso (ppm)	10.89	12.33	20.26	Ns
Zinc (ppm)	25.41	25.39	0.83	Ns
Cobre (ppm)	3.97	4.28	0.13	Ns
Molibdeno (ppm)	0.16	0.21	0.02	Ns
Selenio (ppb)	62.27a	53.49b	2.8	*
Cobalto (ppb)	50.58a	65.44b	4.35	*
Mercurio (ppm)	0.24	nd	0.07	**

¹Nivel de significancia: *** Diferencias (P<0.001), ** Diferencias (P<0.01), * Diferencias (P<0.05). ppm = partes por millón, ppb = partes por billón. EEM = Error estándar de la Media.

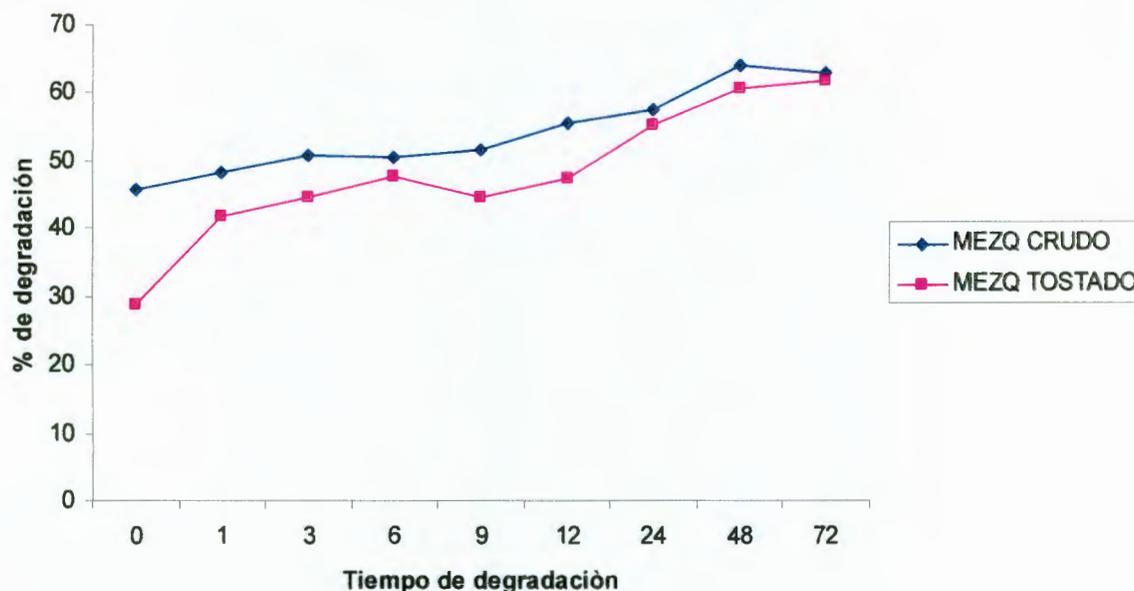
5.3. DEGRADACIÓN DE LA MS.

En el cuadro 5.3.1 y gráfica 5.3.1 se presentan el efecto del tostado de la vaina en la degradación de la MS en el tiempo. El tostado provocó una menor degradación de la MS (P<0.05) presentándose 3 periodos de degradación, el primero rápido de la 0 a 1 h (45 a 48% VMC vs 28 a 41% VMT), seguido de una estabilización de la 1 a las 12 h (48 a 55% VMC vs 41 a 47% VMT), y finalizando con el reinicio de la degradación de las 12 a las 72 h (55 a 62% VMC vs 47 a 61% VMT), con un comportamiento similar en ambos tratamientos. Dicho comportamiento coincide con el de la materia seca del altramuz reportado por Andrade Montemayor (2005).

Cuadro 5.3.1. Efecto del tostado en la degradación de la MS de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	EEM±	Sig ¹
VMC(%)	45.8a	48.2b	50.8b	50.5b	51.6b	55.5bc	57.6c	64.1c	62.9c	2.4	**
EE±	2.33	2.64	2.43	2.91	2.78	2.84	2.27	1.07	2.96		
VMT(%)	28.7a	41.8b	44.7b	47.6b	44.5b	47.4b	55.4c	60.6c	61.9c	2.4	**
EEM±	3.68	2.37	3.29	2.13	2.28	2.72	1.98	1.70	2.28		
Sig¹	*	*	*	ns	ns	**	**	**	*		

¹Nivel de significancia:(P>0.05). * Diferencias (P<0.05) dentro de columnas; NS no diferentes dentro de columnas (P>0.05), a,b,c, dentro de renglón son diferentes (P<0.05), ** Diferencias (P<0.01).



Gráfica 5.3.1. Degradación de la MS del mezquite en el tiempo

5.4. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA MS.

En el cuadro 5.4.1 y 5.4.2 y gráfica 5.4.1, se observa que la VMT presentó un menor contenido de la fracción soluble (a) (P<0.01), con un mayor contenido de la fracción de lenta degradación (b) (P<0.01), sin presentar efectos en la tasa fraccional de degradación (P>0.05). Sin embargo, el potencial de degradación (a+b) fue menor (P<0.01) en la VMT, así como en la degradabilidad efectiva, en la

que se aplicaron tasas fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h (Cuadro 5.4.2).

Varios autores han observado efectos similares en la degradabilidad de la MS de diversas leguminosas, al ser sometidos a tratamientos térmicos (Aguilera *et al.*, 1992; Sauvant *et al.*, 2003; Andrade-Montemayor., 2005). El tostado de las semillas de leguminosas (*Lupinus angustifolius*, *Vicia faba*, *Vicia ervilia*) provocó un efecto similar en la cinética de degradación de la MS. (Andrade-Montemayor., 2005) Se observó una disminución en la fracción soluble (a), incremento en la fracción de lenta degradación (b) y una disminución en la tasa de degradación (c), lo que podría presentar una disminución en la degradación potencial (a+b) e incremento en el paso de nutrientes al intestino.

Cuadro 5.4.1. Parámetros de cinética de la degradación de la MS de la vaina de mezquite cruda y tostada.

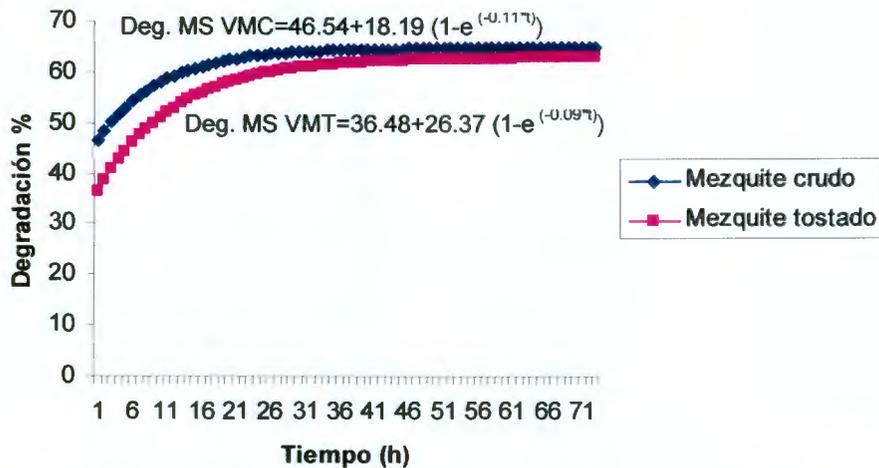
Tratamiento	a	b	c	Deg. Potencial ¹	R ²	EM
VMC	46.54	18.19	0.11	64.73	76.00	3.00
VMT	36.48	26.37	0.09	62.00	73.97	4.01
Sig ¹	***	***	ns	***		

En donde a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fracción de degradación. ¹ Deg. Potencial= a + b; ²; NS = no diferentes; *** Diferencias (P<0.001) dentro de columnas.

Cuadro 5.4.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva¹ de la MS.

Kp/h	0.04/h	0.06/h	0.08/h
VMC	59.87	58.31	57.07
VMT	54.73	52.30	50.44
EEM±	1.14	1.34	1.48
Sig ¹	***	***	***

¹Deg. Efectiva = a+b/(c/c+kp), en donde kp: tasa fraccional de paso. a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable(%), c = Tasa fraccional de degradación (/h); *** Diferencias (P<0.001) dentro de columnas.



Gráfica 5.4.1. Cinética de la degradación de la MS en la vaina de mezquite cruda y tostada.

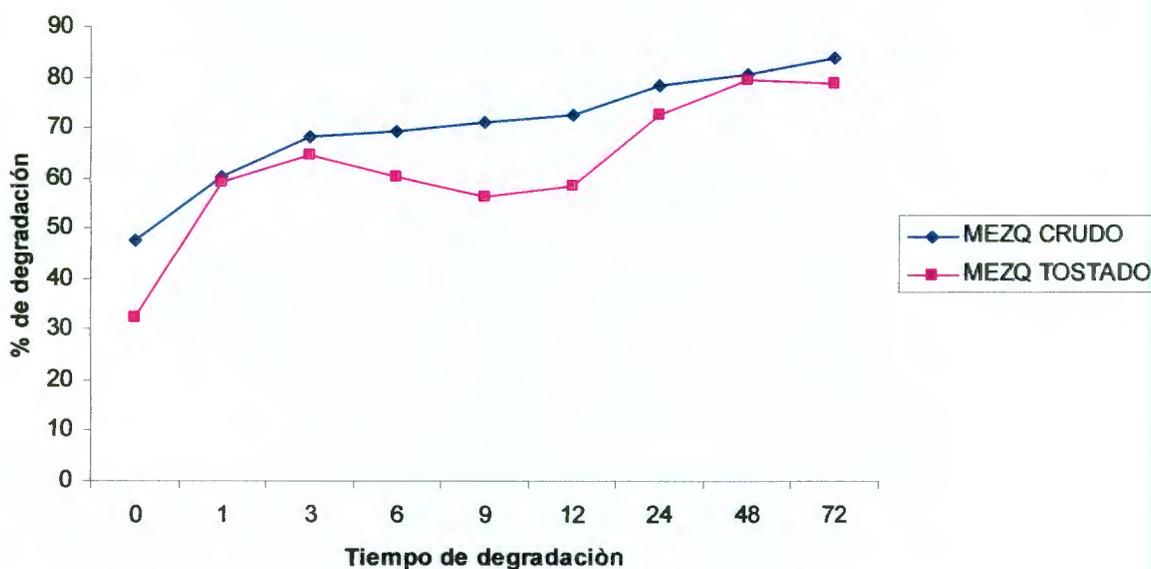
5.5. DEGRADACIÓN DE LA PC.

