

**ALTERNATIVAS FORRAJERAS DEL DESIERTO
CHIHUAHUENSE EN LA ALIMENTACIÓN
DE CAPRINOS**

**POR:
JOSÉ EDUARDO GARCÍA MARTÍNEZ**

TESIS

*Presentada Como Requisito Parcial
Para Obtener el Grado de:*

**DOCTOR EN CIENCIAS
EN ZOOTECNIA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2006

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**ALTERNATIVAS FORRAJERAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE
EN LA ALIMENTACIÓN DE CAPRINOS**

TESIS

POR:

JOSÉ EDUARDO GARCÍA MARTÍNEZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría
y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
EN ZOOTECNIA**

COMITÉ PARTICULAR:

ASESOR PRINCIPAL _____
Dr. Miguel Mellado Bosque

VOCAL _____
Dr. Ramiro López Trujillo

VOCAL _____
Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla

VOCAL _____
Dr. Álvaro Fernando Rodríguez Rivera

VOCAL _____
Dr. Heriberto Díaz Solís

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Postgrado

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo de 2006

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca para realizar estos estudios, coadyuvando así a mi formación profesional.

A mi “Alma Mater” (UAAAN), por brindarme tantas oportunidades desde hace muchísimos años y por ser el sustento de mi familia.

Al Dr. Miguel Mellado Bosque, por brindarme su amistad siempre valiosa y sincera, y por ser el principal motivador para que decidiera estudiar este doctorado. Por transmitirme un gran cúmulo de conocimientos y habilidades indispensables para mi formación; y por apoyarme incondicionalmente en la elaboración del trabajo de investigación.

Al Dr. Álvaro Fernando Rodríguez Rivera, por sus consejos siempre acertados y por ayudarme en la revisión del presente trabajo.

Al Dr. Heriberto Díaz Solís, por su gran apoyo en la realización de éste trabajo y por brindarme su amistad y consejos desde hace muchos años.

Al Dr. Ramiro López Trujillo, por su disponibilidad y ayuda en la realización de este doctorado y por sus sabios consejos los cuales siempre serán considerados.

Al Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla, por su asesoría en el presente trabajo.

A la Lic. Laura Marisela Lara, por su valiosa participación y apoyo técnico en el Laboratorio de Producción.

Al TLQ. Carlos Arévalo Sanmiguel, por su alto espíritu de colaboración y por ayudarme enormemente en la parte técnica de este trabajo, en el Laboratorio de Nutrición Animal, además de ser un buen amigo.

A la MC. Camelia Cruz Rodríguez, por su valiosa participación y apoyo en la realización de los trabajos de campo en la Unidad Metabólica.

A la Lic. Laura Olivia Fuentes Lara, por su ayuda en el Laboratorio de Nutrición Animal y por su amistad siempre sincera.

Al MC. Antonio Aguilera Carbó, por su colaboración técnica y consejos, y por brindarme su amistad desinteresada.

A la Srita. Rocío Guadalupe Ramírez, por su ayuda desinteresada y por brindarme su amistad.

Un agradecimiento especial merecen todos mis amigos que de una u otra forma participaron ayudando a la realización del trabajo de investigación: Dr. Ramón García Castillo (El Pana), MC. Serjio Rodríguez Alemán (La Vaca), MC. Raúl Valdez Saucedo (Chapatín), Ing. Fco. Javier Cervantes Castillo (El Topo), Ing. Christian García Aquino (Pistian), Ing. Raúl Jiménez Tirado (Raulito), Ing. Enrique Galván (El Quique), Ing. Rogelio Hernández Zul (El Venado), Alain Salas Salas (El Usado), Sergio Arturo (Matehualo), Vicente Serrano (El Gordo), Gabriel Rocha (El Zacatecas), María Esther López Sánchez (Tete).

Finalmente, quiero agradecer enormemente al Sr. Arnoldo Zavala Betancourt (El Tío Lolo) por su ayuda desinteresada y por ser siempre de gran apoyo en la realización del presente y otros trabajos. Así mismo a Toda su familia en particular a la Sra. Esther Ortiz (La Tía Esther), por brindarme su amistad y por recibirme junto con mi esposa e hija, en su familia y hacernos parte de ella.

DEDICATORIA

A DIOS

Quien me ha dado la vida, la fuerza y la sabiduría para trabajar día con día.

A mi padre: *Arturo García Covarubias †*

Quien siempre supo ser un gran ejemplo de vida

A mi Esposa, *Camelia Cruz* y mi Hija, *Karina García*

Quienes han sido y serán siempre el pilar principal de mi vida, el motivo de mi superación y la alegría de vivir.

A mi Hermana, *Rosa María García Martínez*

Quien en todo momento me manifestó su apoyo incondicional y desinteresado, ya que gracias a esto, en gran medida debo a ella el logro de esta y las anteriores metas académicas alcanzadas a lo largo de mi vida.

COMPENDIO

ALTERNATIVAS FORRAJERAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE EN LA ALIMENTACIÓN DE CAPRINOS

TESIS

POR:

JOSÉ EDUARDO GARCÍA MARTÍNEZ

**DOCTORADO EN CIENCIAS
EN ZOOTECNIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. FEBRERO DE 2006**

Dr. Miguel Mellado Bosque – Asesor –

**Palabras Clave: *Solanum eleagnifolium*, *Yucca carnerosana*, *Agave scabra*
cabras, ácidos grasos volátiles, metabolitos, minerales.**

Debido a que la producción caprina es de gran interés en el norte de México y los principales sistemas de explotación se basan en el pastoreo extensivo en zonas áridas y semiáridas, se consideró importante realizar esta serie de trabajos con el fin de documentar el potencial nutritivo con que cuentan algunas plantas del desierto Chihuahuense. Además, debido a la rusticidad y habilidad de las cabras para consumir una amplia gama de plantas de muy diverso valor nutricional, e incluso con altos contenidos en metabolitos secundarios, se ha considerado la necesidad de estudiar la inclusión de algunas de estas plantas en su dieta.

Se llevaron a cabo 3 experimentos, utilizándose en cada uno de ellos, 40 cabras en crecimiento (de 2 a 3 meses de edad y de aproximadamente 11 kg de peso) de genotipo indefinido. Las cabras fueron asignadas aleatoriamente a 5 tratamientos. En todos los experimentos se utilizaron dietas compuestas (mezcla de 30% forraje y 70% concentrado). La alfalfa fue sustituida por 0 (T0), 25(T25), 50(T50), 75(T75) y 100% (T100) de trompillo (*Solanum eleagnifolium*)

(experimento 1); inflorescencia de palma (*Yucca carnerosana*) (experimento 2) e inflorescencia de maguey (*Agave scabra*) (experimento 3). Todas las dietas contenían un 12% de proteína y 2.6 Mcal de EM kg⁻¹ MS. El periodo experimental fue de 56 días (experimento 2) y de 84 días (experimentos 1 y 3), con un período previo de adaptación de 7 días. Se registraron los aumentos de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, algunos metabolitos y minerales sanguíneos y ácidos grasos volátiles del fluido ruminal de las cabras. Los datos fueron analizados con ANOVA en un sentido (GLM de SAS, 1989), utilizando el peso inicial como covariable. Se utilizó, además, el procedimiento MIXED de SAS (1989) para detectar el efecto del tiempo de la colección (de líquido ruminal y sangre); y de la dieta, sobre la concentración de ácidos grasos volátiles, y de algunos metabolitos sanguíneos y minerales de los animales.

En el primer estudio se observó que el promedio de ganancia diaria de peso (PGD) decreció significativamente ($P < 0.01$) conforme se incrementaron los niveles de *Solanum elaeagnifolium* (SE) en la dieta. El máximo PGD (116 ± 22 g) fue observado para el tratamiento testigo, mientras que para el resto de los tratamientos en los cuales las cabras consumieron SE, el rango de PGD fue de 40-112 g. La principal variación en cuanto al PGD fue explicada por los niveles ascendentes de SE en la dieta ($r^2 = 0.92$), con los cuales decrece linealmente el consumo de materia seca ($P < 0.01$) y un incremento considerable en la conversión alimenticia (kilogramos de alimento/kilogramos de aumento de peso; 5.9 ± 0.9 para el testigo a 15.2 ± 9.8 para el 100% de reemplazo; $P < 0.01$). La concentración de ácidos grasos volátiles totales no fue afectada por el nivel de SE ofrecido, excepto para T100. Se observó además, una mayor concentración de glucosa y urea ($P < 0.05$) en el tratamiento testigo en comparación con el resto de los tratamientos en los cuales las cabras consumieron SE. Estos resultados sugieren que SE no constituye un forraje potencial para sustituir a la alfalfa en dietas para cabras en crecimiento estabuladas.

En el segundo estudio se observó que el PGD (90 ± 6 a 125 ± 21 g) y el consumo de materia seca (CMS; 471 ± 72 a 554 ± 44 g d⁻¹) fueron similares entre los diferentes grupos de animales que recibieron inflorescencias de *Yucca carnerosana*. Una mejor conversión alimenticia ($P < 0.05$) se observó para T0 (4.0 ± 0.4), siendo similar para T25 y T50, y más baja, y por lo tanto menos eficiente, para T75 y T100 (6.2 ± 0.4). La concentración ruminal de ácidos grasos volátiles totales (AGV) fue similar entre tratamientos (rango 60.7 a 68.3 mM, promedio de muestreo a 3 tiempos), pero las proporciones de acetato fueron mayores ($P < 0.05$) en T75 y T100 comparado con el resto de los tratamientos. En conjunto, la proporción molar de propionato fue mayor en T0 que en los demás tratamientos, y la relación acetato:propionato incrementó linealmente conforme a la inclusión de inflorescencia de *Yucca carnerosana* (IYC) en la dieta. Las cabras en T0 presentaron mayores ($P < 0.05$) niveles de glucosa, urea y colesterol que las cabras en el resto de los tratamientos. Se concluyó que el 50% de la alfalfa puede ser reemplazada (de forma segura) con IYC en la dieta de cabras en crecimiento, sin que se presente algún efecto adverso sobre el comportamiento productivo de estos animales.

En el tercer estudio se observó que no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) en cuanto al PGD entre las dietas T0 (132 ± 32 g), T25 (155 ± 22 g) y T75 (125 ± 27 g). El PGD fue significativamente menor ($P < 0.05$) en las dietas T50 (106 ± 9 g) y T100 (108 ± 23 g) en comparación con las otras dietas experimentales. El CMS no fue afectado por los niveles de inclusión de inflorescencias de *Agave scabra* (rango 3.4 a 3.6 % del peso vivo). La conversión alimenticia se incrementó en un 27 % cuando se sustituyó totalmente la alfalfa por la inflorescencia de *Agave scabra* (IAS), en comparación con la dieta testigo. Bajos valores ($P < 0.05$) de AGV fueron obtenidos para T100, en comparación con el resto de los tratamientos. La sustitución total de alfalfa por IAS resultó en un decremento ($P < 0.01$) de la proporción de propionato ruminal y un incremento de la proporción del acetato, comparado con T0. La relación acetato:propionato fue mayor ($P < 0.05$) para

T100 (3.2) con relación a T0 (2.5). No hubo efecto de tratamientos ($P > 0.05$) sobre la concentración de glucosa en suero, colesterol, proteína total, albúmina y los microelementos, pero la urea en suero decreció ($P < 0.05$) conforme se incrementó la proporción de IAS en la dieta. Estos resultados demuestran que la IAS en la dieta de cabras en crecimiento no afecta el PGD y el CMS (comparando el testigo vs. T100), sin embargo la IAS compromete la eficiencia alimenticia cuando se sustituye la alfalfa al 100%.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Calidad y Valor Nutritivo de los Forrajes	3
Conceptualización de la Calidad del Forraje	4
Calidad Nutritiva del Forraje	5
Valor Nutritivo del Forraje	7
Composición Química	7
Digestibilidad	9
Consumo	11
Valor Forrajero Relativo	14
Interacción Entre Plantas y Herbívoros	16
Interacción Ofensiva-Defensiva Entre Herbívoros y Plantas	18
Modo de Acción de las Defensas Químicas	21
Respuesta de las Plantas a los Herbívoros	22
Respuesta de los Herbívoros a las Plantas	23
Aleloquímicos en las Plantas de Pastizal	28
Aleloquimia	28
Naturaleza de los Agentes Aleloquímicos	30
Mecanismos de Acción de los Aleloquímicos	30
Resistencia de las Cabras a los Aleloquímicos	31
Factores Anti-Calidad en las Plantas de Pastizal	32
Impacto Económico de los Factores Anti-Calidad	33
Características Estructurales Anti-Calidad en las Plantas	34
Respuesta de los Herbívoros a los Factores Anti-Calidad	35
Efecto de los Factores Anti-calidad Sobre la Reproducción	36
Utilización de Agaváceas y Solanáceas en Zonas Áridas en el Norte de México	38
Agaváceas	39
<i>Yucca</i>	39

Usos de la <i>Yucca</i>	40
<i>Agave</i>	45
Usos del <i>Agave</i>	45
Solanáceas	47
Morfología Botánica del Trompillo	48
Principio Toxico del Trompillo	49
Solanina	50
Sintomatología Toxica de la Solanina	52
El Trompillo en la Dieta de las Cabras	52
El Trompillo en la Elaboración de Quesos	53
Uso de las Solanaceas en la medicina alternativa	54
Otros usos de las Solanaceas	54
ARTÍCULOS	56
Artículo 1. Effects of substituting alfalfa with forage of <i>Solanum elaeagnifolium</i> in diets for growing kids.	57
Artículo 2. Effects of replacement of alfalfa by inflorescences of <i>Yucca carnerosana</i> in the diet on performance of growing kids.	72
Artículo 3. <i>Agave scabra</i> flowers as a feed resource for goats.	87
CONCLUSIONES	100
LITERATURA CITADA	102

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense se caracterizan por una baja precipitación pluvial y una elevada evaporación, donde la principal limitante para producción pecuaria es el agua. Sin embargo, la vegetación nativa esta perfectamente adaptada a dichas condiciones. Dentro de la vegetación de estas zonas, existen algunas plantas que crecen durante la época de sequía, debido a que cuentan con adaptaciones especiales relacionadas con el acceso y la retención del agua. Algunas de estas plantas incluso, pueden soportar el sol calcinante sin recibir agua hasta por dos años, y otras tienen la capacidad de presentar hojas solamente cuando llueve, para fotosintetizar, y días después, dejarlas caer para evitar la pérdida de agua.

Por otra parte, las actividades tradicionales, como la ganadería extensiva, han tenido un impacto desastroso para el desierto, por su sobreexplotación, y por lo tanto, es necesario fomentar el uso de plantas que, por su capacidad de crecimiento durante la época crítica, representan una buena alternativa para la alimentación de los rumiantes en pastoreo. Sin embargo poco se sabe acerca de cómo utilizarlas para evitar una posible intoxicación del animal, ya que éstas además, han desarrollado algunos mecanismos de defensa, tales como la producción de metabolitos secundarios que las protegen del consumo de los herbívoros.