En el cuadro 5.5.1 y gráficas 5.5.1 se muestra el efecto del tostado de la vaina en la degradación de la PC en el tiempo. El tostado provocó una menor degradación de la PC ($P < 0.05$), observándose una rápida degradación de la hora 0 a la 3, (iniciando con un 48.9% y un 28.7%, en la hora 0, llegando a 68.1 vs 50% en la hora 3 para la VMC y VMT, respectivamente) seguido de una estabilización de la hora 3 a la 12, y un reinicio de la degradación de la hora 24 a la 72 en la que alcanzó una degradación de 83 vs 79% en la VMC vs VMT, respectivamente. Los valores fueron menores en cada tiempo en la VMT ($P < 0.01$) lo cual coincide con lo observado por González y Andrés (2002) y Yu *et al.* (2002) en otras leguminosas, mostrando una notoria degradación al inicio de ésta por la elevada solubilidad de las proteínas que posee dicha leguminosa.

Cuadro 5.5.1. Efecto del tostado de la vaina del mezquite en la degradabilidad de la PC (*Prosopis laevigata*)¹.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	EEM±	Sig ¹
VMC(%)	48.9a	60.5b	68.1c	69.2c	71.1c	70.6c	78.4d	77.5e	83.7e	2.9	**
EE±	3.26	3.26	3.26	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82		
VMT(%)	28.7a	54b	50c	60.1c	62.4c	58.3c	72.6d	79.2e	79e	2.9	**
EEM±	2.82	2.82	3.99	2.82	3.01	2.82	2.82	2.82	3.01		
Sig ¹	**	**	**	**	**	**	**	**	**		

¹Nivel de significancia: ** Diferencias (P<0.01) dentro de columnas; a,b,c, dentro de renglón son diferentes.



Gráfica 5.5.1. Degradación de la PC del mezquite en el tiempo

5.6. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA PC.

El comportamiento en la cinética de degradación fue similar a la de la MS, pudiéndose observar en los cuadros 5.6.1 y 5.6.2 y gráfica 5.6.1 Se observó una menor degradación en la VMT, con una disminución en la fracción de rápida degradación (a) (P<0.01), un aumento en la fracción (b) (P<0.001) y una menor tasa fraccional de degradación (c) (P<0.05). Por lo tanto, el potencial de degradación (a+b) a 72 horas fue menor (P<0.05), así como la degradabilidad

efectiva ($P < 0.05$) en la que se aplicaron tasas fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h (Cuadro 5.6.2). Batista *et al.* (2002) y Andrade- Montemayor (2005) observaron resultados similares con la disminución en la degradabilidad de la proteína. Se consideró que la razón de dicho efecto fue que el tratamiento térmico produjo una desnaturalización de la proteína modificando su estructura, lo cual consiste en una desorganización de su estructura molecular, produciendo la separación de la proteína en subunidades, y una estabilización por enlaces cruzados con carbohidratos, lo cual pudiera proteger a la proteína de la hidrólisis ruminal. (Andrade-Montemayor, 2005).

Cuadro 5.6.1. Parámetros de cinética de la degradación de la PC en la vaina de mezquite cruda y tostada.

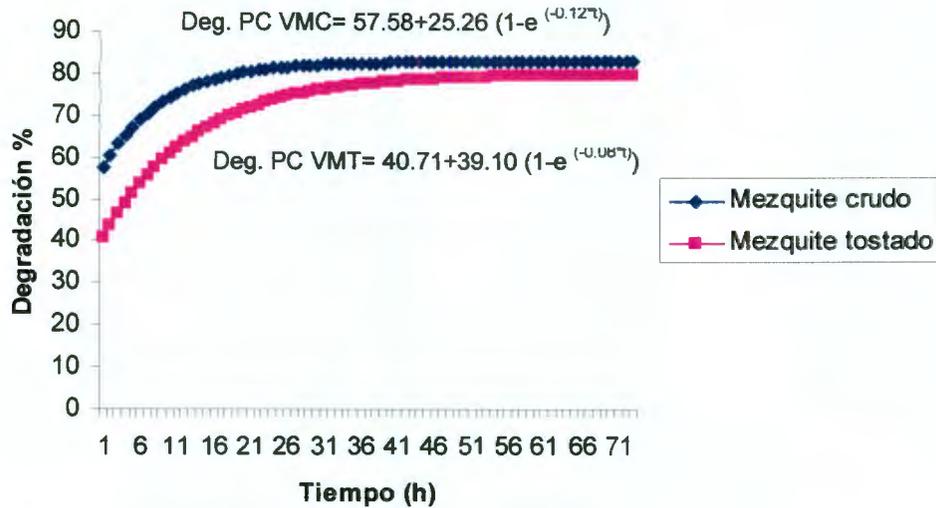
Tratamiento	a	b	c	Deg. Potencial ¹	R ²	EM
VMC	57.58	25.26	0.12	82.84	71.96	5.59
VMT	40.71	39.10	0.08	79.81	70.10	9.34
Sig ¹	**	***	ns	ns		

En donde a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fracción de degradación. ¹ Deg. Potencial= a + b; ²; NS = no diferentes; ** Diferencias ($P < 0.01$) dentro de columnas ;*** Diferencias ($P < 0.001$) dentro de columnas.

Cuadro 5.6.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva¹ de la PC.

Kp/h	0.04/h	0.06/h	0.08/h
VMC	76.52	74.42	72.73
VMT	66.77	63.05	60.26
EEM±	2.19	2.54	2.78
Sig ¹	**	**	**

¹Deg. Efectiva= $a + b(c/c + kp)$, en donde kp: tasa fraccional de paso. a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable(%), c = Tasa fraccional de degradación (/h); ** Diferencias ($P < 0.01$) dentro de columnas.



Gráfica 5.6.1. Cinética de la degradación de la PC en la vaina de mezquite cruda y tostada.

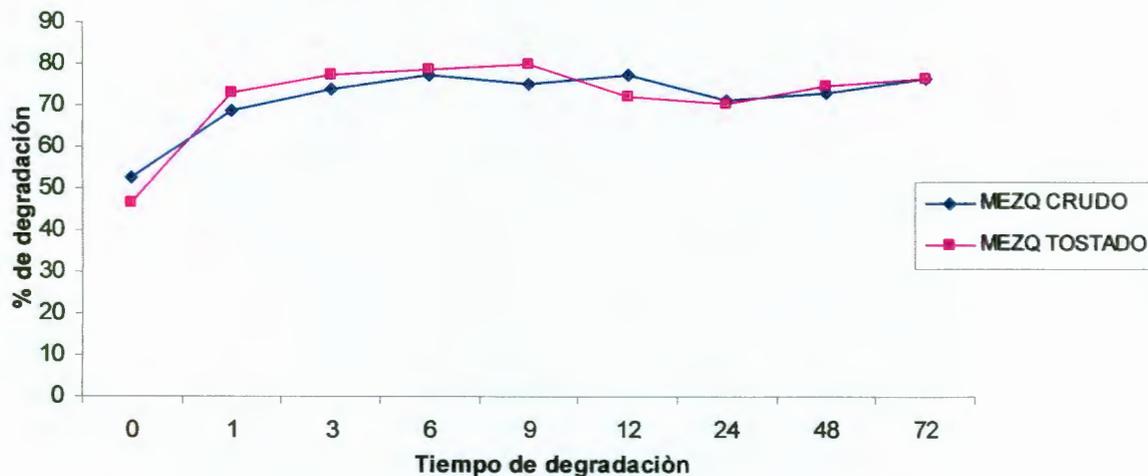
5.7. DEGRADACIÓN DE LA FDN.

En el cuadro 5.7.1 y gráfica 5.7.1, se presenta el efecto que tuvo el tostado de la FDN en el tiempo, en donde no se observaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). Por el contrario, entre cada uno de los tiempos se observó en donde y si hay un efecto en éstas fracciones con el tostado una degradación muy elevada, de 52.5% para la VMC y 46.6% en la VMT en el tiempo cero, llegando a un máximo y logrando una estabilización en la hora 6 en ambos tratamientos (VMC y VMT). Batista *et al.* (2002) observaron algo similar en novillos, en donde secaron vainas de mezquite de la especie *P. juliflora* (80° C por 2h), no encontrando efectos en la FDN contenida en la vaina de esta especie, posterior a las 12h de degradación ruminal. Lo mismo ocurrió en la MS y en la PC.

Cuadro 5.7.1. Efecto del tostado de la FDN en la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	EEM±	Sig ¹
VMC(%)	52.5a	68.8b	73.7b	77.6b	75.2b	77.3b	71.3b	73.1b	76.4b	4.9	*
EE±	6.13	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84		
VMT(%)	46.6a	73b	77.3b	78.5b	79.8b	72.1b	70.6b	74.8b	76.5b	4.8	*
EEM±	4.84	4.84	4.84	5.18	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84		
Sig ¹	ns										

¹Nivel de significancia:($P>0.05$). * Diferencias ($P<0.05$) dentro de columnas; NS no diferentes dentro de columnas ($P>0.05$), a,b,c, dentro de renglón son diferentes ($P<0.05$).



Gráfica 5.7.1. Degradación de la FDN del mezquite en el tiempo.

5.8. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA FDN.

En el cuadro 5.8.1 y gráfica 5.8.1, se observa la cinética de degradación de la FDN en donde la VMT presentó una fracción soluble (a) menor ($P<0.001$), pero mayor contenido ($P<0.001$) de la fracción de lenta degradación (b), y una mayor tasa fraccional de degradación (c), siendo el potencial de degradación (a+b) similar en ambos tratamientos (VMC y VMT) ($P<0.01$), pero la degradación efectiva de la VMT fue mayor (Cuadro 5.8.2). Lo anterior muestra que el tostado disminuyó la

fracción soluble y de rápida degradación (a) y aumentó la fracción potencialmente degradable (b), lo que indica la posible formación de complejos entre los carbohidratos de la fibra con las proteínas (Andrade-Montemayor, 2005; Huyler y Kincaid, 1999). Los parámetros sobre degradabilidad ruminal de las paredes celulares (FDN) de *Prosopis glandulosa* ensayados por Ramírez *et al.* 2000 mostraron que el contenido de esta fracción (FDN) fue relativamente bajo, aunque dicho estudio se realizó con la hoja del mezquite y no con la vaina del mismo, (con un 47.1% de FDN), mientras que la VMC presentó un 39.01% y un 44% para la VMT.