En general, los caprinos en pastoreo están expuestos a deficiencias nutritivas, principalmente de minerales, aunque en ocasiones y dependiendo de la estación del año, se pueden presentar deficiencias de proteína y/o energía. Esto se debe a que los cambios estacionales y lo largo del período de

dormancia de las plantas afectan la composición nutritiva de los forrajes. Sin embargo, en estas zonas, afortunadamente existen plantas que durante la época de sequía, al contrario de otros forrajes, aportan una cantidad considerable de nutrientes. Como ejemplo, podemos mencionar: la palma (*Yucca carnerosana*) cuya flor puede ser utilizada para el consumo animal; el maguey (*Agave scabra*) del cual pueden usarse tanto las hojas (pencas) como el escapo floral, mismo que al presentarse indica que la planta está a punto de morir, por lo que es necesario utilizarla de inmediato para evitar que perezca; además de estas Agaváceas, existen algunas Solanáceas, que crecen en abundancia como el trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) el cual en ocasiones se subutiliza por el temor que se tiene de intoxicar a los animales, ya que se sabe contiene cantidades considerables de solanina.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio, fue determinar el valor nutricional de 3 plantas forrajeras del desierto Chihuahuense: inflorescencia del maguey (*Agave scabra*), inflorescencia de la palma (*Yucca carnerosana*) y la herbácea trompillo (*Solanum elaeagnifolium*). Determinar el nivel de reemplazo de la alfalfa con estos forrajes en dietas para cabras en crecimiento. Determinar la relación entre el nivel de consumo de estos forrajes y la concentración de metabolitos sanguíneos; así como su relación con la producción de ácidos grasos volátiles.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Calidad y Valor Nutritivo de los Forrajes

Los pastizales constituyen alrededor del 47% de la superficie terrestre (Williams, 1968) y representan la fuente de nutrientes más barata para los herbívoros, sin embargo, dada su naturaleza, éstos no pueden ser utilizados directamente por el hombre, quien debe hacer uso de dichos nutrientes en forma indirecta mediante el uso de animales rumiantes, los cuales son más eficientes como transformadores de estos materiales a productos de consumo humano y a un bajo costo. Para tratar de hacer más eficiente el proceso de transformación se requiere de un manejo adecuado del pastizal y del animal, por lo que el uso apropiado de algunas herramientas tales como la nutrición resulta benéfica. De tal forma que el interés principal de la nutrición en pastoreo es el estudio de la relación nutricional entre la planta y el animal rumiante como parte de un ecosistema que involucra el flujo de energía fotosintética.

Por otro lado, la productividad de los animales en pastoreo depende en gran medida de la cantidad y la calidad del forraje disponible, así como de su valor nutritivo, además de otros muchos factores tales como la composición botánica del pastizal, de la variación de especies y nutrientes a lo largo del año, del tipo de animales y de sus hábitos de pastoreo y de la interacción entre el animal y la planta, entre otros (Van Soest, 1982).

Todos los factores antes mencionados son de gran interés, sin embargo, se considera que el principal problema en los estudios de nutrición en pastoreo es el cambio constante de calidad y valor nutritivo del forraje, por lo que es

conveniente estudiar estos temas con más profundidad, sabiendo la complejidad de los mismos. De hecho para conocer la calidad y el valor nutricional del forraje del pastizal, se hacen estimaciones a partir de algunos métodos y técnicas consistentes en observaciones, muestreos y análisis de laboratorio.

2. 1. 1. Conceptualización de la Calidad del Forraje

La calidad del forraje es un término relativo y muy complejo. Para comprenderlo primeramente debe discutirse lo que se entiende por calidad y ello dependerá de la perspectiva individual que se tenga del forraje. Es decir, dependiendo de la disciplina o perfil profesional e incluso ocupación, será diferente el concepto de calidad del forraje.

Desde una perspectiva nutricional la calidad del forraje relaciona el valor nutricional con la capacidad de éste para convertirse en carne, leche o grasa. Es decir la calidad está en función del consumo y el incremento en la digestibilidad (<http://forages.orst.edu.topics/description.cfm?TopID=325>). Sin embargo, desde la perspectiva de un productor de leche la mejor definición de calidad del forraje es mucho mas práctica: “Leche en la tina” (Moore y Sollenberger, 2002), dicha definición aunque parece muy simple, es en realidad bastante compleja ya que involucra el valor nutritivo y el consumo para poder producir, es decir, se considera la composición química y su digestibilidad, así como el consumo y por lo tanto la eficiencia en la utilización del forraje (Mott, 1976). Por lo tanto, podemos decir que la calidad del forraje se refiere a que tan bueno es el consumo de éste y cuan eficientemente los nutrientes que contiene son convertidos a producto animal (Linn y Martín, 1999). Lo anterior aunque desde la perspectiva de un productor de forrajes sería muy semejante definiendo la calidad como la capacidad del forraje para producir una respuesta animal deseada (<http://www.animalrangeextention.montana.edu>) ya que para dichos productores, el principal objetivo deberá ser producir forrajes de mayor

calidad cada año y por lo tanto, considerar la combinación de todos los elementos que afectan el valor nutritivo y el subsiguiente comportamiento animal, incluyendo el consumo potencial del forraje, la digestibilidad y la composición química.

Al parecer la mayoría de los autores coinciden en que definir la calidad del forraje es bastante complejo, sin embargo, casi todos ellos optan por definiciones simples y prácticas. Para Caddel y Allen (2002) la mejor y la más simple medida de la calidad del forraje es la productividad animal ya que consideran que está afectada por el consumo, la digestibilidad y la eficiencia en la utilización. Ball *et al.* (2001) sugieren definir la calidad como la dimensión a la cual un forraje tiene el potencial para producir una respuesta animal deseada. Linn y Martín (1999) definen la calidad como el consumo de forraje en relación a la eficiencia de sus nutrientes para convertirse a producto animal. De hecho, durante el Quinto Simposium Internacional sobre Nutrición de Herbívoros se acordó considerar como último criterio para valorar la calidad de los forrajes, su potencial para apoyar el mantenimiento y la producción animal (Coleman *et al.*, 1999), lo cual no difiere de la propuesta hecha hace muchos años por Blaxter (1956) quien definió la calidad del forraje como su bondad para promover o sostener algún grupo de actividades metabólicas del organismo animal; o de la hecha por Mott (1959) quien consideraba desde entonces que la calidad de un forraje podía ser entendida en términos del comportamiento animal.

2. 1. 2. Calidad Nutritiva del Forraje

Tal como fue señalado por Mott (1959), la calidad del forraje puede ser evaluada a partir del comportamiento animal, en virtud de que éste está dado en función al valor nutritivo y de la velocidad a la cual el forraje es consumido por el animal, asumiendo que el potencial del animal no es limitante, que no existen restricciones en la disponibilidad de forraje y que no existen fuentes

adicionales de energía y proteína. Tomando en cuenta que la mayoría de los rumiantes en pastoreo, en nuestros sistemas de producción extensiva dependen casi exclusivamente del pastizal, podemos considerar que la calidad del forraje determina en gran medida el estado nutricional del animal (Ortega y González, 1998) y por lo tanto se condiciona su comportamiento productivo. Sin embargo, aún cuando la productividad animal es considerada como una buena medida de la calidad del forraje ya que dicha productividad esta afectada por el consumo, la digestibilidad y la eficiencia en la utilización de los nutrientes; evaluar la calidad de un forraje mediante la productividad animal resulta bastante complejo (Caddel y Allen, 2002).

Por otro lado, López (1993) considera que el producto de la tasa de ingestión por la eficiencia en la utilización de lo consumido resulta en la expresión más simple para estimar la calidad del forraje. Por lo tanto, al estudiar las relaciones tróficas de los herbívoros deben considerarse tres aspectos básicos: 1) La identificación y distribución de las especies vegetales, 2) La cuantificación del consumo de nutrientes y 3) la eficiencia en la utilización de los nutrientes por parte del animal (López, 1991).

Lo anterior no es nada sencillo dada la gran diversidad de plantas forrajeras y su enorme variabilidad en composición química y por lo tanto en digestibilidad aun sin considerar lo difícil y costoso de estimar el consumo voluntario de forraje, por lo que regularmente dichos estudios se hacen incompletos al no considerar los tres aspectos básicos antes mencionados dando lugar a interpretaciones sesgadas de la calidad del forraje y su relación con la productividad animal. De hecho, para López (1991), una deficiencia muy común en la mayoría de los estudios sobre comportamiento alimenticio, es la ausencia en la estimación del consumo de nutrientes, ya que no es suficiente conocer la concentración de nutrientes en el forraje si no sabemos su tasa de ingestión.

Al respecto, Gutiérrez (1991) menciona que la calidad del forraje debe ser una medida biológica y no física o química. Por lo que deben relacionarse aspectos como palatabilidad, consumo, digestibilidad, contenido de nutrientes, factores antinutricionales, y comportamiento animal (Ball *et al.* 2001). Este último depende de la compleja relación planta-animal y sus respectivos potenciales y factores involucrados,

2. 1. 3. Valor Nutritivo del Forraje

Uno de los principales problemas para los manejadores de pastizales, lo representa la determinación de valor nutritivo de las plantas que los animales consumen en el pastizal, ya que con esta información se busca eficientizar la producción animal (Holechek *et al.*, 1982).

Como se ha señalado anteriormente, el valor nutritivo es fundamental para estimar la calidad del forraje, y es caracterizado, según Mott y Moore (1985), por la composición química, la digestibilidad y la naturaleza de los productos digeridos.

2. 1. 3. 1. Composición Química

Consiste en analizar muestras de forraje donde los principales grupos de nutrientes son: proteína, carbohidratos, lípidos, minerales y vitaminas. Para ello existen muchos métodos que permiten determinar el contenido específico de nutrientes conocido como análisis proximal, el cual ha recibido muchísimas críticas por parte de nutricionistas (Church, 1991), ya que presenta muchas deficiencias para predecir o evaluar los alimentos principalmente destinados a rumiantes, ya que algunos de sus componentes no representan fracciones químicas o nutritivas con un comportamiento definitivo en la fisiología digestiva del rumiante (Llamas y Tejada, 1990). Por ejemplo, la fibra cruda recupera

únicamente una fracción del material fibroso del forraje y los ELN incluyen parte de esta fibra y no sólo carbohidratos solubles (Van Soest, 1967). Por lo anterior, se han propuesto métodos alternativos que facilitan el análisis de los forrajes.

Uno de estos métodos alternativos que ha tenido mucha aceptación ya que se basa en la separación de forraje en diferentes fracciones, de acuerdo a su composición química, mediante solubilizaciones empleando detergentes, es el análisis de forrajes por el sistema de fracciones de fibra (Van Soest, 1967) el cual ha sufrido algunas modificaciones (Goering y Van Soest, 1970), y aunque es muy flexible resulta bastante costoso. Sin embargo, este método representa una mejor herramienta si lo comparamos con la determinación de fibra cruda (FC) cuyo concepto ha sido rebasado totalmente, aunque desgraciadamente todavía hay muchos autores que reportan el contenido de FC asumiendo una estrecha relación de esta fracción con la calidad del forraje (Gutiérrez, 1991).

En el caso de la proteína cruda (PC), ésta es considerada como el nutriente más importante, dado que la más ligera deficiencia de este componente de los alimentos afecta enormemente los procesos fisiológicos del animal. Por ello, una gran cantidad de autores consideran que el contenido de PC es el causante directo de la calidad del forraje, lo cual, como ya se discutió anteriormente, no tiene sustento. De hecho si preguntásemos acerca de la calidad de un forraje mucha gente respondería con un porcentaje de PC (Moore y Sollenberger, 2002).

De todas formas, el análisis químico ofrece ventajas al ser empleado como un indicador del valor nutritivo del forraje, aunque éste no puede ser aceptado totalmente como un indicador confiable del valor del forraje para el animal (Stoddart *et al.*, 1975).

Por lo anterior, se debe ser cautelosos en cuanto al uso de la composición química como único indicador del valor nutricional del forraje, y

mucho menos, como indicador de su calidad, ya que, aún en condiciones de estabulación, resulta demasiado aventurado utilizar el análisis químico como indicador del valor de forraje, con mayor razón en sistemas extensivos (Stoddart *et al*, 1975).

Por otro, lado los análisis químicos pueden ser realizados tanto por los métodos tradicionales, a través de procedimientos químicos con reactivos en laboratorio, lo cual resulta bastante lento, o bien con la ayuda de técnicas a partir de luz que permiten una determinación bastante rápida y confiable, con el uso de espectroscopios de reflectancia cercana al infrarrojo (NIRS). Este es un método computarizado rápido y de bajo costo con capacidad de determinar varios compuestos químicos simultáneamente, si se calibra apropiadamente, además de ser un método no destructivo (Hennig *et al.*, 1996; Blezinger, 2002).

2. 1. 3. 2. Digestibilidad

Aunque el análisis químico es el punto de partida para determinar el valor nutritivo del forraje, es necesario realizar pruebas de digestibilidad, para mejorar el criterio de valoración ya que los nutrientes que no son digeridos no podrán ser utilizados por el animal (Gutiérrez, 1991).

La definición más simple de digestibilidad es: “La medición de la cantidad de nutrimentos, que después de pasar por el tracto digestivo no aparecen en las heces”, y su propósito principal es la evaluación comparativa del alimento a partir de coeficiente de digestibilidad (Rodríguez y Llamas, 1990). Estos valores nos indican la disponibilidad de nutrientes para los animales, contenidos en el alimento consumido y representan una mejor evaluación del valor del forraje del pastizal, ya que indican la porción de los nutrimentos con potencial de ser utilizados por el animal (Gutiérrez, 1991).

Se conoce como determinación de la digestibilidad al conjunto de procedimientos de campo, laboratorio, matemáticos y/o estadísticos encaminados a encontrar los coeficientes de digestibilidad, conocidos como digestibilidad aparente, ya que el concepto de digestibilidad verdadera es meramente teórico, debido a que para su determinación sería necesario diferenciar los componentes que aparecen en las heces pero que no son de origen alimenticio sino metabólico, con excepción de los carbohidratos estructurales, ya que los animales no contienen paredes celulares, aunque esto también es teórico (Rodríguez y Llamas, 1990).

Existen revisiones acerca de las técnicas para determinar la digestibilidad (Castellanos *et al.*, 1990), sin embargo tradicionalmente los estudios con animales confinados en jaulas metabólicas sirven para cuantificar lo consumido y lo excretado (Stoddart *et al.*, 1975), lo que se conoce como digestibilidad *in vivo*. Otra metodología muy frecuentemente usada es la de Tilly y Terry (1963) que consiste en la digestión en dos fases, de muestras inoculadas con líquido ruminal en laboratorio, por lo que recibe el nombre de digestibilidad *in vitro*. Además de las técnicas anteriores, existe otra técnica muy usada que consiste en colocar el forraje dentro de bolsas de nylon e introducirlas al rumen de animales fistulados y canulados, cuyos resultados se basan en la interpretación de la desaparición del material introducido a la bolsa después de un tiempo determinado; a esta técnica se le conoce como digestibilidad *in situ* (Llamas y Tejada, 1990).