Cuadro 5.8.1. Parámetros de cinética de la degradación de la FDN en la vaina de mezquite cruda y tostada.

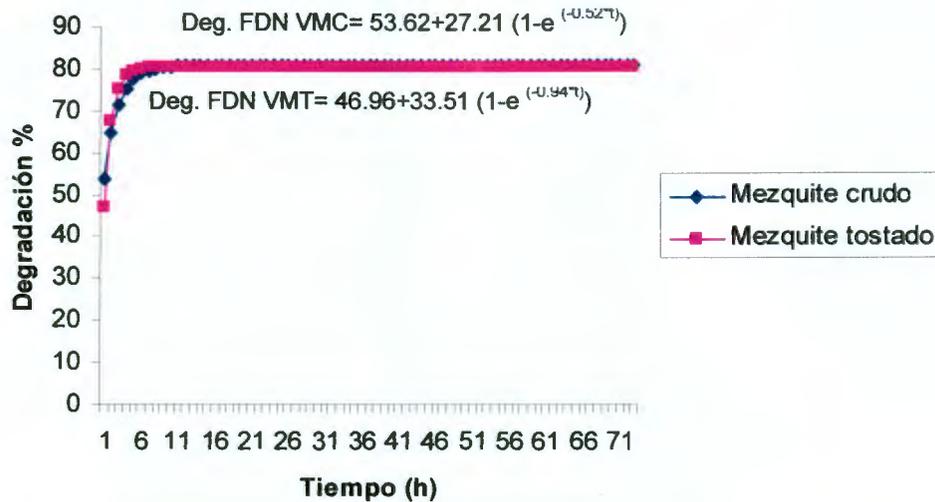
Tratamiento	a	b	c	Deg. Potencial ¹	R ²	EM
VMC	53.62	27.21	0.52	80.83	75.64	5.19
VMT	46.96	33.51	0.94	80.44	78.87	6.47
Sig¹	***	***	***	Ns		

En donde a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fracción de degradación. ¹ Deg. Potencial= a + b; ²; NS = no diferentes; *** Diferencias (P<0.001) dentro de columnas.

Cuadro 5.8.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva¹ de la FDN.

Kp/h	0.04/h	0.06/h	0.08/h
VMC	68.73	65.98	64.08
VMT	79.07	78.42	77.81
EEM±	2.31	2.78	3.07
Sig¹	**	**	**

¹Deg. Efectiva= a+b(c/c+kp), en donde kp: tasa fraccional de paso. a= Fracción soluble y de rápida degradación (%), b= Fracción potencialmente degradable(%), c= Tasa fraccional de degradación (/h); ** Diferencias (P<0.01) dentro de columna.



Gráfica 5.8.1. Cinética de la degradación de la FDN en la vaina de mezquite cruda y tostada.

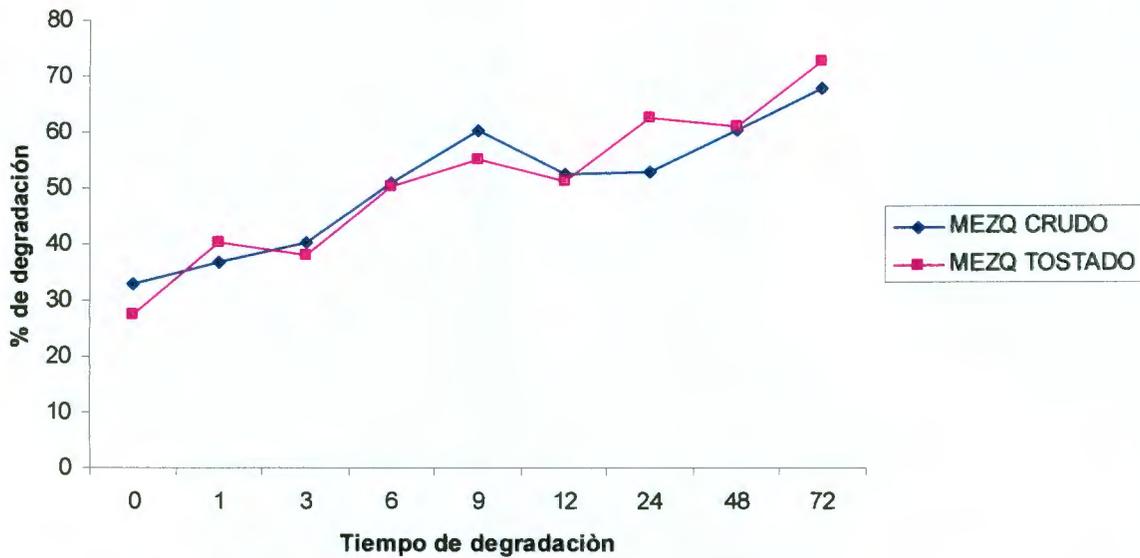
5.9. DEGRADACIÓN DE LA FDA.

En el cuadro 5.9.1 y gráfica 5.9.1, se presenta la degradación de la FDA en la VMC y LA VMT. No se observaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) (VMC y VMT), pero si entre los tiempos de degradación, iniciando con un 32% y 27% de degradación a la hora cero (para la VMC y VMT, respectivamente), incrementándose hasta las 72 horas, tanto para la VMC como para la VMT.

Cuadro 5.9.1. Efecto del tostado de la FDA en la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	EEM±	Sig ¹
VMC(%)	32.8a	36.9a	40.2ab	51ab	60.4b	52.6ab	53b	60.2b	67.9b	8.2	*
EE±	9.60	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	8.76	9.60	8.11		
VMT(%)	27.4a	40.2a	38.2ab	50.2ab	55.2b	51.4ab	62.5b	60.9b	72.7b	7.8	*
EEM±	7.59	7.59	7.59	8.11	8.11	7.59	7.59	7.59	8.76		
Sig¹	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		

¹Nivel de significancia: ($P > 0.05$). * Diferencias ($P < 0.05$) dentro de columnas; NS no diferentes dentro de columnas ($P > 0.05$), a,b,c, dentro de renglón son diferentes ($P < 0.05$).



Gráfica 5.9.1. Degradación de la FDA del mezquite en el tiempo.

5.10. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA FDA.

En el cuadro 5.10.1 y gráfica 5.10.1 se observa que no hubo diferencias ($P > 0.05$) en el contenido de la fracción (a), sin embargo el contenido de la fracción (b) fue mayor ($P < 0.05$) en la VMT, sin presentar efectos en la tasa fraccional de degradación (c) ($P > 0.05$). Sin embargo, el potencial de degradación (a+b) a 72 horas fue menor en la VMT, pero al ajustarla a una degradabilidad efectiva con tasas fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h, la degradación de la FDA fue menor en la VMT (cuadro 5.10.2).

Cuadro 5.10.1. Parámetros de cinética de la degradación de la FDA en la vaina de mezquite cruda y tostada.

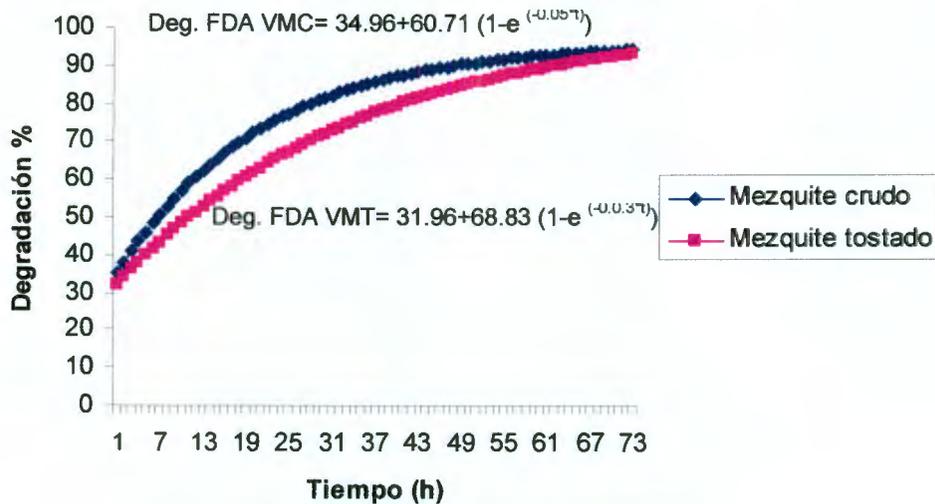
Tratamiento	a	b	C	Deg. Potencial ¹	R ²	EM
VMC	34.96	60.71	0.05	95.67	73.33	11.20
VMT	31.96	68.83	0.03	100.76	68.72	13.90
Sig¹	ns	**	ns	ns		

En donde a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fracción de degradación. ¹Deg. Potencial= a + b; ²; NS = no diferentes; ** Diferencias (P<0.01) dentro de columnas.

Cuadro 5.10.2. Efecto de la tasa fraccional de paso (kp/h) en la degradabilidad efectiva¹ de la FDA.

Kp/h	0.04/h	0.06/h	0.08/h
VMC	91.33	89.38	87.57
VMT	61.42	54.87	50.70
EEM±	6.68	7.72	8.24
Sig¹	**	**	**

¹Deg. Efectiva= $a+b/(c+kp)$, en donde kp: tasa fraccional de paso. a= Fracción soluble y de rápida degradación (%), b= Fracción potencialmente degradable(%), c= Tasa fraccional de degradación (/h); ** Diferencias (P<0.01) dentro de columnas.



Gráfica 5.10.1. Cinética de la degradación de la FDA en la vaina de mezquite cruda y tostada.

5.11. EFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO DE LOS ANIMALES CANULADOS EN LA DEGRADABILIDAD *In situ* DE LA MS, PC, FDN y FDA.