Cabe señalar que los coeficientes obtenidos con niveles de mantenimiento de los animales no son recomendables dada su variación con respecto al nivel nutricional; sin embargo, como es difícil realizar pruebas *in vivo*, se recomienda usar *in vitro* o *in situ* (Rittenhouse *et al.*, 1971) aunque si pudiese uniformizarse la metodología para estas pruebas, tendríamos determinaciones susceptibles de comparación y análisis en conjunto, con la

ventaja de detectar el gradiente de afectación de los factores ajenos al procedimiento (Rodríguez y Llamas, 1990).

Por otro lado, los coeficientes de digestibilidad no son el mejor indicador del valor nutritivo y mucho menos de la calidad del forraje, pero como anteriormente se ha manifestado, es una parte importante para determinarlos.

2. 1. 3. 3. Consumo

Tal como lo señalan Raymond (1969) y Moot (1976), la calidad del forraje puede ser evaluada en términos del valor nutricional y su relación con el consumo. En consecuencia, es necesario, además de conocer la naturaleza de los cambios en el valor nutritivo del forraje, estudiar los efectos de éste sobre el consumo y por lo tanto sobre el comportamiento animal (Sánchez, 1990).

La principal justificación para realizar estudios sobre el consumo voluntario del forraje se basa en que el estado nutricional del animal en pastoreo, pudiera afectarse por una disminución del consumo por el bajo valor nutritivo del forraje, de tal manera que si pudiese manipularse el consumo, sería posible mejorar la productividad (Chávez, 1995). De hecho, el estudio de los mecanismos que regulan el consumo de alimento así como su manipulación, datan de más de 3 décadas, concluyendo que el entendimiento del consumo voluntario y su manipulación serían completos sólo cuando se conociera el control de los factores y mecanismos que en él intervienen (Forbes, 1995). Al respecto, se sabe que son muchos los factores que regulan el consumo, sin embargo, de acuerdo al NRC (1984; 1987) y a Reid *et al.* (1988), los principales son: a) aquellos que tienen una relación directa con la dieta (distensión y pH del rumen; y su concentración de ácido acético, así como la tasa de ingreso de ácido propiónico al hígado) y b) los metabólicos, que están regulados por el sistema nervioso central (demanda de nutrientes para mantenimiento y producción). Sin embargo, para Blaxter (1962) el factor de mayor influencia

sobre el consumo de alimento es el contenido nutricional, considerando al nitrógeno como el elemento de mayor influencia, ya que si el contenido de PC se reduce por debajo de 10%, se disminuye la tasa de pasaje por estar el animal en balance negativo, y por el contrario, si el contenido de PC es superior al 10%, entonces de acuerdo a Weston (1967) el consumo será afectado por otros metabolitos más que por el nitrógeno. También el contenido de FC se ha relacionada estrechamente con el consumo voluntario, y se piensa que la fibra tiene un efecto restrictivo de la capacidad retículo-ruminal, condicionando por lo tanto las tasas de pasaje y absorción; lo anterior tiene sentido ya que al incrementarse el contenido de FC de un forraje el animal que lo consume experimentará una disminución en la tasa de pasaje, lo cual limita su tasa de consumo y su tasa de absorción de nutrientes. Lo anterior coincide aparentemente con las teorías acerca del control del consumo conocidas hasta hace algunos años, las cuales indican una intervención directa del sistema nervioso central (SNC) sobre los mecanismos de apetito y saciedad, de acuerdo a la parte del hipotálamo que sea estimulada por algún compuesto químico o agente físico como la glucosa, lípidos, temperatura ambiental, etc. Surgiendo de ahí los nombres de las diferentes teorías (glucostática, lipostática, termostática, etc.); sin embargo, al parecer son otros los mecanismo involucrados en la regulación del consumo de alimento, de tal forma que en la actualidad se sabe que mas que las teorías antiguas, lo que tiene un considerable efecto a nivel SNC son una gran variedad de hormonas. Llama la atención que éstas, en su mayoría, son producidas en el tejido adiposo, lo cual es contrario a lo que anteriormente se pensaba acerca de que dicho tejido era prácticamente inerte. Son muchas las hormonas involucradas en los mecanismos de regulación del consumo de alimento, algunas participan incrementándolo y otras disminuyéndolo, sin embargo las de mayor actividad son: Leptina, Neuropeptido "Y" (NPY), la proteína relacionada con el color roano (AgRP), la hormona concentradora de melanina, orexina y el transcriptor-regulador de cocaína y anfetaminas, todas estas descubiertas muy recientemente (Matteri, 2001). Al respecto, Ingvarsen y Boisclair (2001) consideran que el arranque del

mecanismo es responsabilidad de la leptina en el tejido adiposo, el cual prácticamente tiene como objetivo fundamental deprimir el consumo, bloqueando o disminuyendo los neuroreceptores encargados de estimular el consumo a partir de NPY y AgRP.

Por otro lado, existe un gran número de técnicas para cuantificar el consumo de alimento, todas ellas, con ventajas y desventajas en precisión, tiempo y costo, por lo que no se tiene la determinación exacta o ideal, lo cual obliga a trabajar a partir de estimadores o índices para condiciones de agostadero. Al respecto, se han desarrollado múltiples metodologías, sin embargo, existe una considerada como estándar por ser la más precisa a pesar de su costo, en ella se relaciona la cantidad total de heces por unidad de tiempo con la porción digestible de la ingesta (Córdova *et al.*, 1978; Allison, 1985). Dicha metodología implica determinar dos variables: 1) la producción diaria de heces y 2) la digestibilidad de la dieta del animal. Lo anterior permite a partir de fórmulas, obtener el consumo estimado (Hudgson y Rodríguez, 1970).

Lo anterior implica conocer la digestibilidad para estimar el consumo, lo cual seguramente tendrá un sesgo al momento de determinar la calidad del forraje, recordando que ésta se obtiene a partir del valor nutritivo (digestibilidad, composición química y naturaleza de los productos digeridos) y el consumo, y en dicha metodología se estima el consumo a partir de digestibilidad, entonces los resultados dejan mucho que desear.

Por todo lo anterior, se debe seguir buscando mejores alternativas, sobre todo para la estimación del consumo de alimento, ya que dicho punto es muy importante para entender la calidad del forraje, pero para animales en pastoreo resulta difícil cuantificar y sus resultados pudieran no ser plenamente confiables.

2. 1. 4. Valor Alimenticio Relativo

Existe una alternativa moderna para la estimación de la calidad de los forrajes diseñada originalmente para especies de corte, sin embargo, puede representar una buena alternativa si se estudia y adapta para los forrajes de agostadero, con la enorme ventaja de ser muy simple y económica. Además, debemos recordar que la calidad del forraje, según Moot (1976), depende del consumo y del valor nutritivo, éste último caracterizado por la composición química, la digestibilidad y la naturaleza de los productos digeridos, sin embargo, este último concepto no es considerado por ninguno de los autores revisados, al parecer por la complejidad del mismo. Aparentemente es aquí donde éste toma importancia, sobre todo si sabemos que las células de las plantas se dividen en dos partes, conocidas como contenido celular y pared celular. El contenido celular es fácilmente digestible y corresponde a la porción que se encuentra envuelta por la pared celular. Dicho contenido celular incluye la proteína cruda (ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas y otros compuestos nitrogenados), azúcares, almidón y lípidos (grasas). Por el contrario, la pared celular está constituida por material de difícil digestión conocido como fibra, y que consta de hemicelulosa, celulosa y lignina. Estas partes son muy utilizadas en reportes de análisis de forrajes y se conocen como fracciones de fibra (Lyons *et al.*, 1999). De hecho tanto la fibra detergente ácido (FDA) como la fibra detergente neutro (FDN) son empleadas como indicadores de digestibilidad y consumo, respectivamente, para luego obtener el valor alimenticio relativo (o valor relativo del alimento) (VAR) con lo cual al parecer en los últimos años ya se considera la naturaleza de los productos digeridos, de la cual hablaba Moot (1976). Al respecto, Marten *et al.* (1988) consideran que el comportamiento animal está influenciado directamente por la compleja relación planta-animal, la cual a la vez, depende de dos grandes factores que son: 1) el comportamiento animal potencial, conformado por factores genéticos, ambientales y fisiológicos; y 2) el valor forrajero potencial, conformado por el valor nutritivo, el consumo y factores anti-calidad. Éstos últimos como se sabe,

son muchos pero algunos de ellos de gran importancia son sin lugar a dudas las altas concentraciones de fracciones de fibra.

El VAR es definido por Ball *et al.* (2001) como un indicador de la calidad del forraje, basado en la combinación de la digestibilidad y el consumo potencial, calculados a partir del contenido de fracciones de fibra. El VAR es usado para comparar un forraje con otro en base a su energía, esto derivado de su digestibilidad la cual es calculada a partir de su contenido de FDA y su consumo potencial calculado a partir de su contenido de FDN (Henning *et al.* 1996; Blezinger, 2002). Para propósitos de comparación se considera como estándar a la alfalfa madura (floración completa), la cual presenta un VAR = 100, lo cual significa que, si por ejemplo un forraje "X" tiene un VAR = 125, entonces se considera que dicho forraje contiene 25 % más energía que la alfalfa madura.

El VAR ha ganado bastante aceptación entre compradores y vendedores de forraje como el mejor indicador y mas simple de la calidad del forraje. Sin embargo, es necesario aclarar que el VAR no es el único estimador de la calidad, ya que no indica el contenido de proteína ni las características físicas del forraje, las cuales deberán ser evaluadas por separado (Caddel y Allen, 2002).

Como ya se mencionó, para el cálculo del VAR es necesario estimar la digestibilidad y el consumo potencial del forraje, esto a partir de sus contenidos de FDA y FDN, respectivamente. Tanto en estudios de laboratorio como con animales, se ha observado que la FDA esta altamente relacionada con la digestibilidad de un forraje y que los factores que incrementan el contenido de FDA decrecen la digestibilidad (Linn y Martin, 1999).

La fórmula aceptada para la estimación de la digestibilidad de la materia seca (DMS) a partir de la FDA es la siguiente: $DMS (\%) = 88.9 - 0.779 \text{ FDA } (\%)$ (Linn y Martin, 1999; Caddel y Allen, 2002).

Por otro lado, Linn y Martin (1999) consideran que la cantidad de materia seca que un animal puede consumir es afectada en gran medida por la rapidez con que el forraje es digerido a través del paso por el canal digestivo (tasa de digestión) y que la fracción de fibra más claramente relacionada con el consumo de materia seca es la FDN.

La ecuación para la estimación del consumo de materia seca (CMS) expresado como porcentaje del peso vivo (PV), a partir de la FDN es la siguiente: $CMS (\% \text{ PV}) = 120 / FDN (\%)$ (Linn y Martin, 1999; Caddel y Allen, 2002).

Con la ayuda de la ecuación anteriores, es posible calcular el VAR a partir de cualquiera de las siguientes: $VAR = DMS (\%) \times 0.775 \text{ CMS } (\%)$ (Caddel y Allen, 2002); $VAR = (DMS (\%) \times CMS (\%)) / 1.29$ (Linn y Martin, 1999). Ambas fórmulas arrojan los mismos resultados.

Aunque los cálculos son muy simples pueden resultar tediosos, por lo que se cuenta con tablas de cálculo que nos pueden facilitar el trabajo con sólo conocer los valores de FDA y FDN del forraje para obtener el respectivo VAR. Hay que recordar que el VAR es sólo un indicador, por lo que no tiene significado nutricional, y sólo da idea de la digestibilidad y una estimación del consumo potencial del mismo.

2.2. Interacción entre Plantas y Herbívoros

A lo largo del proceso de evolución, en las plantas se han desarrollado toda clase de mecanismos para tratar de mantener el equilibrio en la interacción

planta-herbívoro. Por su parte, en los herbívoros han ido apareciendo adaptaciones fisiológicas y etológicas que han permitido reducir el efecto perjudicial de las defensas de las plantas, principalmente de los compuestos secundarios. Paradójicamente, estos compuestos secundarios han sido durante mucho tiempo ignorados en los estudios de nutrición. En la actualidad, sin embargo, se comienza a valorar su marcada incidencia en la producción agrícola y ganadera, especialmente en aquellos sistemas basados en el aprovechamiento de pastos.

Al contrario de los que se creía anteriormente, las plantas no obtienen ningún beneficio al ser consumidas parcialmente por los animales. Al respecto, se pensaba que esto ayudaba al rebrote y de esta forma la planta se beneficiaba en simbiosis con el animal. Ahora se sabe que en realidad la planta no obtiene ningún beneficio y sólo responde al daño ocasionado, alterando sus patrones de crecimiento y floración, pero las pérdidas por herbivoría son costosas para la planta en términos de una considerable disminución en la capacidad fotosintética, soporte mecánico, biomasa y reservas energéticas necesarias para la reproducción y sobrevivencia (Seigler y Price, 1976).

Debido a esto, las plantas han evolucionado creando mecanismos de defensa para reducir el daño causado por los herbívoros. Algunas de estas defensas son físicas, desde espinas hasta fibras que las defienden disminuyendo la capacidad de digestión de los herbívoros vertebrados, aunque la mayoría de sus defensas son químicas, tales como terpenos que reducen la presión de pastoreo (Turlings *et al.*, 1995), algunos glucósidos cardíacos (Malcom, 1991), o algunos compuestos irritantes o cianogénicos que reducen la masticación (Poulton, 1990). Estos son solo algunos ejemplos del enorme arsenal químico de las plantas.

Sin embargo, los herbívoros requieren obtener los nutrientes necesarios para crecer y sobrevivir, de las plantas y sus tejidos. Por lo tanto, también han

desarrollado algunos mecanismos de defensa para contrarrestar o minimizar el daño ocasionado por las defensas de las plantas que éstos consumen. Los herbívoros han aprendido a defenderse de las plantas, pero hay algunas que aún en pequeñas cantidades contienen dosis subletales de defensas químicas, por lo que los animales aprenden a consumir una dieta muy variada, aunque en ocasiones sufren severas intoxicaciones (Popovich *et al.*, 1977). Dentro del aprendizaje del animal, la edad juega un papel importante, ya que por ejemplo, las cabras jóvenes muestran un menor consumo de plantas con espinas, en comparación con las cabras adultas (Mellado *et al.*, 2004). Dicha selección está basada en un proceso de aprendizaje tipo prueba/error (Provenza, 1995).

Los herbívoros pueden además, desarrollar mecanismos de desintoxicación que les permite consumir algunas plantas, o cantidades de éstas, las cuales contienen compuestos tóxicos (Boyle *et al.*, 2000), o también pueden consumir antídotos terapéuticos en contra de la ingestión de toxinas (Gilardi *et al.*, 1999).

2. 2. 1. Interacción Ofensiva-Defensiva entre Herbívoros y Plantas

Según Rhoades (1985), son muchas las especies de herbívoros que presentan una amplia variación a través del tiempo, en el número de individuos de su población. Dichas poblaciones en algunos casos permanecen con un bajo número de individuos al año, resurgiendo considerablemente a intervalos irregulares. Sin embargo, otras especies son bastante regulares en sus ciclos. Por lo tanto, dichas variaciones poblacionales han despertado el interés de los ecologistas en los últimos años. Generalmente, éstas se han atribuido a la combinación del clima y la competencia, ya que el primero induce a cambios en natalidad y mortalidad de los herbívoros, y la segunda provoca diferentes grados de depredación, parasitismo, y enfermedades, al luchar por el alimento. Sin embargo, los modelos matemáticos poblacionales que se basan sólo en estos factores clásicos se han alejado de una predicción real y exitosa de la

tendencia poblacional. Lo anterior se debe a que éstos consideran a las plantas como participantes pasivos, lo cual actualmente ha sido desmentido gracias a las muchas evidencias encontradas en cuanto a la interacción de las plantas y los herbívoros, las cuales demuestran que las plantas están defendiéndose del ataque de los herbívoros, que incluso la calidad nutricional de las plantas para los herbívoros puede variar como una función de estrés fisiológico de la planta y el grado de experiencia del herbívoro por la planta, y que la comunicación defensiva entre las plantas existe. El autor hace una revisión de estas evidencias y postula que la inmunidad adquirida por parte de las plantas puede ser un importante componente de defensa del ataque de los herbívoros. Además, considera la existencia de dos estrategias alternativas por parte de los herbívoros en contra de los sistemas defensivos de las plantas, y que éstas expliquen la variabilidad en los niveles poblacionales de algunos herbívoros, y la relativa invariabilidad en algunas otras especies de herbívoros.

Por otro lado, la existencia de organismos productores conlleva a la evolución de los organismos consumidores. Los primeros tienen propiedades que los hacen menos atractivos como presas, lo cual representa una ventaja relativa, ya que la depredación de los consumidores sobre los productores lleva a la evolución de adaptaciones defensivas en éstos. Sin embargo, también los consumidores tienen propiedades para vencer las defensas de sus presas, lo cual es considerado como una ventaja, ya que lleva a la evolución de adaptaciones ofensivas por parte de los consumidores. Estas adaptaciones ofensivas y defensivas, sucesivamente sufren retroalimentación selectiva para amplificar la defensa de las plantas y la ofensiva de los herbívoros, esto mediante un control metabólico (Rhoades, 1979).

Los metabolitos secundarios son los responsables de proteger a las plantas del ataque de los herbívoros, además de ser usados para interferir con el crecimiento o la germinación de otras plantas competidoras. Estos compuestos defensivos desalientan al consumidor, o en su caso lo intoxican.

Algunos de éstos, como los alcaloides y los cianógenos tienen acción tóxica directa, mientras que otros, como taninos y lignina, actúan reduciendo la digestibilidad de la planta. Sin embargo, para impedir los efectos nocivos de estas sustancias, los herbívoros han desarrollado mecanismos desintoxicadores, tales como conversión metabólica de estas sustancias a derivados menos tóxicos para la posterior excreción del metabolito, o bien su conjugación. Pero las plantas poseen además defensas inducidas en contra de los herbívoros, ya que pueden cambiar sus propiedades químicas haciendo sus tejidos menos apropiados para el crecimiento y desarrollo de los herbívoros que las consumen, como castigo por el daño causado. De hecho, existen respuestas rápidas que afectan sólo a los herbívoros actuales, y respuestas tardías que afectan a las siguientes generaciones de herbívoros. Un ejemplo de respuesta rápida es la acumulación de fenoles o terpenos en las hojas de las plantas después de un daño, mientras que una respuesta tardía puede ser la acumulación de fibra, taninos o sílice. Las sustancias defensivas de las plantas se pueden clasificar en cuantitativas y cualitativas. Las primeras como lignina, taninos y sílice actúan dependientemente de la dosis aún en herbívoros adaptados y la planta puede obtener protección contra los herbívoros después del ataque, con sólo incrementar la dosis de dichas sustancias. Por otra parte, las segundas, tales como inhibidores específicos de enzimas o análogos de hormonas animales, aunque proveen protección contra animales no adaptados a bajas concentraciones, proveen poca protección en animales adaptados, aún a grandes dosis. Rhoades (1979), además, sugiere que las plantas que han sido atacadas emiten algún tipo de feromona que previene a las plantas vecinas, planteando con ello la teoría de la comunicación entre plantas. Sin embargo, si esta comunicación feromonal inducida por el daño a las plantas fuese común, pudiera esperarse que los herbívoros también hayan desarrollado estrategias para suprimir dicha comunicación, y sugiere que alternativamente algunos herbívoros pueden emitir feromonas en contra de las señales imitando las señales de las plantas. En síntesis, el autor propone el concepto de alternativas de ataque estratégico por parte de los herbívoros para explicar el

porqué algunas poblaciones de éstos son variables, mientras que otras no lo son. Este concepto, además, pretende explicar la fase de polimorfismo en herbívoros y sugiere que los cambios cualitativos observados en muchas especies de éstos durante las fluctuaciones poblacionales, son una incipiente fase de transición. Menciona que la dinámica poblacional de los herbívoros probablemente se entienda mejor, en términos de variación de la cantidad y calidad de plantas y herbívoros en su conjunto. En lugar de solamente en términos cuantitativos respecto a los cambios en cantidad de vegetación y número de herbívoros. Ya que en sistemas naturales, los herbívoros raramente alcanzan niveles epidémicos, debido a que usualmente consumen sólo una pequeña cantidad de la producción primaria neta, e incluso en los pastizales, en donde sólo llegan a consumir entre el 25 y 50 %. Además, el autor pone a consideración el conocimiento de los atributos defensivos de las plantas, y otros, que pueden ser razonablemente postulados para describir las dos estrategias ofensivas alternativas de los herbívoros (cautela y oportunismo) para contraatacar las defensas de las plantas.

2. 2. 2. Modo de Acción de las Defensas Químicas

La comprensión del mecanismo de acción de un compuesto químico alelopático determinado tiene varios inconvenientes. La presencia mínima de una sustancia también dificulta su recuperación para ser utilizados en estudios de efectos fisiológicos y a nivel subcelular. Estudiando un agente alelopático en particular, muchas veces es difícil diferenciar efectos secundarios de la causa primaria de acción. Los más estudiados hasta el momento en este aspecto son los compuestos fenólicos. Esto permite entender a qué partes son predominantemente transportados y en qué tejidos es factible que ejerzan su acción. Los primeros estudios de este tipo mostraron que semillas en germinación de lechuga (*Lactuca sativa*) y cebada son capaces de incorporar cumarina y los ácidos cinámico, cafeico y ferúlico. Desgraciadamente, no se

han utilizado moléculas marcadas con radioisótopos para la mayoría de los agentes alelopáticos (Reigosa *et al.*, 1996).

2. 2. 3. Respuesta de las Plantas a los Herbívoros

En una revisión hecha por Matches (1992), se menciona que algunos factores como: la frecuencia y severidad del pastoreo, el pisoteo, el método de prehensión, la especie animal, la deposición de excremento y la saliva, influyen sobre la respuesta del forraje al pastoreo. Estos factores pueden causar cambios en la productividad y la persistencia, así como en la composición botánica, afectando el rebrote de las plantas. Al respecto, el autor señala tres hipótesis alternativas sobre como la intensidad de pastoreo puede afectar el crecimiento de las plantas. La primera, supone que la producción primaria neta (PPN) de las plantas decrece consistentemente en respuesta a la intensidad de pastoreo, es decir, a mayor intensidad menor PPN, lo cual es típico en la mayoría de los forrajes. La segunda asume la capacidad de las plantas para compensar la remoción de tejidos hasta cierto nivel, después del cual la PPN inicia su decadencia. Esto también es común particularmente en praderas con densidad moderada de forraje. Y la tercera, aunque muy interesante, resulta también la más controversial, ya que considera un crecimiento compensatorio de las plantas con un moderado nivel de defoliación, y conforme la intensidad de pastoreo incrementa la PPN decrece considerablemente. El autor además, hace una revisión de los principales factores que pueden afectar la respuesta de las plantas al pastoreo, tales como: 1) Tipo de animal, debido a los diferentes hábitos de consumo dadas sus diferencias anatómicas en cuanto a tamaño de boca, labios y método de prehensión. 2) Formas de crecimiento; éstas ayudan a las plantas a disminuir la defoliación, por ejemplo, la forma decumbente representa una mayor dificultad para los animales. 3) Intensidad de pastoreo; ésta disminuye la selectividad de los animales, sin embargo, este autor concluye que de todos modos la PPN disminuye considerablemente. 4) Pisoteo, éste puede dañar directamente los puntos de crecimiento (hojas, tallos

y raíces) e incluso destruirlos, causando además, cambios en la composición botánica. 5) Excretas de animales, generalmente éstas producen beneficios al fertilizar las praderas, sin embargo, existe también cierto grado de daño causado por la orina y heces. Y 6) Saliva animal; se cree que la tiamina presente en la saliva es responsable del incremento en el crecimiento de las plantas, aunque dicho crecimiento depende en gran medida de la intensidad de pastoreo. Finalmente, el autor concluye que la respuesta en crecimiento y composición botánica de los forrajes puede diferir de acuerdo a la especie animal y a la frecuencia de pastoreo. Y además, que la acción de pisoteo, así como los depósitos de orina, heces y en ocasiones de saliva, pueden también influir sobre el crecimiento de las plantas.

2. 2. 4. Respuesta de los Herbívoros a las Plantas

Los atributos químicos de defensa de las plantas pueden ser considerados como factores anti-calidad, ya que pueden reducir los nutrientes y energía digeribles de la planta o producir efectos tóxicos (Launchbaugh *et al.*, 2001). Sin embargo, los herbívoros poseen varios mecanismos adaptativos para aminorar los impactos de los factores anti-calidad. Los animales en agostadero dependen de un sistema sofisticado para detectar el valor nutricional o la toxicidad de las plantas relacionando el sabor de la planta con sus consecuencias digestivas positivas o negativas. Las habilidades para seleccionar la dieta aumentan por los patrones adaptativos de consumo que limitan los efectos perjudiciales de los aleloquímicos de la planta, éstos incluyen la precaución de probar nuevos alimentos, consumiendo una dieta variada y comiendo plantas de una manera cíclica, intermitente o cuidadosamente regulada. Además, los animales en agostadero poseen sistemas internos para detoxificar o tolerar la ingestión de fitotoxinas. El entendimiento de las habilidades de comportamiento y metabólicas de los herbívoros sugiere varias

prácticas de manejo del ganado para ayudar a los animales a contender contra las características anti-calidad de las plantas (Provenza *et al.*, 1992).

En los herbívoros se han desarrollado adaptaciones fisiológicas y etológicas que han permitido reducir el efecto perjudicial de los compuestos secundarios (Provenza *et al.*, 1990; Provenza, 1995). Al mismo tiempo, su peculiaridad, tanto intraespecífica como interespecífica, ha provocado que estos animales reaccionen de forma diversa ante la dosis (Duncan *et al.*, 1997) o compuestos tóxicos distintos (Cheeke y Palo, 1995). Por ejemplo, numerosas especies basan su alimentación en plantas con un elevado contenido en taninos: arbustos, árboles, etc., y prácticamente en todas ellas, se ha observado en la saliva la presencia de proteínas ricas en el aminoácido prolina (Robbins *et al.*, 1987). Este tipo de proteínas muestran una especial afinidad por los taninos formando complejos solubles tanino-proteína (Jones y Mangan, 1977; Austin *et al.*, 1989; Pérez-Maldonado *et al.*, 1995), que, al contrario de los demás complejos tanino-proteína, son estables en el rango de pH de todo el canal digestivo (Austin *et al.*, 1989), lo que contribuiría a anular el efecto adverso de los taninos en la palatabilidad, y por tanto, en la ingestión del alimento y en el proceso digestivo subsiguiente (Robbins *et al.*, 1987, 1991; Cheeke y Palo, 1995). Aunque la extensión e incidencia de las proteínas ricas en prolina en la defensa de los herbívoros frente a los taninos no parece estar muy clara (Mole *et al.*, 1990), resulta indudable que la ingestión de plantas con altos contenidos en taninos desencadena cambios morfológicos y bioquímicos en las glándulas parótidas conducentes a la producción de dichas proteínas (Mehansho *et al.*, 1992; Silanikove *et al.*, 1996). Las diferencias interespecíficas son claramente manifiestas en este terreno. Se cree, por ejemplo, que las cabras deben tener algún otro tipo complementario de mecanismo detoxificador de los taninos, ya que no presentan ninguna consecuencia lesiva, a pesar de sus conocidos hábitos ramoneadores en arbustos y árboles con alto contenido en taninos y de no secretar, de modo específico, proteínas ricas en prolina en su saliva (Cheeke y Palo, 1995; Narjisse *et al.*, 1995; Pérez-Maldonado y Norton, 1996;

Silanikove *et al.*, 1996). Un posible medio detoxificador sería el rumen, en el cual se ha identificado una cepa de la bacteria *Selenomonas ruminantium* subsp. *ruminantium* provista de enzimas con actividad taninoacilhidrolasa y, por ello, capaz de crecer en medios con ácido tánico o taninos condensados como única fuente de energía, aunque, es probable que sea necesario un consorcio de microorganismos para metabolizar los taninos (Skene y Brooker, 1995). En efecto, el medio ruminal representa un lugar eficiente de detoxificación para un amplio rango de compuestos secundarios de las plantas (terpenos, fenoles, ácidos, etc.), de modo que la toxicidad de las plantas consumidas por los rumiantes puede ser modificada significativamente después de los cambios químicos sufridos por los compuestos potencialmente tóxicos en el rumen (Duncan y Milne, 1992a,b; Domínguez-Bello, 1996).

La composición de la población microbiana del rumen es lábil y puede diferir sensiblemente entre especies, entre poblaciones, a lo largo del tiempo, y como adaptación a la ingestión de determinados compuestos en la dieta. Esto puede, evidentemente, tener una importante influencia en la transformación de los compuestos secundarios y, por ende, en la toxicidad de los alimentos (Allison y Reddy, 1984). De hecho, las diferencias interespecíficas en las reacciones metabólicas han sido señaladas como uno de los factores responsables de las diferencias interespecíficas en la selección y preferencia de la dieta (Kronberg y Walker, 1993). El metabolismo ruminal del ácido oxálico, tras un periodo de adaptación, es uno de los ejemplos que mejor se ajustan a esta teoría, habiéndose observado diferencias significativas entre especies en su ritmo de degradación (Duncan *et al.*, 1997), así como el efecto de la adaptación ruminal a este compuesto secundario en la selección de la dieta (Frutos *et al.*, 1997). El ácido tánico representaría otro ejemplo de la detoxificación gracias a las bacterias ruminales (Skene y Brooker, 1995; Silanikove *et al.*, 1996). Es probable que el mecanismo primario por el que los rumiantes pueden tolerar altos contenidos de taninos en la ración sea mediante la adaptación de los microorganismos ruminales y su capacidad de detoxificar

estos compuestos (Smith, 1992; Narjisse *et al.*, 1995; Silanikove *et al.*, 1996), siendo por ello, los rumiantes menos susceptibles que el resto de los herbívoros a los efectos perjudiciales de los taninos (McLeod, 1974). Lógicamente, la detoxificación de los compuestos secundarios o toxinas de la dieta también puede tener lugar en otros puntos, tales como el intestino delgado, los riñones o, de modo fundamental, el hígado (Cheeke, 1994).