En los cuadros 5.11.1 y 5.11.2 se presenta el efecto del nivel de consumo de los animales fistulados en la degradabilidad *in situ* de la PC y de la MS de la VMC y VMT. Se observa que la degradabilidad *in situ* de la MS y PC fue mayor ($P < 0.05$) en los animales canulados, a los que se les ofreció 58 g de MS/kg de PV^{0.75} (CA).

Cuadro 5.11.1. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad *in situ* de la MS de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	VMC	VMT
CA ^a (%)	55.22	53.09
CB ^b (%)	51.25	44.92
EEM±	0.8	0.8
Sig ¹	**	**

¹Nivel de significancia: ** Diferencias ($P < 0.01$) dentro de columnas, EEM± = error estándar de la media, CA^a = consumo alto, CB^b = consumo bajo.

Cuadro 5.11.2. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad *in situ* de la PC de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	VMC	VMT
CA ^a (%)	70.92	63.59
CB ^b (%)	69.50	60.74
EEM±	0.9	1.01
Sig ¹	*	*

¹Nivel de significancia:(P>0.05). * Diferencias (P<0.05) dentro de columnas, EEM± = error estándar de la media, CA^a = consumo alto, CB^b = consumo bajo.

Sin embargo, la degradabilidad *in situ* de la FDN y de la FDA (Cuadros 5.11.3 y 5.11.4, respectivamente) no fue afectada (P>0.05) por el nivel de consumo de la MS. El consumo de MS y, por lo tanto de MO es uno de los elementos que limita el desarrollo de la flora microbiana y por lo tanto, la posibilidad de degradación de alimento en el rumen, esto se observa en aquellos animales con un consumo alto (CA) ya que, al existir una mejor proporción de la población microbiana en estos animales, hay una mayor degradación de la MS y la PC, comparada con animales de consumo bajo (CB) donde la microbiota ruminal es reducida. (Van Soest, 1982; Hutington y Givens, 1995; Ørskov, 2000). En este trabajo, se planteó la utilización de 2 niveles de consumo CA (58 g MS/kg de PV^{0.75}) y consumo bajo (42 g MS/kg de PV^{0.75}) tratando de simular las condiciones en el consumo de MS de acuerdo a la variación estacional en su disponibilidad en el agostadero.

Cuadro 5.11.3. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad *in situ* de la FDN de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	VMC	VMT
CA ^a (%)	73.38	69.86
CB ^b (%)	71.82	70.94
EEM±	2.5	2.5
Sig ¹	ns	ns

¹Nivel de significancia:(P>0.05). * Diferencias (P<0.05) dentro de columnas, NS=(P>0.05);EEM± = error estándar de la media, CA^a = consumo alto, CB^b = consumo bajo.

Cuadro 5.11.4. Efecto del nivel del consumo en la degradabilidad *in situ* de la FDA en la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹.

	VMC	VMT
CA ^a (%)	52.85	54.05
CB ^b (%)	48.32	46.49
EEM±	4.1	4.0
Sig ¹	ns	ns

¹Nivel de significancia:(P>0.05). * Diferencias (P<0.05) dentro de columnas, NS= (P>0.05); EEM± = error estándar de la media, CA^a = consumo alto, CB^b = consumo bajo.

Huntington y Givens (1995) y Ørskov (2000) mencionan que existen diversos elementos que pueden afectar la degradabilidad *in situ*, los cuales están asociados a las condiciones ambientales del rumen y al desarrollo de la población microbiana, considerando al rumen como una cámara fermentación y de desarrollo microbiano. Para un adecuado desarrollo de esta población se requiere del aporte de un sustrato en calidad y cantidad, lo cual permitirá degradabilidad, y por otro lado, la degradabilidad de cada nutriente será dependiente de sus características, tales como estructura, disponibilidad para la actividad microbiana o de enzimas microbianas, siendo esto diferente entre proteínas y fracciones fibrosas.

En cuanto al efecto de la interacción entre tratamiento (tostado) y nivel de consumo no se observó tal.

VI. CONCLUSIONES

En relación con el efecto del tostado en la composición bromatológica de la vaina de mezquite, se pudo observar que en la mayor parte de los componentes no existieron modificaciones, con excepción del contenido de FDN y FDA que se incrementaron, así como la formación de complejos entre carbohidratos y proteínas debido al efecto del tratamiento.

Cabe destacar que el contenido de Se y Co son bajos, lo cual podría ser un indicador del bajo contenido de estos elementos en el suelo. Lo anterior sugiere la necesidad de suplementarlos para evitar problemas de anemia y músculo blanco en cabritos de las regiones semiáridas, así como retenciones placentarias en las madres.

El tostado de la vaina de mezquite provocó una reducción en la degradabilidad ruminal de la MS (2%), PC (10%) y FDA (30%), pero se incrementó la degradabilidad de la FDN (10%). La modificación en la degradabilidad tanto de proteínas como de carbohidratos se debe a la modificación en la estructura de estos, así como, a la formación de complejos entre carbohidratos y proteínas, lo cual se pudo observar, debido al incremento en el contenido de PC-FDN y de PC-FDA.

Uno de los objetivos del presente trabajo fue el de disminuir la degradabilidad de la PC debido a que la vaina de mezquite, al igual que muchas leguminosas, presenta una degradabilidad ruminal muy elevada (80% en 24 hrs.). Lo anterior implica que al presentarse un elevado consumo puede permitir pérdidas de nitrógeno, o no coincidir con la velocidad de degradación de los carbohidratos en el rumen, lo cual limitaría la síntesis de proteína microbiana.

El menor consumo de alimento (CB) provocó una menor degradabilidad de la MS y la PC de la VMC y la VMT, posiblemente debido a la influencia que presenta el consumo de materia orgánica digestible (MOD) en el desarrollo de la microflora microbiana. Siendo lo contrario en las fracciones fibrosas de la VM, ya que el nivel de consumo no afectó su degradabilidad.

Por lo que se concluye que, la vaina de mezquite por sus características nutricionales, es un suplemento adecuado para caprinos en las regiones semiáridas. Además, el tostado en seco, cumplió con las expectativas que se tenían, al disminuir la degradación de la proteína, lo cual puede disminuir las pérdidas de Nitrógeno en el rumen, incrementando el paso de proteína no degradable al intestino del animal y por lo tanto mejorando su valor nutricional. Es interesante observar que existió un incremento en la degradación de la FDN, por lo que tostado hizo más disponible la fibra, con la posibilidad de ser aprovechada por el animal a nivel ruminal.

Por otra parte, el uso de dos niveles de consumo, tratando de simular lo que pasaría en animales que se encuentran en condiciones de restricción alimenticia, demostró que en los animales con consumo menor, la degradabilidad de la fibra disminuye, lo cual afecta aún más a los animales que se encuentran en sistemas de pastoreo en época de sequía.

Finalmente consideramos necesario la evaluación de otros elementos que pueden ser afectados por el tratamiento térmico, como es el contenido de factores antinutricios, los cuales pueden afectar el valor nutritivo de la vaina, así como realizar evaluaciones productivas con el uso de diferentes niveles de vaina tostada y sin tostar y el posible diseño de equipos sencillos para el tostado de cualquier leguminosa.

VII. BIBLIOGRAFÍA

A.O.A.C. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C. pp 152-157.

Aguilera, J. F., Bustos M., Molina E. 1992. Degradability of legume seed meals in the rumen: effect of heat treatment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 36:101-112.

Akin, D. E., Chesson A. 1990. Lignification as the major factor limiting forage feeding value especially in warm conditions. En: *Proc. XVI International Grassland Congress, Nice. France.* pp 1753-1760.

Alegria R. F. S., García T., Andrade H. 2007. Efecto del tostado de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) sobre el contenido de proteína y factores antinutricios. *Memorias del Programa Verano de la Ciencia 2007, Noveno Verano de la Ciencia de la Región Centro. UAQ.* http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/26_6UAQAlegriaRios.pdf. Última consulta, abril 2008.

Álvarez Romero J., Medellín R. A. 2005. *Capra hircus* (doméstica). Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Última consulta enero 2008. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/fichaexoticas/Caprahircus%20_salvaje_00.pdf. Última consulta, marzo 2008.

Andrade-Montemayor, M. H. 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. pp 47, 50, 54, 264.

Arbiza Aguirre Santos. 1996. La cabra en México. *Correo del maestro*, Número uno. Junio de 1996. <http://www.correodelmaestro.com/anteriores/1996/junio/3anteaula1.htm>. Última consulta, marzo 2008.

Batista, A. M., Mustafa A. F., McKinnon J. J., Kermasha S. 2002. In situ ruminal and intestinal nutrient digestibilities of mesquite (*Prosopis juliflora*) pods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 100: 107-112.

Brenes A., Brenez J. 1993. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: Influencia sobre su valor nutritivo. IX curso reespecialización FEDNA. Barcelona. España.
http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_11.pdf. Última consulta, septiembre 2006.

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.

Cantú, B. J. E. 1997. Zootecnia de ganado caprino (una versión). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Unidad Laguna. Torreón. pp 232.

Celis Gutiérrez A. 2000. Calidad de pastas de soya mexicanas y su relación con el síndrome de tránsito rápido en pollos de engorda. Universidad de Colima. http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen.php?ID=20. Última consulta, mayo 2008.

Cervantes Ramírez M. C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.scribd.com/doc/449655/mezquite>. Última consulta, septiembre 2007.

Chesson, A. 1983. A holistic approach to plant cell wall structure and degradation. *Bulletin of the royal Society of New Zealand.* 20:85-90.

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> Última consulta, noviembre 2007.

Dehority, B. 1993. Microbial ecology of cell wall fermentation. En forage cell wall structure and digestibility. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph (eds). ASSA-CSSA-SSSA, Madison, WI. USA. pp 425-453.

Delgadillo, J. A. 2005. Fotoperiodo y bioestimulación: Métodos naturales para controlar la reproducción caprina. XX Reunión Nacional sobre caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacán Sinaloa. 5,6,7, Octubre de 2005. 131-141.

Delgadillo, J. A., Flores J. A., Véliz F. G., Hernández H. F., Duarte G., Vielma J., Poindron P., Chemineau P., Malpoux B. 2002. Induction of sexual activity in lactating anovulatory females goats using male goats treated only with artificially long days. J. Anim. Sci. 2002. 80: 2780-2786.