Incluso, aún cuando el animal dispone de mecanismos detoxificadores eficaces, éstos no tienen una capacidad ilimitada y el animal se ve obligado a ejercer una activa selección del alimento (Robbins *et al.*, 1991). Los herbívoros seleccionan su dieta entre una amplia variedad de especies vegetales, tratando, por una parte, de cubrir sus necesidades nutritivas y, por otra, de evitar la ingestión de compuestos tóxicos. Dicha selección está basada en un proceso de aprendizaje tipo prueba/error (Provenza, 1995). De hecho, la edad es un factor importante dentro del aprendizaje del animal, ya que por ejemplo, las cabras jóvenes muestran un menor consumo de plantas con espinas, en comparación con las cabras adultas (Mellado *et al.*, 2004). Algunos autores han señalado que para un mamífero herbívoro alimentándose de vegetación arbustiva, es probablemente más importante evitar la intoxicación que optimizar la ingestión de nutrientes (Iason y Waterman, 1988; Bryant *et al.*, 1992; Provenza, 1995). En este sentido, la utilidad de las proteínas ricas en prolina se basaría más en evitar el daño que una ingestión elevada de taninos podría causar en los tejidos y órganos del animal, que en disminuir el efecto en la digestibilidad del alimento o en la absorción de aminoácidos (Harborne, 1989; Provenza *et al.*, 1990; Hagerman y Butler, 1991). Así, por ejemplo, se ha comprobado que el ciervo americano (*Odocoileus hemionus*; Robbins *et al.*, 1991; Hagerman *et al.*, 1992) y el oso negro americano (*Ursus americanus*; Robbins *et al.*, 1991), que no poseen este tipo de proteínas en suficiente cantidad para el contenido de taninos de la dieta disponible, seleccionan las plantas y partes de la planta con menor contenido en taninos. Igualmente, la cabra prefiere los rebrotes más viejos a los nuevos, los cuales, aunque más

nutritivos y digestibles, contienen elevadas cantidades de taninos condensados (Provenza *et al.*, 1990). Con el mismo fin, el rebeco (*Rupicapra rupicapra*) diversifica al máximo su dieta cuando los recursos vegetales son abundantes (García-González y Montserrat, 1986). Para que un animal pueda ejercer una selección eficaz sobre las plantas que constituyen su alimento, obviamente es necesario que distinga cuáles pueden perjudicarlo, lo que no siempre consigue, produciéndose entonces la intoxicación (Provenza *et al.*, 1992; Provenza, 1995). Parece claro que los animales son capaces de asociar el sabor de un alimento con las consecuencias negativas postpryiales, pudiendo esta asociación conducir a una aversión condicionada hacia el alimento (Provenza, 1995; Frutos *et al.*, 1998).

Los herbívoros posiblemente adquieren aversiones a corto plazo repetidas veces a lo largo de su vida, como consecuencia de su comportamiento ingestivo, basado en el muestreo (Burrit y Provenza, 1996). Evidentemente, las aversiones a largo plazo podrían jugar un papel fundamental cuando el alimento es muy tóxico. Sin embargo, cuando la toxicidad no es muy alta, las aversiones se mantienen durante periodos cortos. Esto permite a los rumiantes un re-aprendizaje sobre qué plantas, o partes de éstas, pueden seleccionar en un momento determinado, teniendo en cuenta que sus consecuencias negativas pueden ser disminuidas con el tiempo, gracias a la adaptación fisiológica de los animales a los compuestos secundarios de sus dietas (Du Toit *et al.*, 1991; Launchbaugh *et al.*, 1993; Forbes y Kyriazakis, 1995; Frutos *et al.*, 1997). Además, hay que precisar que los animales salvajes disponen de mejores adaptaciones a las toxinas vegetales que los animales domésticos, ya que, para éstos, el hombre ha transformado grandes extensiones de territorio en praderas aptas para su alimentación, e impedido, mediante riego, siega, pastoreo y fertilización, la proliferación de plantas tóxicas (Harborne, 1993; Cheeke y Palo, 1995). No es casual, por lo tanto, que los mayores problemas de rendimiento e intoxicación del ganado

ocurran en pastos modificados por el hombre y en regiones áridas debido a las particulares adaptaciones de las plantas al estrés ambiental.

2. 3. Aleloquímicos en las Plantas de Pastizal

Las plantas, al carecer de un sistema de defensa basado en anticuerpos, similar a lo que ocurre en animales, basan su protección en una serie de compuestos que la propia planta sintetiza, respondiendo así, al ataque de los depredadores. Estos sistemas de defensa han evolucionado en las plantas como una respuesta metabólica activa (Blanco y Aguirre, 2002).

Las sustancias que constituyen el sistema de defensa se encuentran en los tejidos vegetales. Estas sustancias llamadas aleloquímicos alomónicos, son compuestos moleculares que actúan como señales o mensajeros de disuasión, produciendo efectos repulsivos, antialimentarios y/o tóxicos, alteradores de la fisiología y/o comportamiento de los animales consumidores. Estos productos naturales tienen múltiples efectos que van desde la inhibición o estimulación de los procesos de crecimiento de las plantas vecinas, hasta la inhibición de la germinación de semillas, o bien evitan la acción de insectos y animales herbívoros, así como los efectos dañinos de bacterias, hongos y virus. Así, estos compuestos naturales conforman una parte muy importante de los sistemas de defensa de la planta. Cabe mencionar que el efecto alelopático de una planta sobre otro organismo no es total para bien o para mal, sino que está regido por manifestaciones de mayor o menor grado, según sean las características de los organismos involucrados.

2. 3. 1. Aleloquimia

En la naturaleza, las plantas están expuestas a factores bióticos y abióticos con los cuales han co-evolucionado. La presión de selección ejercida

por éstos a lo largo del proceso evolutivo provocó el desarrollo en los vegetales de numerosas rutas de biosíntesis a través de las cuales sintetizan y acumulan en sus órganos una gran variedad de metabolitos secundarios, es decir, compuestos sintetizados por la planta que no se necesitan para su crecimiento y desarrollo normal de las rutas metabólicas comunes a todos los vegetales. Se sabe que muchos de los mismos juegan un importante papel en interacciones complejas entre organismos vivos en el entorno natural. Entre ellos existen sustancias que producidas por una planta, le proporcionan beneficios al provocar determinados efectos sobre otras plantas o animales. Estas sustancias se denominan aleloquímicos y el fenómeno en el cual están involucradas se designa con el nombre de aleloquimia. El término alelopatía (del griego *allelon* = uno al otro, y *pathos* = sufrir; efecto injurioso de uno sobre otro) fue utilizado desde 1937 para referirse a los efectos perjudiciales o benéficos como resultado directa o indirectamente de la acción de compuestos químicos que, liberados por una planta, ejercen su acción en otra. Dado que la definición abarca tanto los efectos perjudiciales como benéficos, es necesario puntualizar que muchas sustancias con actividad alelopática tienen efectos benéficos a muy bajas concentraciones y, superado un determinado umbral, actúan negativamente sobre la planta receptora. Aun así, predomina en la literatura la descripción de efectos negativos. Por otra parte, el término incluye a hongos y otros microorganismos además de las plantas superiores, puesto que en su tiempo todos ellos se consideraban miembros del reino vegetal. La confusión aumenta si se tiene en cuenta que muchos agentes alelopáticos además de tener un efecto sobre plantas, también lo tienen sobre otros tipos de organismos distantes a éstas tales como herbívoros e insectos fitófagos. Evolutivamente es lógico esperar por selección natural la preferencia por modelos de defensa basados en sustancias que presentan actividad biológica sobre un amplio espectro de organismos, lo cual implica para la planta una mayor eficiencia en el uso de su energía (Einhellig, 1995).

2. 3. 2. Naturaleza de los Agentes Aleloquímicos

Los agentes aleloquímicos son metabolitos secundarios cuyos compuestos conocidos fueron aislados de las plantas. La naturaleza química de dichos agentes es muy variada. A medida que progresan las investigaciones en el tema se incorporan nuevos grupos de sustancias a las cuales no se les atribuía esta actividad biológica. Los metabolitos secundarios conocidos a la fecha son: compuestos alifáticos, lactonas no saturadas, lípidos y ácidos grasos, terpenoides, glucósidos cianogénicos, compuestos aromáticos (éstos comprenden la más extensa cantidad de agentes alelopáticos donde se incluyen fenoles, derivados del ácido benzoico, derivados del ácido cinámico, quinonas, cumarinas, flavonoides y taninos), fenoles simples, ácido benzoico y derivados, derivados del ácido benzoico tales como los ácidos hidroxibenzoico y vainílico, ácido cinámico y sus derivados, quinonas y derivados, cumarinas, flavonoides, taninos, y alcaloides con actividad alelopática como la cocaína, cafeína, cinconina, fisostigmina, quinina, cinconidina, estricnina y solanina (Mandava, 1985; Reigosa *et al.*, 1996).

2. 3. 3. Mecanismos de Acción de los Aleloquímicos

Debido a la diversidad de naturalezas químicas de los diferentes agentes aleloquímicos no existe un mecanismo de acción único que explique la manera en que éstos afectan a la planta receptora. La comprensión del mecanismo de acción de un compuesto alelopático determinado tiene varios inconvenientes. En condiciones naturales las cantidades en que se encuentran disponibles muchas de estas sustancias son inferiores a las que presentan actividad en bioensayos en laboratorio. Esto se debe a que frecuentemente existen interacciones sinérgicas y aditivas, lo cuál dificulta determinar la actuación de cada compuesto. Esa presencia mínima de sustancia también dificulta su recuperación para ser utilizados en estudios de efectos fisiológicos y a nivel subcelular. Estudiando un agente alelopático en particular, muchas veces es

difícil diferenciar efectos secundarios de la causa primaria de acción. Los más estudiados hasta este momento en este aspecto son los compuestos fenólicos. Es una aproximación interesante seguir la trayectoria de estas sustancias a través de la planta mediante moléculas de las mismas marcadas con C¹⁴. Esto permite entender a qué partes son predominantemente transportados y en qué tejidos es factible que ejerzan su acción. Los primeros estudios de este tipo mostraron que semillas en germinación de lechuga (*Lactuca sativa*) y cebada son capaces de incorporar cumarina y los ácidos cinámico, cafeico y ferúlico. Otros trabajos indican que los ácidos: salicílico, ferúlico y p-hidroxibenzoico son rápidamente extraídos de medios nutritivos y traslocados a través de la planta. Desgraciadamente, no se han utilizado moléculas marcadas con radioisótopos para la mayoría de los agentes alelopáticos (Mandava, 1985; Reigosa *et al.*, 1996).

2. 3. 4. Resistencia de las Cabras a los Aleloquímicos

El problema de los aleloquímicos es de gran importancia para los ganaderos de todo el mundo ya que causa grandes pérdidas económicas, principalmente en bovinos. Sin embargo, es ya sabido que en el caso de las cabras, éstas son menos susceptibles a los efectos tóxicos de las plantas. De hecho por sus hábitos de pastoreo y los habitats que frecuentan dichos animales, están expuestos en mayor medida a la toxicidad de las plantas. No obstante dicha situación, las cabras son menos susceptibles a intoxicaciones en comparación con los bovinos y ovinos, y pueden sobrevivir por largos periodos pastoreando en áreas consideradas de alto riesgo para otras especies animales. Esto ha permitido que las cabras sean usadas para reducir la disponibilidad de plantas tóxicas para otras especies animales, introduciendo primero a las cabras y luego a los bovinos u ovinos (NRC, 1981).

Por otro lado, parece que los mecanismos de adaptación de las cabras están más encaminados al aprendizaje. Por ejemplo, las cabras consumen

muchas arbustivas pero prefieren las del año anterior, ya que éstas presentan menores contenidos de taninos, aún cuando las del presente año son más altas en nutrientes. Algunos estudios sobre ramoneo con especies animales como castores, alces, ciervos, venados y cabras, han revelado que estos herbívoros contraatacan los efectos negativos de los taninos secretando proteínas (como la prolina) que atrapan a los taninos, estas secreciones provienen de las glándulas salivales que en dichas especies son más grandes. Cuando estos animales consumen plantas ricas en taninos, la prolina se une a los taninos haciéndolos inactivos. Esto ofrece a dichos animales la capacidad de digerir en mayor medida que los bovinos y ovinos, la proteína y la fibra. Además, algunos estudios han demostrado que las cabras y los venados pueden degradar y absorber algunos taninos condensados (Beck y Reed, 2001).

2 .3. 5. Factores Anti-Calidad en las Plantas del Pastizal

Los aleloquímicos pueden ser causantes directos de muchas pérdidas económicas en cuanto a la producción animal, sobre todo en los últimos años, debido al mal manejo que por mucho tiempo se ha hecho de los pastizales, lo cual ha ocasionado en gran medida que exista un incremento considerable de especies vegetales que, bajo otras condiciones, no estarían presentes. Muchas de éstas contienen aleloquímicos que en el área de la producción animal por muchos años fueron conocidos como tóxicos. Sin embargo, y dado que los compuestos tóxicos son solamente una parte de los aleloquímicos, se ha dado últimamente por llamar a todos los mecanismos de defensa de las plantas (químicos y físicos) como factores anti-calidad.

La anti-calidad de los forrajes es causada por un gran número de factores agrupados en componentes estructurales y metabolitos secundarios, ambos grupos relacionados con los mecanismos de defensa de las plantas. Estos componentes anti-calidad pueden provocar deficiencias minerales, toxicidades o imbalances nutricionales en el animal. El origen de dichos factores

puede ser fitoquímicos en tejidos vegetales o inhibidores estructurales en las hojas y vástagos. Algunos químicos específicos, inhibidores de calidad de los forrajes, pueden resultar del metabolismo de las plantas o de los microorganismos que habitan en ellas. Además, los factores anti-calidad pueden estar relacionados con la presencia en las plantas de plagas y enfermedades. Todos estos factores pueden reducir el consumo de materia seca, limitar la digestibilidad de la misma, o causar imbalances nutricionales. También pueden ser toxinas que ataquen órganos vitales de los animales, resultar en una reproducción anormal, causar disturbios endocrinos o neurológicos, provocar aberraciones genéticas, y disminuir la función inmune hasta provocar enfermedades o la muerte (Allen y Segarra, 2001).