Dhanoa, M. S. 1998. On the analysis of Dacron bag for low degradability feeds. Grass and Forage Science. 43:441-444.

Fernández Fernández J. A. 2005. El ganado caprino español. <http://www.agroinformacion.com/leer-articulo.aspx?not=437> Última consulta, agosto 2007.

Ffolliott P. F. y John L. Thames. 1983. Manual sobre taxonomía de *Prosopis* en México, Perú y Chile. FAO <http://www.fao.org/docrep/006/Q2580S/Q2580S00.HTM> Última consulta, agosto 2007

FIRA. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México. FIRA. Banco de México. Núm. 313 (Vol XXXII). 15-62.

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.

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

Goering, H. K., Van Soest P. J. 1970. Forage fiber análisis. *Agr. Handbook* No. 379. Agricultural Research Service, USDA, Washington, D. C. pp 202

González J., Andrés S. 2002. Rumen degradability of some feed legume seeds. *Anim. Res.* 52:17-25.

González, J. S., Carro M. D., López S. 1991. Digestión ruminal de los forrajes. En: *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña*. FF. Bermudez. (ed). CSIC. Madrid. España. pp 93-104.

Haenlein G. 1991. Advances in the nutrition of macro and microelements in goats. VII. Reunión Nacional sobre caprinocultura. Monterrey NL. México. pp 290-320.

Hernández Martínez M. Á. 2000. Manual para el Análisis Bromatológico y Biológico en Nutrición Animal (libro de prácticas). Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. pp 20.

Huntington J. A., Givens D. I. 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.

Huyler, M. T., Kincaid R. L. 1999. The relationship between intestinally available protein and detergent insoluble protein of feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 78:101-107.

Impastato Planelles Mafalda. 2001. Los orígenes de la cabra doméstica. <http://www.capraispana.com/animales/origen/origen.htm> Última consulta, septiembre 2007.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 1994. MEZQUITE *Prosopis ssp.* Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaPublicacion.php> Última consulta, agosto 2007.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2003/ambiente03.pdf> Última consulta, agosto de 2007.

Kika de la Garza Institute for Goat Research. 2008. Nutrient Requirements Calculators. Langston University. <http://www.livesext.edu/goats/mdex.htm>. Última consulta, enero 2008

Landau, S., Morand-Fehr P., Bas P., Schmidely P., Giger-Reverdin S. 1997. Nutritional Efficiency for Conception, Pregnancy and Lactation in Goats with an Emphasis on Glucose and Nitrogen Metabolism. *Options Méditerr* 25: 59-66.

Licitra. G., Hernández T. M., Van Soest P. J. 1996. Standarization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:347-358.

Lykos, T., Vargas G. A. 1995. Effects of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate source *In situ*. *J. Dairy Sci.* 78:1789-1801.

Mahadevan, S., Erfle J. D., Saber F. D. 1980. Degradation of soluble and insoluble proteins by *Bacteriodes amylophilus* protease and by rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.* 50:723-733.

Mahgoub O., Kadim I. T., Forsberg N. E., Al-Ajmi D. S., Al-Sagry N. M., Al-Abri A. S., Annamalai K. 2005. Evaluation of Meskit (*Prosopis juliflora*) pods as a feed for goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 121:319-327.

Malpaux, B. 2005. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA, UAS-FMVZ. Culiacan Sinaloa 5,6,7, Octubre de 2005.99.131.

McDonald, I. 1981. A revised model for estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 96:251-252.

McDonald, P., Edwards R. A., Greenhalgh J. F. D., Morgan C. A. 1995. Animal Nutrition, 5a ed. Edit. Addison Wesley Longman Limited. London. UK. pp 367.

Mehrez, A. Z., Ørskov E. R. 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. 99-131.

Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim. Sci. 64:1548-1558.

Moore, K. J., Hatfield R. D. 1994. Carbohydrates and Forage Quality. In. G. C. Gahey, Jr (eds). Forage Quality, Evaluation, and Utilization. American Society of Agronomy, Inc. Madison. WI. pp 229-280.

Nocek, J., Tamminga. S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J. Dairy Sci. 74:3598-3629.

NRC. 1980. Mineral Tolerance of domestic animals. National Academic of Sciences. Washington , DC. USA. pp.553

NRC. 1985. Ruminant nitrogen usage. National research council (U.S) Subcommittee on nitrogen usage in ruminants. Edit: Nat. Academic Press, Washington, DC. pp137

NRC. 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. Edit: Nat. Academic Press. Washington. DC. pp 381

NRC. 2007. Nutrient Requirements of small ruminants (sheep, goats, cervids, and new world camelids). The National Academics Press. 1° edición. Washington, D. C. pp 312- 318.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1998. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales.

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

Ørskov, E. R. 1988. Nutrición proteica de los rumiantes. 1er edición en español. Ed. Acribia. Zaragoza. España. pp178

Ørskov E. R. 2000. The In situ Technique for the Estimation of Forage Degradability in Ruminants. Internacional Feed Resource Unit, Rowett Institute, Bucksburn, Aberdeen AB21 9SB, UK. pp 178

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

Pérez, J. J., Wicki G. A., Moyano F. J., Alarcón F. J. 2003. Evaluación del efecto de inhibidores de proteasa presentes en ingredientes vegetales utilizables en piensos para dos especies piscícolas cultivadas en Argentina; Pacú (*Piaractusmesopotamicus*) y Pejerrey (*Odontesthes bonaerensis*) <http://www.revistaaquatic.com/civa2003/coms/listado.asp?cod=61> Última consulta, octubre 2007.

Ramírez R. G., Neira-Morales R. R., Ledesma-Torres R. A., Garibaldi-González C. A. 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Rum Research*. 36:49-55.

SAGARPA. 2003. Programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN). Capacidad Forrajera de Praderas por Zona Ecológico-Ganadera. <http://www.sagarpa.gob.mx/>. Última consulta, septiembre 2007.

SAGARPA. 2005. Boletín: es México primer productor en caprinocultura de América Latina con nueve millones 500 mil cabezas. <http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2005/marzo/B097.htm>. Última consulta, septiembre 2007.

SAGARPA. 2006. Publicaciones. La producción de carnes en México y sus perspectivas 1990-2000. <http://www.sagarpa.gob.mx/>. Última consulta, septiembre 2007.

SAGARPA. 2007. Estimación del Consumo Nacional Aparente 1990-2005. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/CNAcap.htm>. Última consulta, septiembre 2007.

Sauvant, D., Pérez J-M., Tran G. 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.

Silva J. H., Quiroga M. A., Auza N. J. 2000. Selenio en el rumiante. Relaciones suelo, planta, animal. *Med Vet*; vol. 17 (10): 229-246.

Sniffen, C. J., O'Connor J. D., Van Soest P. J., Fox D. G., Russel P. J. 1992. A Net Carbohydrate and protein system for evaluating diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577.

Sniffen, C. J., Robinson R. H. 1987. Microbial growth and flor as influenced by dietary manipulations. *J. Dairy Sci.* 70:425-441.

Stern, M. D., Satter L. D. 1984. Evaluation of nitrogen solubility and the Dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58:714-724.

Tiemann, T. T., Avila P., Barahona R., Dieter H. 2006. Análisis de taninos: Astringencia, composición química y peso molecular. Universidad Nacional de Colombia. http://www.db-alp.admin.ch/de/publikationen/docs/pub_HessHD_2006_16347.pdf?PHPSESSID=7e5a66ef5b0e12111f6f1f32cd5ddcd8 Última consulta, marzo 2008.

Van Soest, J. P. 1982. Nutricional ecology of the ruminant. 2nd Edit. Ithaca, New York. USA. Cornell University press. pp 373

Van Soest, J. P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Edit. Ithaca, New York. USA. Cornell University press. pp 373

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

Wallace, R. J. 1988. Ecology of rumen microorganism: Protein Use. En: Proc. Symposium of the 30th International Congress of the International Union of Physiological Sciences. Aspects of digestive physiology in ruminants. Dobson, A., M. Dobson (eds). Cornell University. Press. Ithaca, New York. pp 99-123.

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

Zamudio R. S, Rzedowsk J, Carranza G. E, Calderón de Rzedowsk G. 1992. La Vegetación del Estado de Querétaro. Panorama preliminar. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. CONCYTEQ. México. pp 399.

Zarazaga, L. A., Guzmán J. L., Domínguez C., Pérez M. C., Prieto R. 2005. Effect of planeo of nitrition on seasonality of reproduction in Spanish Payota goats. Animal Reproduction Sciences. 87 (3-4): 253-267.

VIII. ANEXOS

8.1. 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

CE = Carbohidratos Estructurales

CENID = Centro Nacional de Investigación Disciplinaria

cm = Centímetro

CNE = Carbohidratos No Estructurales

Co = Cobre

EEM = Error Estándar de la Media

EEM = Extracto Etéreo

EUA = Estados Unidos de América

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

FDA = Fibra Detergente Ácida

FDN = Fibra Detergente Neutro

h = Hora

Ha = Hectárea

INE = Instituto Nacional de Ecología

Kg = Kilogramos

Km = Kilómetro

Km² = Kilómetros cuadrados

kp = tasa fraccional de paso.

kPa = Kilopascales

m = Metro

mm = Milímetros

MO = Materia Orgánica

MOD = Materia Orgánica Digestible

MS = Materia Seca

msnm = Metros sobre el nivel del mar

N = Nitrógeno

NH₃ = Amoniaco

NNP = Nitrógeno No Proteico

NRC = Nutricional Research Council

°C = Grados centígrados

OES-ICP = Espectrofotometría de Emisión Óptica Inductiva Acoplada a Plasma

P = Fósforo

PB = Proteína Bruta

PC = Proteína Cruda

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

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

PDR = Proteína degradable en Rumen

pH = Potencial hidrógeno

PND = Proteína no degradable en Rumen

PV^{0.75} = Peso metabólico

Qro = Querétaro

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

Se = Selenio

spp = Subespecie

VMC = Vaina de Mezquite Crudo

VMT = Vaina de Mezquite Tostado

8.2. Publicaciones producto de la tesis

Efecto del tostado de la vaina de mezquite (*prosopis laevigata*) en la degradabilidad *in situ* y cinética de degradación de la materia seca en caprinos

Effect of mesquite pod roasting, on dry matter *in situ* degradability and degradation kinetics in goats

Aguilar BJH¹, Villegas DLO¹, Andrade MH^{1*}, 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

Con el objetivo de analizar el efecto que presenta el tostado de la vaina de mezquite y el nivel del consumo de la cabra, sobre su composición, degradación *in situ* y cinética de degradación de la materia seca en caprinos, se utilizaron 4 hembras (2 repeticiones n=8) encastadas con Nubio, fistuladas y canuladas del rumen, con un peso de 37.6 ±3.4 Kg. Los animales recibieron 2 niveles de consumo de MS, consumo alto (CA) 58 g MS/Kg. PV^{0.75}/día y consumo bajo (CB) 42 g MS/ kg PV^{0.75}/día. El tostado de la vaina se realizó en una estufa de desecación a una temperatura de 150°C/45 min. Las vainas (crudas y tostadas) se secaron a 60°C por 48 horas y fueron molidas con criba de 2 mm. Los tiempos de degradación fueron 0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72 horas siendo un total de 4 animales por tratamiento y 2 bolsas y un control por tiempo y animal. El modelo estadístico fue un modelo cruzado con arreglo factorial (2x2), considerándose el tratamiento (crudo y tostado), el nivel de consumo (CA y CB) y sus interacciones. La cinética de degradación se estimó de acuerdo al modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979), calculándose el potencial de degradación (a+b) y la degradación efectiva (a+b[c/c+kp]) (kp= de 0.06/h). Los resultados fueron los siguientes: El tostado de la vaina incrementó el contenido de PC-FND (1.4 vs 3.16 % de la MS) y PC-FDA (0.62 vs 1,21 % de la MS), se observó un incremento en el contenido de FND (39 vs 44% de la MS) por efecto del tostado, posiblemente resultado de la formación de complejos con menor degradabilidad entre la PC y los carbohidratos de la fibra. La degradación de la MS en el tiempo fue menor (P<0.05) en la vaina tostada. Se presentó una mayor degradación de la MS (P<0.05) en los animales con mayor consumo (CA), sin observarse un efecto de la interacción (P>0.05) entre el nivel de consumo y el tratamiento. En relación con la cinética de degradación, la vaina tostada (VMT) presentó un menor contenido de la fracción soluble (a) (36.8 vs 46.5%), un incremento de la fracción de lenta degradación (b) (18.2 vs 26.3%) y la disminución en la tasa de degradación (c)(0.11 vs 0.09/h), teniendo como resultado una menor degradabilidad potencial (64.7 vs 62.0%) y efectiva (58.3 vs 51.7%). En resumen el tostado de la vaina de mezquite disminuye la degradación y degradabilidad de la MS y modifica el contenido de FND así como de la proteína unida a fracciones de fibra (PC-FND y PC-FAD). Lo anterior posiblemente como resultado de la formación de complejos entre carbohidratos de la FND y la proteína. El nivel de consumo de MS de los animales que se utilizaron en las pruebas *in situ* influyó en la degradación de la

MS, posiblemente debido a modificaciones en la población microbiana del contenido ruminal.

Palabras clave: Degradabilidad, cinética de degradación, vaina de mezquite, tostado

Introducción

Existe una relación y dependencia entre la presencia de lluvias, la disponibilidad de alimentos y el inicio de la actividad reproductiva y nivel productivo (Malpaux, 2005; Mellado, 2005). La reducida y estacional producción de alimentos, trae como consecuencias una baja productividad animal, con pobres tasas de fertilidad y nacimientos, así como una elevada mortalidad (Cantú, 1997; FIRA, 1999). La suplementación energética y/o proteica con productos de la región en momentos específicos (inicio de actividad reproductiva, época de partos, etc) podría mejorar la productividad. El mezquite (*Prosopis Laevigata*) en especial la vaina podría ser una alternativa de suplementación. En México existen 4.1 millones de hectáreas de mezquite, ubicadas primordialmente en las región semiárida del norte y centro de la republica (Rodríguez-Franco y Maldonado, 1994). Presenta un adecuado contenido de PC, FND y Carbohidratos no estructurales (12 a 18%; 29% a 40%; 25 a 50%, respectivamente) (Batista *et al.* 2002; Ramírez *et al.* 2000). Sin embargo, como todas las leguminosas, tiene un elevado contenido de proteínas solubles que podrían ser causa de pérdidas de nitrógeno en el rumen, así como algunos factores antinutricionales (lectinas, factores antitripsicos, etc.) (Yu *et al.* 2002). Los tratamientos térmicos tales como el tostado han demostrado su eficacia para disminuir la degradabilidad de la proteína y reducir en el contenido de factores antinutricionales termolábiles (Yu *et al.* 2002). Sin embargo, existe poca información relación al efecto del tostado sobre el comportamiento degradativo de la vaina de mezquite (VM) específicamente sobre la degradabilidad y cinética de degradación de la MS. Asimismo se requiere más información sobre el efecto que provoca el nivel de consumo sobre la degradación y cinética de degradación del alimento en cabras sometidas a pruebas de degradabilidad *In situ*.

Por lo que el objetivo del presente trabajo, fue analizar el efecto del tostado de la vaina de mezquite en la composición de la misma, la degradabilidad y cinética de degradación y analizar el efecto del nivel de consumo en estas variables.

Materiales y métodos

Se utilizaron 4 hembras encastadas de Nubio fistuladas y canuladas del rumen en dos repeticiones (n=8), con un peso de 37.6±3.4 kg. Fueron alimentados en forma restringida para mantener 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 (12% de PC, 2.11 Mcal de EM y 7.37% de PDeg) y estabilización del consumo fue de 8 semanas. El tostado de la vaina (VMT) se realizó en estufa de desecación con aire forzado a un temperatura de 150° C/45 min (Yu *et al.* 2001). El secado de la vaina cruda (VMC) y tostada (VMT) se realizó a 60 °C por 48 horas, posteriormente se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm. La determinación del contenido de MS, MO, PC y cenizas se realizó de

acuerdo a lo recomendado por la AOAC (1984), las fracciones de fibra de acuerdo a Van Soest *et al.* (1991) y de fracciones de PC unido a FND y FAD (PC-FND y PC-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 ®). En cada bolsa se utilizaron 5 gr de muestra, siendo 2 bolsas por tiempo y una control en cada animal. Los tiempos de degradación fueron 0,1, 3, 6, 9,12, 24, 48 y 72 horas, utilizando 4 animales por tratamiento. Las bolsas fueron remojadas e introducidas en el animal, retirando 2 con muestra y 1 control en cada tiempo, posteriormente fueron lavadas usando tres ciclos de 15 minutos cada uno, las bolsas del tiempo 0 no se introdujeron en el rumen solo fueron lavadas, posteriormente se secaron en horno de aire forzado a 60°C/48 horas. Para analizar el efecto del tostado y el nivel de consumo se utilizó un modelo cruzado (bloques) con arreglo factorial (2x2), considerándose como factores el tratamiento (VMC vs VMT) y el nivel de consumo (CA vs CB), así como sus interacciones. En cuanto a la cinética de degradación el modelo utilizado fue el descrito por Ørskov y McDonald (1981) $a+b(1-e^{-c \cdot t})$, 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 ($a+b[c/c+k_p]$), considerando una tasa fraccional de paso (k_p) de 0.06/h (Sauvant *et al.* 2003).

Resultados y discusión

Composición bromatológica. En el cuadro 1 se observa la composición bromatológica de la vaina cruda (VMC) y de la vaina tostada (VMT), observándose que el tratamiento térmico no modificó el contenido de PC, MO, Hemicelulosa ni cenizas. Sin embargo, incrementó el contenido de FND, FAD, PC-FND y PC-FAD, lo que puede ser el resultado de la formación de complejos entre la PC y los carbohidratos de la fibra. Otros autores (Sauvant *et al.* 2003; Mass *et al.* 1999; Huyler y Kincaid, 1999), han observado un incremento en el contenido de PC-FND y PC-FAD en diversas semillas después de aplicar un tratamiento térmico (Tostado o Extrusión). Por otro parte, la PC-FND se considera como un estimador de la proteína que no se degrada en el rumen (fracción B3) (Huyler y Kincaid, 1999). Cabe destacar, que tanto el contenido de proteína como de FND son comparables a los de otros forrajes, tales como el (*Lolium multiflorum*), y (*Medicago sativa*) (NRC 2001).

Degradación de la MS. En el cuadro 2, se presenta el efecto del tostado de la vaina en la degradación de la MS en el tiempo. El tostado provocó una menor degradabilidad de la MS ($P < 0.05$) (54.16 ± 0.81 vs 48.04 ± 0.8). Por otra parte, se presentan 3 periodos de degradación en el tiempo, el primero de la hora 0 a 1 con una degradación rápida, seguido de un periodo de estabilización (1hr a 12 hrs de degradación) y posteriormente (12 a 72 horas) se reinicia la degradación, con un comportamiento similar entre los tratamiento (VMC y VMT). En otras semillas se han observado resultado similares, así otros autores (Aufrère *et al.*, 2001; Yu *et al.* 2002; Andrade-Montemayor, 2005;) observan la disminución de la degradación de la MS en semillas de (*Lupinus angustifolium*), (*Vicia Faba*) y (*Vicia ervilia*).

Cuadro 1.- Composición bromatológica porcentual de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) cruda y tostada.

	Vaina cruda	Vaina tostada
MS	93.39	97.51
Como %de la MS		
MO	95.41	95.13
PC	14.97	14.87
FND	39.01	44.00
FAD	21.78	26.91
Hemicelulosa	17.23	17.09
PC-FND	1.48	3.16
PC-FAD	0.62	1.21
Cenizas	4.58	4.86

Cuadro 2. Efecto del tostado en la degradación de la MS de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹

	0	1	3	6	9	12	24	48	72
Cruda	45.86	48.2b	50.88	50.52	51.66	55.53b	57.65	64.12	62.99
	a		b	b	b	c	c	c	c
EE±	2.33	2.64	2.43	2.91	2.78	2.84	2.27	1.07	2.96
Tostad	28.77	41.86	44.65	47.64	44.47	47.39b	55.42	60.66	61.90
	a	b	b	b	b		c	c	c
EE±	3.68	2.37	3.29	2.13	2.28	2.72	1.98	1.70	2.28
Sig ¹	*	*	*	ns	ns	**	**	**	*

¹Nivel de significancia: (P>0.05). * Diferencias (P<0.05) dentro de columnas; NS no diferentes dentro de columnas (P>0.05), a, b, c, dentro de renglón son diferentes (P<0.05).