2 .3. 6. Impacto Económico de los Factores Anti-Calidad

Aunque su importancia se reconoce desde las épocas tempranas de la historia, los forrajes también frecuentemente han sido subestimados y subvaluados, en parte porque a menudo el comportamiento productivo del animal ha fallado en reflejar la calidad aparente del forraje. Los compuestos anti-calidad han evolucionado como componentes estructurales y metabolitos secundarios. Ellos incluyen desbalances minerales o pueden ser relacionados a la presencia de insectos o enfermedades. El comportamiento animal y la adaptación se reconocen más como aspectos importantes de los factores anti-calidad. Ellos pueden actuar directamente como veneno dañando sistemas vitales o alterar la reproducción. El impacto económico de los factores anti-calidad en los hatos individuales puede ser devastador pero definible. Los impactos a amplia escala de los factores anti-calidad son más difíciles de estimar. Una pérdida de 0.22 kg d^{-1} de la ganancia potencial del ganado debido a factores anti-calidad durante una época de pastoreo de 166 días se traduce en una pérdida de aproximadamente \$55 dólares/novillo, a un precio de \$ 1.45/kg, o de más de 2 billones anuales si se aplica al total de la ganadería de E.U.A. Las pérdidas económicas de la industria del ganado de carne de los

E.U.A. por la toxicosis del pasto festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) son estimadas en \$600 millones de dólares anuales. Sólo en los 17 estados del oeste de los Estados Unidos, las pérdidas por muerte y reproducción del ganado debido a plantas tóxicas han sido estimadas en \$ 340 millones de dólares. Estos ejemplos de pérdidas económicas debido a los factores anti-calidad pueden ser los límites superiores de las pérdidas actuales, pero aún si una pequeña proporción de las pérdidas esperadas fuera eliminada a través de investigación, el pago por estas pérdidas sería extremadamente alto (Allen y Segarra, 2001).

2. 3. 7. Características Estructurales Anti-Calidad en las Plantas

Las características estructurales anti-calidad son características físicas que reducen el comportamiento productivo de los herbívoros y la calidad de sus productos agropecuarios. La mayoría de las características estructurales anti-calidad afectan la tasa a la cual los herbívoros recolectan e ingieren el forraje, reduciendo la cantidad de alimento obtenido o incrementando el tiempo necesario para obtener el alimento. Las características estructurales anti-calidad pueden influir substancialmente el tiempo de búsqueda (por ejemplo, plantas encriptadas y su distribución), tiempo de cosecha (por ejemplo, la lignificación de la planta, y la resistencia tensil y de corte) y el tamaño de la mordida (por ejemplo, estructura de la copa de la planta, cantidad de espinas). Las características estructurales de la planta también pueden reducir la digestión (por ejemplo, el contenido de sílice), causar daño (por ejemplo, espinas, aristas, callos, pelos) o reducir la calidad de los productos animales, tales como la lana (por ejemplo propágulos) (Laca *et al.*, 2001).

Los efectos de las características estructurales anti-calidad dependen de la morfología del herbívoro, especialmente su tamaño, la morfología de la planta focal y su contexto dentro del hábitat. Los planes de manejo integral del agostadero deben considerar opciones para reducir los efectos negativos de las

características estructurales anti-calidad. Seleccionando cuidadosamente la especie animal apropiada, basado en experiencias previas, y la estación de pastoreo apropiada se puede minimizar la anti-calidad en los pastizales. Debido a que las características estructurales anti-calidad puede promover la sustentabilidad de los sistemas de pastoreo al evitar la defoliación severa o prever refugios para las plantas forrajeras de mejor calidad, puede ser no del todo deseable contraatacar sus efectos (Shipley y Yanish, 2001).

2. 3. 8. Respuesta de los Herbívoros a los Factores Anti-Calidad

Las plantas poseen una amplia variedad de compuestos y formas de crecimiento que son llamadas factores "anti-calidad" porque reducen el valor del forraje y desalienta el consumo de ellas. Los atributos anti-calidad pueden reducir los nutrientes y energía digestibles de la planta o producir efectos tóxicos. Los herbívoros poseen varios mecanismos adaptativos para aminorar los impactos de los factores anti-calidad. Primero, los herbívoros consumen selectivamente para limitar el consumo de compuestos vegetales potencialmente dañinos (Launchbaugh *et al.*, 2001).

Los animales en agostadero dependen de un sistema sofisticado para detectar el valor nutricional o la toxicidad de las plantas relacionando el sabor de la planta con sus consecuencias digestivas positivas o negativas. Las habilidades para seleccionar la dieta aumentan por los patrones adaptativos de consumo que limitan los efectos perjudiciales de los aleloquímicos de la planta, éstos incluyen la precaución de probar nuevos alimentos, consumiendo una dieta variada y comiendo plantas de una manera cíclica, intermitente o cuidadosamente regulada. Segundo, los animales en agostadero poseen sistemas internos para detoxificar o tolerar la ingestión de fitotoxinas. Los animales pueden expulsar rápidamente el material vegetal toxico después de la ingestión, segregando substancias en la boca o el intestino para hacer inertes a los aleloquímicos, para ello dependen de los microorganismos ruminales que

les ayudan a detoxificar los aleloquímicos, absorber los fitoquímicos del intestino y detoxificarlos en los tejidos corporales o desarrollar una tolerancia a los efectos tóxicos de los aleloquímicos de las plantas. El entendimiento de las habilidades de comportamiento y metabólicas de los herbívoros sugiere varias prácticas de manejo del ganado para ayudar a los animales a contender contra las características anti-calidad de las plantas. Estas prácticas incluyen el ofrecer a los animales experiencias apropiadas durante las primeras etapas de su vida, seleccionar las especies e individuos de ganado más apropiados, criar animales con los atributos deseados y ofrecer productos nutricionales o farmacéuticos que auxilian en la digestión y detoxificación (Provenza y Ropp, 2001).

2. 3. 9. Efecto de los Factores Anti-calidad sobre la Reproducción Animal

Las plantas tóxicas que deterioran las funciones reproductivas normales del ganado incluyen a las siguientes especies: lupinos (*Veratrum californicum* Dury), pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl.), escobilla (*Gutierrezia sarothrae* (Pursh) Britt. y Rusby), hierba loca (*Astragalus* y *Oxytropis* spp.), forrajes que contienen selenio, plantas fitoestrogénicas, zacates infectados con hongos endófitos y algunos otros lupinos (*Lupinus* spp.) contienen alcaloides similares los cuales al ser ingeridos en ciertas etapas de la gestación inducen a defectos al nacimiento idénticos en bovinos, cerdos, caprinos y ovinos. Las recomendaciones básicas de manejo para reducir las pérdidas reproductivas por plantas tóxicas incluyen: 1) mantener buenos registros de la ocurrencia de problemas reproductivos; 2) saber que plantas tóxicas crecen en los pastizales y entender sus efectos; 3) desarrollar un plan de manejo para proveer un apacentamiento alternativo en potreros libres de plantas tóxicas durante las épocas críticas; 4) suministrar una nutrición balanceada, incluyendo proteína, energía, minerales y vitaminas; 5) mantener un buen programa de salud del hato; 6) integrar un programa de tratamiento con herbicidas para reducir las poblaciones de plantas tóxicas o para mantener potreros limpios para el

pastoreo alterno y 7) manejar el pastizal para obtener la máxima producción de forraje (Panter *et al.*, 2002).

Según Wynne-Edwards (2001), la disrupción hormonal es el principal, aunque subestimado, arsenal químico de las plantas, y la coevolución histórica entre trastornos hormonales de plantas y herbívoros tiende a incrementar la susceptibilidad de los carnívoros y a diversificar la sensibilidad de los herbívoros. Este autor hace una revisión de diversas evidencias acerca de la influencia de los compuestos secundarios de las plantas sobre la reproducción de los herbívoros vertebrados, incluyendo la reproducción en humanos. Encontró que se han planteado tres hipótesis acerca de la respuesta evolutiva de los herbívoros vertebrados a la disrupción hormonal ocasionada por su dieta. Específicamente las hipótesis son: 1) que los herbívoros vertebrados podrán expresar receptores para esteroides hormonales en la cavidad bucal y/o el órgano vomeronasal; 2) que las concentraciones absolutas de esteroides sexuales serán menores en carnívoros que en herbívoros y 3) que los receptores esteroides de los herbívoros deberán ser más diversos en sus afinidades obligatorias que los carnívoros. El argumento desarrollado por este autor es empíricamente validado por el soporte de las hipótesis específicas que sugieren: 1) que los carnívoros son más susceptibles que los herbívoros a los compuestos que ocasionan la disrupción endocrina de origen antropogénica de sus cuerpos y 2) que diversos herbívoros tendrán una susceptibilidad variable a cualquier contaminante natural o sintético. Menciona además, que los métodos seleccionados para medir el potencial de disrupción hormonal son comparados y adoptados a través de investigación de fisiología endocrina comparativa, y considera que es urgentemente necesario desarrollar modelos para predecir la aplicabilidad de estos métodos seleccionados y sus resultados en diversas especies de herbívoros vertebrados.

2. 4. Utilización de Agaváceas y Solánaceas en Zonas Áridas en el Norte de México

Las grandes extensiones áridas y semiáridas que representan alrededor del 50% del territorio nacional, muestran un panorama sumamente desolador en términos de degradación ambiental. Sequías prolongadas, lluvia escasa y mal distribuida, pérdida de suelo, pastizales con baja capacidad sustentadora debido al sobre-pastoreo y mal manejo de los mismos, son entre otros, algunos de los problemas más importantes. Es por ello que en dichas zonas, la obtención de forraje para la alimentación del ganado es una tarea difícil. Aquí, la explotación animal descansa sobre la base de los recursos forrajeros con que se cuenta, y se considerando que este renglón representa el factor económico determinado más alto. La búsqueda para obtener sustitutos alimenticios que cubran los requisitos nutricionales de la especie que se trate, se convierte en una práctica elemental en cualquier explotación pecuaria organizada. Por lo anterior, se deben de buscar nuevas alternativas y opciones las cuales disminuyan los costos de producción y que sobre todo sean rentables.

Por otro lado, la explotación de los caprinos juega un papel importante en los países subdesarrollados (French, 1970) y en aquellos lugares donde se tienen condiciones ecológicas favorables para su explotación, como son las zonas áridas, ya que allí son una fuente segura de trabajo para los campesinos, se asegura el suministro constante de leche y se hace una mejor utilización de los agostaderos (González, 1980).

Debido a la rusticidad y a la habilidad de las cabras para consumir una amplia gama de plantas de muy diverso valor nutricional, las cuales generalmente no se reportan en los estudios de composición botánica de la dieta de bovinos y ovinos, se ha considerado la necesidad de realizar investigación con algunas especies vegetales que regularmente aparecen en dichos estudios, pero ahora en cabras, tal es el caso de algunas plantas de la

familia de las Agavaceas y las Solanaceas, que tal como lo reportan Mellado *et al.* (1991) constituyen parte esencial de la dieta de los caprinos.

2. 4. 1. Agaváceas

Las Agavaceae forman una familia de plantas rizomatosas, leñosas, adaptadas al clima seco. Son muy similares a las especies de la familia Liliaceae y sobre todo de la familia Amaryllidaceae, en la cual a veces vienen incluidas. Las flores, normalmente hermafroditas, poseen un perigonio con 6 tépalos dispuestos en 2 verticilos trímeros, un androceo de otros 6 estambres y un ovario ínfero (súpero en *Yucca*) formado por 3 carpelos soldados. El fruto es una baya o capsula. En *Agave* el aparato vegetativo crece durante varios años y tras la floración muere (se dice que es un género monocárpico). Los géneros principales son *Yucca* y *Agave*.

Las Agaváceas tienen una notable importancia económica. De las hojas suculentas de *Agave atrovirens*, extensamente cultivada en México, se obtiene una bebida llamada pulque, que por destilación da un licor de elevada graduación alcohólica. De las hojas de *A. sisalana* y *A. messicana* se saca la fibra llamada sisal. De *A. tequilana* se obtiene el tequila. Algunas agaváceas son cultivadas como plantas ornamentales, como ocurre con diversas especies de *Yucca*. Esta familia consta de 19 géneros de entre los cuales dos de los mas importantes son: *Yucca* y *Agave*.

2. 4. 1. 1. Yucca

Al igual que el *Agave*, el genero *Yucca* ha sufrido numerosas modificaciones en cuanto a su clasificación taxonómica. Los botánicos tradicionales consideran al género dentro de la familia Liliaceae, pero en los últimos años la mayoría de los especialistas lo consideran en la familia Agavaceae (Matuda y Piña, 1977). Este género cuenta con unas 47 especies

de las cuales 29 crecen en México, todas son de hábitos xerófitos (Rzedowski, 1979; González, 1972). Son plantas arrosetadas, arborescentes, arbustivas o herbáceas, con hojas agrupadas en los extremos de los tallos. Hojas linear-lanceoladas, rígidas, planas o convexas, con el ápice generalmente espinoso y los márgenes enteros, fibrosos o ligeramente denticulados. Inflorescencia en panícula erecta o péndula, con flores bisexuales, blanquecinas, acampanadas o globosas, con perianto de 6 lóbulos libres o unidos en la base. Androceo con 6 estambres más cortos que el perianto. Fruto indehisciente, carnosos o esponjosos o una cápsula seca dehiscente, con semillas comprimidas de color negro (Sánchez, 2003).

2. 4. 1. 1. 1. Usos de la *Yucca*

El género *Yucca*, además de contribuir a la defensa del suelo contra la erosión y ayudar en la retención del agua, proporciona alimento, sombra y refugio, tanto para el hombre como para el ganado y la fauna silvestre. Este género ha tenido un lugar preponderante en las culturas indígenas de Norteamérica, las fibras obtenidas de sus hojas han sido empleadas para confeccionar cuerdas, sandalias, ropa, bolsas y artículos para la caza y la pesca como: arcos, flechas y redes. Además, se le atribuyen algunos usos medicinales. Actualmente un gran número de familias campesinas basan gran parte de su economía en la producción de fibra extraída de las hojas tiernas (cogollos) de *Y. carnerosana*. La fibra llamada ixtle es comúnmente utilizada en la elaboración de artículos de jarriería y cordelería. También en los lugares donde abundan *Y. filifera* y *Y. decipiens*, los campesinos elaboran sus casas, utilizando los troncos para las paredes y las hojas tiernas para los techos. Los corrales para el ganado se construyen con cercos vivos de estas plantas, los cuales son muy resistentes. Las raíces de diferentes especies de yuca se usan como jabón, las flores y los frutos son comestibles, tanto para el hombre como para el ganado, de hecho la flor de la palma china *Y. filifera* ya se comercializa enlatada para consumo humano (CIQA-CNZA, 1980).