Efecto del nivel de consumo: en los animales que tuvieron mayor consumo (CA), se observó una mayor (P<0.05) (53.24±0.8 vs 44.01± 0.8) degradabilidad de la MS. Lo que puede ser el resultado del efecto del consumo materia orgánica digestible (MOD) sobre el desarrollo de la flora microbiana (Huntington y Givens, 1995). No se observó un efecto de la interacción entre tratamiento y nivel de consumo

Cinética de degradación de la MS. La cinética de degradación de alimento nos indica el comportamiento que presenta en el rumen, lo cual incluye el contenido de dos fracciones de acuerdo a la velocidad de degradación, la primera de rápida degradación o fracción soluble (a) y la segunda de lenta degradación o fracción potencialmente degradable (b). La cantidad de alimento degradado está influenciado por la tasa fraccional de degradación (c) en el tiempo (t) (Ørskov y McDonald, 1979). En el cuadro 3 y en la grafica 1 se observa que la VMT presentó un menor contenido de la fracción (a), con un mayor contenido de la fracción (b) y una menor tasa fraccional de degradación (c), por lo tanto, el potencial de degradación (a+b) a 72 horas fue menor, así

como la degradación efectiva, en la que se aplicó una tasa fraccional de paso de 0.06/h (Sauvant *et al.* 2003). Yu *et al.* (2002) y Goelma *et al.* (1998) observaron comportamientos similares en diversas semilla de leguminosas siendo esto el resultado de la modificación en las estructuras de las proteína y carbohidratos del producto

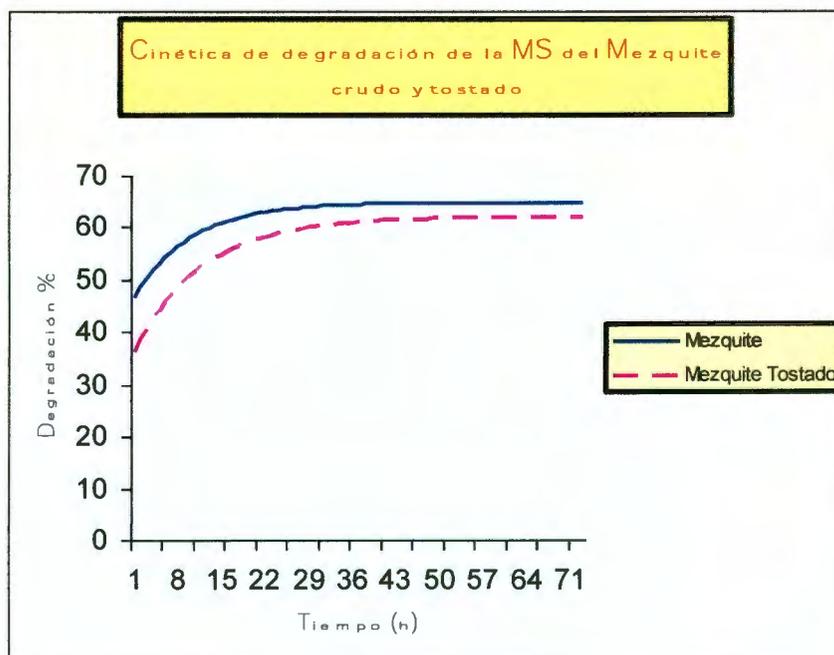
Cuadro 3.- Parámetros de cinética de la degradación de la MS de la vaina de mezquite cruda y tostada.

Vaina de mezquite	a	b	C	Deg. potencial ¹	Deg. efectiva ²	R ²	EM
Cruda	46.54	18.19	0.11	64.73	58.31	76.00	3.00
Tostada	36.48	26.37	0.09	62.00	51.73	73.97	4.01

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

El tostado de la vaina de mezquite produce un incremento en el contenido de PC-FND, PC-FAD, lo cual puede ser el resultado de la formación de complejos entre carbohidratos de la FND y la proteína. La posible modificación en las estructura de las proteínas y carbohidratos de la vaina, por efecto del incremento de la temperatura y el tiempo de exposición a ésta, pudieron provocar una disminución en la degradación y degradabilidad de la MS. Por otra parte, el menor consumo de alimento (CB) provocó una menor degradabilidad de la MS de la VM y la VMT, posiblemente debido a la influencia que presenta el consumo de MOD en el desarrollo de la microflora microbiana.



- Andrade-Montemayor H.M. 2005. Valoración nutritiva de dos sistemas de alimentación y evaluación del uso de fuentes alternativas de proteína vegetal en la alimentación de caprinos. Tesis Doctoral. Dep. Producción Animal. Universidad de Murcia. España. Pp : 264.
- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- Batista, M. A., A. F. Mustafa, J. J. McKinnon, S. Kermasha. 2002. In situ ruminal and intestinal nutrient digestibilities of mesquite (*Prosopis juliflora*) pods. Anim.Feed Sci. Technol. 100: 107-112.
- Cantú, B. J. E. 1997. Zootecnia de ganado caprino (una revisión). Universidad Autónoma Agraria. "Antonio Narro". Unidad Laguna. Torreón. 232.
- FIRA. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México. FIRA. Banco de México. Núm. 313 (Vol XXXII). 15-62.
- Goelema, J. O., M.A.M. Spreeuwenberg, G. Hof, A. F.B. Van der Piel 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
- 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.
- 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.
- 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.
- Mass, R. A., G. P. Lardy, R. J. Grant y T. J. Klopfesntein. 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.
- Malpaux, B. 2005. Neuroendocrine basis of seasonal reproduction in sheep and goats. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA-FMVZ: UAS. Culiacán Sin. 99-131.
- Mellado, M. 2005. Métodos para incrementar la eficiencia reproductiva de caprinos en agostaderos. XX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA-FMVZ: UAS. Culiacán Sin. 297-281.
- 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 Mexico. *Small Rum. Research.* 36: 49-55.
- Rodríguez, F, C. y L. J. Maldonado A. 1994. Overview of Past, Current and Potential Uses of Mesquite in México. INIFAP documento PDF. P. 41-52.
- 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
- .Yu, P., B. J. Leury., M. Sprague y A. R. Egan. 2001. Effect of DVE and OEB value changes of grain legumes Lupin and Faba beans after roasting on the performance of lambs fed a roughage-based diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 94: 89-102.
- Yu, P., J. O. , Goelema, B. J., Leury., S.Tamminga y A. R. Egan. 2002. An analysis of the nutritive value of heat processed legume seed for animal production using the DVE/OEB model: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 99:141-176.

**EFFECTO DEL TOSTADO DE LA VAINA DEL MEZQUITE (*PROSOPIS LAEVIGATA*) EN LA COMPOSICIÓN, DEGRADABILIDAD *IN SITU* Y CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN CAPRINOS****EFFECT OF ROASTING OF MESQUITE POD (*PROSOPIS LAEVIGATA*), IN COMPOSITION, *IN SITU* DEGRADABILITY AND DEGRADATION KINETIC OF CRUDE PROTEIN IN GOATS**

Aguilar-Borjas J.H.¹; Villegas-Díaz J.L.O.¹; Andrade-Montemayor H.^{1*}; Basurto-Gutierrez R.²; Jiménez-Severiano H.²; Vera-Ávila H.R.².

¹Facultad 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. ²CNID-Fisiología Animal. INIFAP. Km. 1 Carretera a Colón, Ajuchitlan, Querétaro, CP 76280.

RESUMEN

Con objeto de analizar efecto del tostado (150°C/48h) de la vaina del mezquite, sobre su composición, degradabilidad y cinética de degradación, así como del nivel del consumo de la cabra fistulada en estas variables, se realizó el presente trabajo. Se utilizaron 4 cabras (37.6±3.4Kg) fistuladas y canuladas del rumen, en 2 repeticiones (n=8). Ofreciéndose 2 niveles de consumo: alto (CA) (58g MS/Kg. PV^{0.75}/día) y bajo (CB) (42g MS/Kg. PV^{0.75}/día). Las vainas crudas (VMC) y tostadas (VMT) fueron secadas (60°C/48h), y molidas (2 mm). Los tiempos de degradación fueron: 0, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas, utilizaron 4 animales/tratamiento, 2 bolsas y 1 control por tiempo y animal. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC) en los residuos de cada bolsa con los que se estimó la degradabilidad de la PC. El modelo estadístico fue cruzado con arreglo factorial 2x2 (2 tratamientos y 2 consumos). La cinética de degradación se estimó de acuerdo al modelo no lineal: $a+b*(1-e^{-c*t})$. El tostado incrementó el contenido de proteína cruda unida a fibra detergente neutro (PC-FDN) y a la fibra detergente ácida (PC-FDA), así como el de FDN, resultado de la posible formación de complejos entre la PC y la FDN. La degradación de la PC en el tiempo fue menor (P<0.001) en la VMT. Se presentó mayor degradación de la PC en los animales con CA (P<0.05). La VMT presentó menor contenido de fracción soluble (a), con incremento en la fracción de lenta degradación (b) y disminución en la tasa de degradación (c), teniendo como resultado menor degradabilidad potencial y efectiva en la PC. En conclusión el tostado incrementó el contenido de FDN, PC-FDN y PC-FDA, y provocó la disminución en la degradación potencial y efectiva de la PC. Por su parte, en los animales fistulados con menor consumo se observó una menor (P<0.05) degradabilidad *in situ* de la PC, posiblemente debido a las modificaciones de microbiota ruminal.

Palabras clave: Degradabilidad, cinética de degradación, vaina de mezquite, tostado, proteína cruda.

INTRODUCCIÓN

El 79% de la población caprina esta ubicada en las zonas áridas y semiáridas (Gamarra, 2005), con precipitación pluvial de 350-600 mm/año (SAGARPA, 2003). Lo que, trae como consecuencia una disminución de la producción de forrajes, ocasionando pérdidas productivas y reproductivas en los caprinos de la región. La vaina del mezquite es utilizada en la alimentación por su alto valor nutritivo (FAO, 1998), presentando un adecuado contenido de PC, FDN y carbohidratos no estructurales (12 a 18%; 29% a 40%; 25 a 50%, respectivamente) (Batista et al. 2002; Ramírez et al. 2000), reduciendo así los costos de producción en la zona (FAO, 1998). Sin embargo, al ser una leguminosa puede presentar un contenido de proteínas muy solubles y degradables, lo que puede resultar en una pérdida innecesaria de nitrógeno en rumen (Yu et al. 2002). Por otra parte, estas pueden contener factores antinutritivos, (lectinas, taninos, factores inhibidores de proteasas, etc.) (González, 2002). Que reducen disponibilidad y digestibilidad de los nutrientes. Se ha demostrado que el tostado es un tratamiento adecuado para modificar la degradabilidad de la proteína en el rumen, al disminuir la tasa fraccional de degradación (Goelma et al. 1999), además de inactivar o disminuir el contenido de algunos factores antinutritivos termolábiles (Brenes y Brenes, 1993; Yu et al. 2002).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 4 hembras encastadas con Nubio, fistuladas y canuladas del rumen en (2 repeticiones n=8), con peso 37.6±3.4Kg. Alimentadas en forma restringida manteniendo 2 niveles de consumo: consumo alto (CA) (58g MS/Kg. PV^{0.75}/día) y consumo bajo (CB)(42g MS/kg. PV^{0.75}/día). El periodo de adaptación a la ración fue de 8 semanas. La vaina se tostó a 150°C/45min (Yu et al. 2002). Posteriormente VMC y VMT se secaron a 60°C/48h y se molieron (2 mm). Se determinó el contenido de MS, materia orgánica MO, PC y cenizas (AOAC, 1984), fracciones de fibra (Van Soest et al. 1991) y PC-FDN y PC-FDA (Licitra et al. 1996). La metodología para la

estimación de la degradabilidad *in situ* fue de acuerdo a Mehrez y Ørskov (1977), se utilizaron bolsas de nylon de 10x5cm con poro de 50 μ (Ankom Technology ®). En cada bolsa se utilizaron 3g de muestra, siendo 2 bolsas por tiempo y 1 control por animal. Los tiempos de degradación fueron: 0, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas. Las bolsas se remojaron e introdujeron al animal, retirándolas en el tiempo correspondiente; fueron lavadas usando 3 ciclos/15min cada uno, el tiempo 0 solo se lavó, posteriormente secadas (60°C/48h). Se analizó el contenido de PC de los residuos de cada bolsa en cada tiempo (AOAC, 1984). Para analizar el efecto del tostado y el nivel de consumo se utilizó un modelo cruzado con arreglo factorial (2x2), considerando 2 tratamientos y 2 niveles consumo. En la estimación de la cinética de degradación el modelo utilizado fue el descrito por Ørskov y McDonald (1979) $a+b(1-e(-c*t))$, estimando el contenido de la fracción soluble, fracción potencialmente degradable y tasa fraccional de degradación en el tiempo. Con los que se estimó el potencial de degradación y la degradación efectiva, considerando una tasa fraccional de paso de 0.04/h, 0.06/h, 0.08/h (Sauvant et al. 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición bromatológica. En el cuadro 1 se observa la composición bromatológica de ambos tratamientos VMC y VMT, observándose que el tostado no modificó el contenido de MO, PC, Hemicelulosa, ni cenizas. En cambio, se incrementó FDN, FDA, PC-FDN y PC-FDA, posiblemente debido a la formación de complejos entre la PC y los carbohidratos de la fibra. Otros autores (Andrade M. H., 2005; Huyler y Kincaid, 1999), han observado un incremento en el contenido de PC-FND y PC-FAD en diversas semillas después de aplicar un tratamiento térmico (Tostado o Extrusión).

Degradación de la PC. En el cuadro 2 se muestra el efecto del tostado de la vaina en la degradación de la PC en el tiempo. El tostado provocó una menor degradación de la PC ($P<0.05$). Observándose una rápida degradación de la hora 0 a la 3, seguido de una estabilización de la hora 3 a la 12, y un reinicio de la degradación de la hora 24 a la 72, siendo menor en cada tiempo en la VMT ($P<0.01$). Lo cual coincide con lo observado por González, (2002) y Yu et al. (2002) en otras leguminosas como efecto del tratamiento.

Efecto del nivel de consumo. En los animales con (CA), se observó una mayor ($P<0.05$) degradabilidad de la PC, posiblemente debido al mayor consumo de MO digestible sobre el desarrollo de la flora microbiana (Cuadro 3) (Huntington y Givens, 1995).

Cinética de degradación de la PC. En el cuadro 4 y en la gráfica 1 se observa que la VMT presentó un menor contenido de la fracción (a), con un mayor contenido de la fracción (b) y una menor tasa fraccional de degradación (c), por lo tanto, el potencial de degradación (a+b) a 72 horas fue menor, así como la degradación efectiva, (cuadro 5) en la que se aplicaron tasa fraccionales de paso de 0.04/h, 0.06/h y 0.08/h (Andrade M. H., 2005).

Conclusiones: El tostado de la vaina de mezquite produjo un incremento en el contenido de PC-FDN, PC-FDA, posiblemente debido a la formación de complejos entre carbohidratos de la FDN y la proteína. La modificación en las estructuras de las proteínas, por efecto del incremento de la temperatura y el tiempo de exposición a esta, provoca una disminución en la degradación y degradabilidad de la PC. Por otra parte, en los animales que tuvieron un mayor consumo (CA) se presentó una mayor degradación de PC, debido a la influencia que presenta el consumo de MO digestible en el desarrollo de microbiota ruminal.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Pags: 152-157.
- Andrade M. H. 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.
- Batista, M. A., A. F. Mustafa, J. J. McKinnon, S. Kermasha. 2002. In situ ruminal and intestinal nutrient digestibilities of mesquite (*Prosopis juliflora*) pods. Anim.Feed Sci. Technol. 100: 107-112.
- Brenes A., Brenes J. 1993. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: influencia sobre su valor nutritivo. IX curso de especialización FEDNA.
- FAO. 1998. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales.

- Gamarra Juan. 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.
- Goelema, J. O., A. Smits., L. M. Vaessen., A. Wemmers. 1999. Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on in vitro and in situ parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans. Anim. Feed Sci. Technol. 78:109-126.
- González J. Andrés S. 2002. Rumen degradability of some feed legume seeds. Anim. Res. 52:17-25.
- Huntington J. A. and D. I. Givens. 1995. The in situ Technique for Studying the Rumen Degradation of Feeds: A Review of the Procedure. February. Vol 65. No. 2.
- Hurley, M.T. y R.L. Kincaid. 1999. The relationship between intestinally available protein and detergent insoluble protein crude of feedstuffs. Anim. Feed Sc. Technol. 78:101-107.
- 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.
- 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 Mexico. Small Rum. Research. 36: 49-55.
- SAGARPA. 2003. Programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN). Capacidad Forrajera de Praderas por Zona Ecológico-Ganadera. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/> consultado en Jun 2007.
- SAGARPA. 2006. Publicaciones. La producción de carnes en México y sus perspectivas 1990-2000. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/> consultado Jun 2007.
- 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., 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., S. Tamminga y A. R. Egan. 2002. An analysis of the nutritive value of heat processed legume seeds for animal production using the DVE/OEB model: a review. Anim. Feed Sci. Technol. 99:141-176.

Cuadro 1.- Composición bromatológica porcentual de la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*) cruda (VMC) y tostada (VMT).

	VMC	VMT
MS	93.39	97.51
Como %de la MS		
MO	95.41	95.13
PC	14.97	14.87
FDN	39.01	44.00
FDA	21.78	26.91
Hemicelulosa	17.23	17.09
PC-FDN	1.48	3.16
PC-FDA	0.62	1.21
Cenizas	4.58	4.86

Cuadro 2.- Efecto del tostado de la vaina del mezquite en la degradabilidad de la PC (*Prosopis laevigata*)¹

	0	1	3	6	9	12	24	48	72	EE±	Sig ²
VMC	47.63a	60.38b	68.18c	69.26c	71.15c	72.48c	78.46d	80.61e	83.73e	2.5	**
EE±	3.26	3.26	3.26	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82		
VMT	32.15a	59.10b	64.52c	60.15c	56.20c	58.34c	72.67d	79.27e	78.96e	2.5	**
EE±	2.82	2.82	3.99	2.82	3.01	2.82	2.82	2.82	3.01		
Sig¹	**	**	**	**	**	**	**	**	**		

¹Nivel de significancia: ** Diferencias (P<0.01) dentro de columnas; a,b,c, dentro de renglón son diferentes) ** (P<0.01).

Cuadro 3.- Efecto del nivel del consumo de la PC en la vaina de mezquite (*Prosopis laevigata*)¹

	VMC	VMT
CA^a	70.92	63.59
CB^b	69.50	60.74
EE±	0.9	1.01
Sig¹	*	*

¹Nivel de significancia: NS (P>0.05); * (P<0.05); CA^a=consumo alto 58g MS/Kg. PV^{0.75}/día, CB^b=consumo bajo 42g MS/Kg. PV^{0.75}/día.

Cuadro 4.- Parámetros de cinética de la degradación de la PC en la vaina de mezquite cruda y tostada.

Tratamiento	a	b	c	Deg. Potencial ¹	R ²	EM
VMC	57.58	25.26	0.12	82.84	71.96	5.59
VMT	40.71	39.10	0.08	79.81	70.10	9.34

En donde a = Fracción soluble y de rápida degradación (%), b = Fracción potencialmente degradable, c = Tasa fracción de degradación. ¹Deg. Potencial= a + b; ²

Cuadro 5.- Efecto de la tasa fraccional de paso (Kp/h) en la degradabilidad efectiva¹ de la PC.

Kp/h	0.04/h	0.06/h	0.08/h
VMC	76.52	74.42	72.73
VMT	66.77	63.05	60.26

¹Deg. Efectiva= $a+b(c/c+kp)$, en donde kp: tasa fraccional de paso. a= Fracción soluble y de rápida degradación (%), b= Fracción potencialmente degradable (%), c= Tasa fraccional de degradación (/h)

Gráfica 1.- Cinética de degradación de la PC del mezquite crudo y tostado.