El extracto de *Yucca* es utilizado en una gran variedad de productos destinados a la alimentación animal, la agricultura y la industria. (http://www.ycdi.com/yucca_field_trials.htm). En la alimentación del ganado se utiliza principalmente para reducir los niveles de amonio y los malos olores de las heces. En el ganado el amonio es producido por los microorganismos del rumen debido a la degradación de fracciones nitrogenadas no-proteicas del alimento (urea), las cuales son requeridas para la síntesis de proteína microbiana. Cuando el amoniaco es producido en exceso, éste es absorbido y pasa a la sangre causando problemas en la reproducción y producción de los animales (Cheke, 1999). Además, en las modernas granjas avícolas, se demanda un adecuado manejo ya que el alto potencial genético y productivo de las aves hace que se requiera un equilibrio entre los factores que mayormente impactan la productividad, tales como una adecuada oxigenación, la cual es afectada por las emisiones de amoniaco producido durante el proceso digestivo de la parvada. Algo semejante ocurre en las granjas porcinas, donde el excedente de amoniaco puede ocasionar problemas respiratorios en los cerdos. El uso del extracto de *Y. schidigera* en estos casos representa una buena alternativa para eliminar los excesos de amoniaco y los malos olores de las casetas (www.yucca.com.mx/aviculturaen.html).

Aregheore *et al.* (1997) utilizaron el extracto de *Yucca* para medir su efecto sobre la reducción de amonio durante la fermentación de la paja tratada para medir su cinética. En otros estudios como los de Makkar *et al.* (1999) han demostrado las bondades de utilizar el extracto de *Yucca*. Este autor midió el efecto de dicho extracto sobre la composición química de la canal de bovinos alimentados con y sin extracto de *Yucca* en bloques nutricionales a base de melaza, encontrando una mayor concentración de proteína cruda y una menor deposición de grasa en la carne.

Dos estudios fueron realizados por Demir y Sekeroglu (2000) para determinar el efecto de alimentar dietas que contenían diversos niveles de soya

suplementada con bagazo de *Yucca* (2 g kg⁻¹ de dieta), extracto de *Yucca* (120 mg kg⁻¹ de dieta) o bagazo más extracto de *Yucca*, en los pollos parrilleros. En otro estudio, Anjum *et al.* (1999) ofrecieron 2 y 4 g 10 kg⁻¹ de alimento de extracto de *Yucca*, observando que no se presentaron signos clínicos de enfermedades comparados con el testigo, además de obtener mayores incrementos de peso.

También en vacas lecheras se ha utilizado el extracto de *Yucca* para medir su efecto sobre el comportamiento productivo así como sobre las concentraciones de urea en plasma y leche (Wilson *et al.*, 1998). Estos autores utilizaron 12 vacas Holstein multíparas con promedio de 122 días posparto agrupadas en un cuadro latino con periodos de 21 días. Las vacas fueron suplementadas con proteína altamente soluble y 0 o 9 g d⁻¹ de extracto de *Yucca*, encontrando que no existe diferencia significativa para el consumo, producción de leche, grasa de la leche y sólidos totales. Las dietas altas en proteína soluble si tuvieron un impacto en el pH ruminal y las concentraciones de amoniaco ruminal, el extracto de *Yucca* no afectó estos parámetros.

El extracto de *Yucca* (EY) ha sido empleado para reducir la concentración ambiental de amoniaco y otros compuestos gaseosos en condiciones de confinamiento pecuario. Su forma de acción hace probable su utilización en los ensilajes para controlar la producción de amonio (proteolisis). En la obtención industrial de almidón del maíz se genera un subproducto (agua de cocimiento, AC), que tiene un pH de 4.1 y un alto contenido de ácido láctico (16 % BS) y proteína (45 % BS), lo que lo hace potencialmente utilizable como aditivo de ensilajes para acelerar el proceso de fermentación. En un estudio preliminar se pudo observar que ambos aditivos por separado mejoraron la calidad del ensilaje en términos de pH, proteína y nitrógeno amoniacal. Con la finalidad de obtener información sobre el sinergismo de ambos aditivos sobre el patrón de fermentación de ensilaje de maíz o caña de azúcar, se llevo a cabo un estudio que consistió en preparar microensilajes de maíz o caña de azúcar

adicionándoles el 20 % de AC y 0.04 % de EY (T2), con sus respectivos testigos (T1). El diseño del experimento fue en parcelas divididas secuenciales en tiempo (0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 y 21 días), con tres repeticiones por tratamiento. La adición de EY+AC ocasionó que el pH inicial (tiempo 0) tanto del ensilaje de maíz como el de caña de azúcar se redujese con respecto al testigo (5.6 y 3.8 para maíz y 5.5 y 3.6 para el de caña, manteniéndose en estos niveles con el tiempo. Simultáneamente, la presencia del aditivo incrementó la concentración de N-NH₃ al tiempo 0 de 0.011 (T1) a 0.355 (T2) en el ensilaje de caña de azúcar, y de 0.152 (T1) a 0.405 (T2) en el ensilaje de maíz. En el ensilaje de caña, la adición de EY+AC propició con el tiempo una disminución en la concentración de amoníaco, concomitantemente con un incremento en la concentración de proteína cruda. En el caso del ensilaje de maíz, la adición de EY+AC no afectó la concentración de nitrógeno amoniacal con el tiempo pero y si incrementó los niveles de proteína cruda. Se concluyó que el efecto benéfico que se logra con la adición de EY+AC al momento de ensilar es que las condiciones de pH inicial contribuyen a disminuir el grado de proteólisis que pueda tener lugar en el proceso de conservación, pero que este efecto aparentemente estaría relacionado al nivel de carbohidratos disponibles presentes inicialmente en el tipo de forraje que se emplee (Ramírez *et al.*, 1998).

Se ha argumentado que el extracto de la planta desértica *Yucca schidigera* puede tener un posible efecto benéfico sobre parámetros productivos en cerdos al disminuir las concentraciones de nitrógeno ureico sanguíneo (BUN, por sus siglas en Inglés) (Cedillo-Madariaga *et al.*, 1998). Por ello, estos autores realizaron un estudio para determinar el efecto del EY al adicionarlo a razón de 65 ppm en la dieta en cerdas gestantes, sobre algunos metabolitos sanguíneos como: niveles de BUN, de insulina (IN) y glucosa (G). Diez cerdas fueron cateterizadas en la vena marginal de la oreja (cinco consumiendo EY, y cinco controles), para realizar muestreos sanguíneos a los 0 (antes de ofrecer el alimento), 15, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos después de ofrecer el

alimento. Mediante análisis de química sanguínea se determinaron las concentraciones de BUN y G, y para insulina utilizando radioinmuno análisis (RIA). Se midieron también parámetros al parto y durante la lactancia como: lechones nacidos vivos (LNV), peso promedio al nacimiento (PPN), lechones destetados, peso promedio al destete e intervalo destete-1er servicio a las diez cerdas cateterizadas y a cuarenta más, resultando en 25 cerdas consumiendo EY y veinticinco cerdas sin consumirlo. La dieta ofrecida fue una dieta convencional sorgo-pasta de soya utilizando el sistema de formulación a proteína ideal para cerdas gestantes y lactantes. Se observó que la concentración de BUN disminuyó significativamente en las cerdas experimentales, $7.1 \pm 1.2 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$, primer periodo; $5.9 \pm 1.1 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$ segundo periodo, comparado con los controles, $8.2 \pm 2.1 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$, primer periodo; $8.9 \pm 1.9 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$, segundo periodo, así como en las concentraciones de IN para las cerdas consumiendo EY, $48.7 \pm 5.8 \text{ U ml}^{-1}$, primer periodo; $63.6 \pm 6.3 \text{ U ml}^{-1}$ segundo periodo, con respecto de las que no lo consumieron ($31.4 \pm \text{U ml}^{-1}$, primer periodo; 43.7 U ml^{-1} , segundo periodo). Se observó un aumento en el número de lechones nacidos vivos para las cerdas experimentales con respecto de las cerdas testigo. El número de los lechones al destete fue ligeramente mayor para las cerdas con EY, y el intervalo destete-1er servicio fue menor en las cerdas con EY. Se concluyó que el uso del EY disminuye realmente la concentración de BUN e incrementa la concentración de IN contribuyendo a mejorar el comportamiento productivo de cerdas al parto y durante la lactancia, disminuyendo también el intervalo destete-estro. Hussain y Cheeke (1995), midieron el efecto del extracto de *Yucca* sobre los perfiles de AGV en el rumen y sangre de novillos. Encontraron que la suplementación del extracto de esta planta favoreció el metabolismo del nitrógeno en el rumen, esto especialmente con dietas altas en forrajes toscos y dietas con urea.

El extracto de *Yucca* adicionado a la dieta de vacas lactando incrementó significativamente la producción de leche. Se adicionaron 125 mg g^{-1} de extracto, encontrando un decremento en la concentración de amoníaco y pH

durante la fermentación ruminal *in vitro* (Katsunuma *et al.*, 2001). Estos mismos autores adicionaron la misma cantidad de extracto a una dieta a base de forrajes, encontrándose nula acción del extracto de *Yucca* sobre la concentración de amoníaco, ácidos grasos volátiles y pH del fluido ruminal. Además, mencionan que ninguno de los dos, ni el extracto de *Yucca* ni el aumento de la proteína de sobrepaso en el rumen, resultó benéfico al alimentar a vacas produciendo de 30 a 35 kg de leche por día.

2. 4. 1. 2 Agave

Taxonómicamente el genero *Agave* se ubica en la familia Agavaceae, aunque existen muchas referencias bibliográficas que lo incluyen en otras familias (Vásquez, 1977), lo cual representa muchos problemas en relación a su taxonomía. En el continente Americano se reportan unas 310 especies, de las cuales en México existen 272. Anteriormente los géneros que incluían esta familia pertenecían a las Liliaceae y Amarylidaceae, pero en 1934, Hutchinson propuso la modificación argumentando que al carácter ínfero o súpero del ovario se le daba mucha importancia en la taxonomía de las monocotiledóneas y propuso otros caracteres, como el tipo de inflorescencia y hábito para la distinción de las familias.

Son plantas perennes, rizomatosas, de tallos usualmente acaules, hojas grandes dispuestas en roseta y suculentas-fibrosas que terminan en una espina; los márgenes de las hojas presentan pequeñas espinas; inflorescencia con espiga o panoja con escapo largo semi-leñoso (Granados, 1993).

2. 4. 1. 2. 1. Usos del Agave

En Mesoamérica, los agaves han sido utilizados de muy diversas formas pero principalmente como alimento para el hombre y el ganado. Los indígenas seleccionaban las especies más dulces y cocinaban sus partes más suaves,

además de elaborar el mezcal y pulque, y guisar sus flores (Granados, 1993). En el noreste de México, los agaves han sido utilizados como alimento para el hombre y el ganado así como para el vestido y la construcción. Al respecto, Medina y Quezada (1975) indican que la utilización del agave es una muestra de la capacidad del hombre para sobrevivir en las zonas áridas, aprovechando al máximo sus recursos.

El *Agave* vive en un medio semidesértico, con escasas lluvias. Llega a su madurez entre los ocho y los doce años y florece sólo una vez, muriendo al poco tiempo. En sus anchas, espinosas y protegidas hojas, llamadas pencas, se almacenan las sustancias nutritivas que le permiten sobrevivir en un medio hostil, así como a una serie de insectos, entre los que se encuentran el gusano magueyero y la hormiga aguamielera, ambos alimentos del hombre. El género *Agave* comprende dos subgéneros: el *Littaea* y el *Agave*. El primero de forma espigada, con alto contenido de saponina, se destina a ornato y contiene esmilagenina, materia prima indispensable para elaborar esteroides. Las especies que componen el subgénero *Agave* se explotan para producir bebidas fermentadas (el pulque) y destiladas (el tequila o los mezcales), o bien para extraer fibras, forrajes y alimentos. Es el caso del *A. fourcroydes* o henequén y el *A. sisalana*, cultivados en la zona costera del golfo de México y la península de Yucatán. Otros productores de fibras son el *A. lechuguilla*, aprovechado en el Valle del Mezquital, y el *A. peacockii*, cuyo hábitat es el Valle de Tehuacán. Entre los agaves que producen bebidas alcohólicas, además del *A. tequilana* y el *A. angustifolia*, tenemos el *A. atrovirens* Kawr, *A. lehmannii*, *A. cochlearis* y *A. latisima*, de donde se saca el aguamiel, ingrediente fundamental en la elaboración del pulque. Las evidencias arqueológicas indican que hace más de 10 000 años los grupos nómadas y seminómadas utilizaban distintos tipos de agaves para la extracción de fibras y como alimento. Actualmente las poblaciones indígenas y rurales continúan beneficiándose con este género, pero es necesario incrementar su cultivo resolviendo problemas de erosión de la tierra y delimitación de áreas de siembra, al igual que la manufactura de

distintas artesanías, entre ellas, cestos, útiles de aseo y objetos ornamentales. En el año de 1960 se trató de vender el pulque enlatado, pero como es una bebida viva, se descompone fácilmente debido a su rápida fermentación, por lo cual el proyecto no siguió su curso. En el presente siglo, debido a la irracional explotación, a lo inadecuado de las siembras y a las políticas tendientes a sustituir el uso de las fibras naturales por sintéticas y del pulque por otras bebidas como la cerveza, el vino o los rones, el *Agave* y sus derivados tienden a desaparecer. No obstante, se continúan las investigaciones a nivel de laboratorio para su aprovechamiento industrial, como son fibras, celulosas, papel para elaborar billetes bancarios, aglomerados, fructuosa, acetona, saponina, sueros glucosados e insulina, plásticos y forrajes (Oliver, 1995).

2. 4. 2. Solanáceas

Familia de plantas dicotiledóneas, de hojas simples y alternas, y fruto en cápsula o baya. Formada por unos 90 géneros y 2,600 especies. Las solanáceas venenosas contienen alcaloides de tres tipos principales: tropano que se encuentra en la belladona, el estramonio y el beleño; piridina, en el tabaco, y esteroides, en algunas especies del género de la papa. A éste pertenecen malas hierbas muy comunes, como la llamada ortiga de caballo, la dulcamara (*S. dulcamara*), la hierba mora (*S. nigrum*) y el trompillo (*S. eleagnifolium*) (Encarta, 1998).

Las hojas y el fruto inmaduro de casi todas las solanáceas contienen concentraciones altas del alcaloide esteroideo solanina. Las bayas maduras son la parte menos tóxica de estas plantas, pero pueden resultar mortales en algunas circunstancias. También contienen solanina los brotes y los puntos verdes de algunas papas. Una dosis tóxica de cualquiera de estas partes provoca una grave alteración digestiva, que puede ir acompañada de temblores, debilidad, dificultad para respirar o parálisis. Antes de consumir los tubérculos de papa conviene quitarles los brotes u ojos. Las partes aéreas, los brotes y las

papas podridas no deben utilizarse como forraje para el ganado (Encarta, 1998).

Algunos de los géneros más representativos de las Solanáceas son *Atropa*, *Capsicum*, *Cestrum*, *Datura*, *Hyoscyamus*, *Lycium*, *Lycopersicon*, *Mandragora*, *Nicotiana*, *Physalis*, *Salpichroa*, *Triguera*, *Withania* y *Solanum*. A este último género pertenece una herbácea que es muy común en las zonas áridas de México, donde se le conoce como trompillo (*S. eleagnifolium*).

2. 4. 2. 1. Morfología Botánica del Trompillo

Es una planta erecta, perenne espinosa, de 30 a 90 cm de altura que se reproduce mediante semillas o rizomas. Su color plateado se debe a la pubescencia de toda la planta que refleja la luz con un color blancuzco o plateado; puede o no presentar espinas de color amarillo. Sus hojas son gruesas, lanceoladas, y posee márgenes ondulados; sus flores son en forma de rueda, azules o violetas, pentalobuladas, vistosas, y sus frutos, parecidos a bayas, son de color amarillo tenue o anaranjado amarillento cuando maduran (González, 1972).

Villarreal (1983) describe al trompillo (*S. elaeagnifolium*) como una planta anual erecta de hasta 1 m de alto, con tallos simples, ramificados, cubiertos por finas pubescencias plateadas, así como espinas pequeñas y aciculares de color amarillo en toda la superficie; hojas alternas, pecioladas linear oblongas de hasta 15 cm de largo y 5 a 30 mm de ancho, con el borde ondulado; flores en cimas escorpioideas, pedunculadas; cáliz con 5 lóbulos; corola violeta, de forma estrellada, de 2 a 3 cm de diámetro; cinco estambres, con anteras largas amarillas de poros apicales, agregadas, formando un conjunto central en la flor donde sobresale el estilo; el fruto es una baya globosa de hasta 15 mm de diámetro de color amarillo al madurar, y con numerosas semillas. Hierba perenne, de verano, con floración durante los meses de abril a

noviembre; se reproduce por semilla y vegetativamente, por lo cual es una plaga difícil de combatir. Es una especie nativa con extensa distribución en Norteamérica y se presenta como maleza. Para algunos autores, es una planta indeseable por los daños que se dice, causan sus espinas al ganado y al hombre. En las hojas y frutos se almacena solanina, alcaloide tóxico que en muy bajas proporciones puede causar la muerte al ganado. Sus usos medicinales son poco conocidos.

2. 4. 2. 2. Principio Toxico del Trompillo

El trompillo contiene un glucoalcaloide con propiedades saponificantes, la solanina; sus frutos verdes o maduros son igualmente tóxicos. Radeleff (1970) menciona que la mayoría de las especies de *Solanum*, si no es que todas, contienen el glucoalcaloide solanina, que por la hidrólisis, produce un azúcar y los alcaloides saponinoides solanidina y solaneina. Las especies toxicas comprenden la papa *S. tuberosum* y el tomate *S. lycopersicum*. Las especies no cultivadas son entre otras, *S. elaeagnifolium*, *S. gracile*, *S. nigrum* y *S. dulcamara*.

El principal toxico es el alcaloide solanina. Generalmente el 0.1 a 0.3 % del peso vivo del animal ingerido de esta planta es suficiente para causar toxicidad; los bovinos son afectados grandemente por esta planta, mientras que las ovejas son más resistente que éstos. En la cabra no causa ningún efecto. El contenido de dicho tóxico varía enormemente, según las especie y dentro de una misma especie, según la zona y las condiciones de crecimiento. Todas las partes de la planta contienen el toxico, siendo máxima la concentración en las bayas (Radeleff, 1970).

2. 4. 2. 3. Solanina

La solanina es un glucoalcaloide de estructura triterpenoide presente en las plantas de la familia de las Solanáceas que parece tener una función protectora de la planta. Las concentraciones normales en la papa son inferiores a 50 mg kg^{-1} , cantidad que puede multiplicarse por 5 frente a infecciones parasitarias o exposición del tubérculo a la luz. Actúa como inhibidor de la colinesterasa y como irritante de las mucosas; causa inflamación de los túbulos renales y se sospecha que tiene acción teratogénica y que ésta podría ser el agente causal de la espina bífida en el hombre (www.onlineub.com/revistas_digitales/Ciencias/A2Num6/articulos.htm).

Los glucoalcaloides se sintetizan en especies de la Solanácea como metabolitos secundarios. Estos compuestos desempeñan un papel importante en la protección del tejido fino de la planta contra ataque por los parásitos y las enfermedades. Desafortunadamente estos metabolitos son tóxicos en altos niveles. El límite máximo del residuo para los glucoalcaloides totales es 200 mg kg^{-1} , y niveles más altos se encuentran raramente en las papas para el consumo humano (Vallin *et al.*, 1996).

Estudios realizados por Phillips *et al.* (1996) sobre el peligro toxico de las tapas verdes de la papa fueron investigados, los alcaloides de la papa en 7 variedades fueron medidos por HPLC. Los tubérculos protegidos contra la luz contuvieron $0.05\text{-}0.65 \text{ mg}$ de alfa-solanina/100 g y $0.3\text{-}0.63 \text{ mg}$ /100 g de alfa-chaconina. Las concentraciones en muestras de la hoja se extendieron a partir de la 0.64 a 22.6 al magnesio alfa-solanina/100 g y 0.06 a 55.7; el magnesio alfa-chaconina/100 g de extractos acuosos de las hojas eran citotóxicos a las células del ovario del hámster y a las células de sangre del ser humano. Una mezcla del alfa-solanina y de la alfa-chaconina (1:1, p/p) ofrecidos en forma oral (50 mg kg^{-1} de peso vivo) a los hámsteres no tuvo ningún efecto, pero una sola inyección intraperitoneal de 25 mg kg^{-1} peso corporal resultó mortal, con

sangrado en el intestino. Las altas concentraciones citotóxicas de PGA fueron encontradas en algunas tapas de la papa, pero su efecto en animales de laboratorio era mínimo. Estos mismos autores concluyeron que el consumo de cantidades moderadas de tapas de la papa (de 2-5 g/d/kg de peso corporal) es poco probable que representen un riesgo agudo para la salud del hombre.

Los glucoalcaloides esteroidales (SGAs, por sus siglas en Inglés) se producen después de la biosíntesis general del esteroide, comenzando con acetilo-coenzima A y son seguidos por los ácido intermedios, squalene, cycloartenol, y alfa-Chaconina y alfa-solanina mevalonic del colesterol son el SGAs principal componente del cultivo de la papa (*S. tuberosum*). Las concentraciones bajas de SGAs mejoran el gusto de la papa, pero concentraciones mayores de 200 mg kg⁻¹ pueden tener efectos tóxicos en animales y seres humanos. Los SGAs tienen actividad antimicrobiana y confiere resistencia a algunos insectos, pero no afectan a muchos parásitos de la papa. Otros esfuerzos serán probablemente dirigidos hacia la reducción del contenido de SGA en productos comestibles del cultivo de la papa y metodologías biotecnológicas, mientras que los genotipos de la papa con alta producción de SGA se pueden desarrollar para el uso en la industria farmacéutica (Valkonen *et al.*, 1996; Laurila *et al.*, 1996).

La solanina, encontrada en papas inmaduras, putrefactas o con rebrotes es tóxica al ganado. El edema de las piernas y la ubre fueron observados en, 12 de 16 búfalos y 1 de 11 bovinos examinados. Cinco conejos jóvenes y 4 adultos de raza Nueva Zelanda fueron alimentados con 100 % de planta de papa suculenta. Tres conejos jóvenes desarrollaron diarrea después de 6 días. Todos los conejos murieron después de 7-17 días (Somvanshi *et al.*, 1992).

2. 4. 2. 4. Sintomatología Tóxica De La Solanina

Todo tipo de ganado es sensible al tóxico. La solanina obra como irritante directo de las mucosas del canal digestivo y cuando se absorbe, puede producir hemólisis. El sistema nervioso central primeramente se estimula y después se deprime. La depresión afecta finalmente a los centros respiratorios y cardíaco. Los animales afectados aparecen con debilidad e incoordinación, temblores, respiración y latidos cardíacos acelerados, respiración laboriosa, salivación y secreción nasal excesiva. La ictericia puede ser evidente, junto con la anemia. La temperatura corporal, suele ser normal o sólo ligeramente elevada; se observa mirada fija y dilatación pupilar. La dosis tóxica, aunque no siempre letal, es de 0.1 % del peso corporal del animal en relación con la cantidad de planta ingerida. Existen 2 tipos de efectos que ejerce la solanina en el animal (Radeleff, 1970). 1) Nerviosos. Incluye apatía, somnolencia, temblores salivación excesiva, disnea y parálisis progresiva, el animal finalmente cae al suelo y pierde el conocimiento y 2) Gastrointestinales. Incluyen gastroenteritis que oscila entre moderada y severa, náuseas, vómito, dolor abdominal y diarrea a veces sanguinolenta.

La planta afecta principalmente a bovinos, ya que los caballos, cabras y ovejas aparentemente son más resistentes; el envenenamiento no siempre termina en la muerte. Algunos animales intoxicados ligeramente se recuperan después de pocas horas o días si son removidos del área infestada por esta planta (González, 1980).

2. 4. 2. 5. El Trompillo en la Dieta de las Cabras

De acuerdo a lo observado por Mellado *et al.* (1991), quienes no encontraron herbáceas en la dieta de las cabras en la época de sequía; en la época de lluvia, estos grupos de plantas constituyeron un tercio de la dieta de

estos animales. *S. elaeagnifolium* y *Sphaeralcea angustifolia* tuvieron valores de alta preferencia para las cabras, principalmente en la época de lluvias.

De acuerdo a los estudios realizados por Olvera (2000), el porcentaje de herbáceas en la dieta de las cabras fue más importante en la época de verano (periodo de lluvias), con un 64 % para las cabras en el sistema de pastoreo continuo, siendo *Sida abutilifolia*, *S. eleagnifolium* y *Sphaeralcea angustifolia* las herbáceas predominantes. Estas mismas especies, aunque no en la misma proporción, fueron más abundantes en la dieta de las cabras mantenidas en un sistema de pastoreo con rotación de corral durante las cuatro épocas de estudio.

2. 4. 2. 6. El Trompillo en la Elaboración de Quesos

Se sabe que el trompillo (*S. eleagnifolium*) es empleado empíricamente en la elaboración de quesos (Royo y Melgoza, 2001). La elaboración de éstos es muy sencilla, se coloca la leche en una olla de peltre, se hierve y se le agregan unas pocas bolitas (frutos) de trompillo para que la leche sea cuajada (www.chi.itesm.mx/chihuahua/arte_cultura/cocina/derivados/qfresco.html). El trompillo es una planta silvestre que produce unas bolitas de color amarillo (fruto), que hacen que la leche se coagule, por efecto de la solanina presente en esta planta (www.zoetecnocampo.com/Documentos/Lista/listado2.htm). En algunas regiones el uso del trompillo (*S. elaeagnifolium*) para coagular la leche tiene una tradición de muchos años, sin embargo su uso es totalmente empírico, por lo que en ocasiones el rendimiento del queso es muy variable (Solórzano *et al.*, 2003; Duckjovich y Esquivel, 1995).

Estos mismos autores, señalan que la capacidad de coagulación de la leche es variable, dependiendo del sistema de extracción, pero para el caso del trompillo ésta presenta una fuerza superior al 50 % (entre 500 y 923) a la que presenta la preparación comercial (1000), además de un incremento en el

tiempo de entre 10 y 150 segundos. Pero la firmeza del coagulo obtenido es menor al que presenta el queso preparado comercialmente, lo que representa una desventaja y puede ser un factor que altere el rendimiento.

2. 4. 2. 7. Uso de las Solanáceas en la Medicina Alternativa

La familia de las Solanáceas incluye un gran número de especies las cuales son ricas en alcaloides con valor medicinal, lo cual les da una buena importancia económica. Sin embargo, en la actualidad el uso de dichas plantas ha sido reemplazado por los avances en la medicina moderna (Maiti *et al.*, 2002).

Estos mismos autores, estudiaron diez especies de dicha familia (*Datura inoxia* Mill., *Datura stramonium* L., *Lycopersicum esculentum* Mill., *Nicotiana glauca* Grah., *Physalis viscosa* L., *Solanandra nitida* Swartz, *S. elaeagnifolium* Cav., *S. erianthum* D. S. *nigrescens* Mart y Gal., *S. rostratum* Dun., y *S. triquetum* Cav.), mediante las técnicas de farmacognosia e histoquímica. Las características anatómicas empleadas en la diferenciación de las especies incluyen los tipos de tricomas, estomas, cristales, glándulas y la posición del parénquima. En las pruebas histoquímicas las especies presentan diferentes grados de reacción en los contenidos de proteínas, taninos y alcaloides.

En cuanto a los usos medicinales de esta familia, en la siguiente dirección: www.unincca.edu.co/tesis/FTWeb/Solanaceae.html , se presenta una gran cantidad de usos medicinales de las Solanáceas.

2. 4. 2. 8. Otros usos de las Solanáceas

Además de ser utilizadas en la medicina alternativa, las plantas de esta familia tienen muchos otros usos de entre los cuales podemos citar los siguientes: 1) *S. cervantesii* Lag. El fruto se consume en algunos guisos. El

extracto acuoso de toda la planta posee una toxicidad media sobre el gusano cogollero, por lo que se usa como insecticida (Bello, 1993), 2) *S. americanum* Mill. El fruto se consume como condimento (Bye, 1985), 3) *S. cardiophyllum* sbsp. Ehrenbergii Lindl. Los tubérculos se comen. (Rodríguez, 1991), 4) *S. fendleri* A. Gray. El tallo se consume como verdura (Trujano, 1990), 5) *S. lanceolatum* Cav. Las flores son de utilidad en la apicultura. Las hojas son saponíferas (INI, 1994a; Bello, 1993), 6) *S. lanceolatum* Cav. Las flores son de utilidad en la apicultura. Las hojas son saponíferas (INI, 1994a; Bello, 1993; Vázquez et al., 1995), 7) *S. nigrescens* Martens. El fruto se usa como alimento para aves (INI, 1994b, Bello, 1993), 8) *S. nigrum* L. Los brotes tiernos se comen como quelite. Las hojas las consume el ganado de pastoreo (Martínez, 1969; INI, 1994b; González, 1984), 9) *S. rostratum* Dunal. El follaje lo consume el ganado de pastoreo (Bye, 1985; Bello, 1993; González, 1984), 10) *S. torvum* Sw. La parte aérea la consume el ganado de pastoreo (Martínez, 1987) y 11) *S. verrucosum* Schltld. El tubérculo se come (Rodríguez, 1991).

3. ARTÍCULOS

3.1. Effects of substituting alfalfa with forage of *Solanum elaeagnifolium* in diets for growing kids.

3. 2. Effects on performance of growing kids of the replacement of alfalfa by inflorescences of *Yucca carnerosana* in their diet.

3. 3. *Agave scabra* flowers as a feed resource for goats.

Effects of substituting alfalfa with forage of *Solanum elaeagnifolium* in diets for growing kids

M. Mellado, J.E. García, R. López

University Autonoma Agraria Antonio Narro, Department of Nutrition and Foods,
Saltillo, Coah. 25315, Mexico

(Enviado para su publicación a: ***Animal Feed Science and Technology***)

Abstract

To investigate the effect of replacing alfalfa hay by *Solanum elaeagnifolium* forage in the diet of growing kids, 40 mixed-breed kids with an initial weight of 10.6 ± 0.9 kg were randomly allocated to five dietary treatments in a completely random design. The five treatments consisted of replacing zero (T0), 25 (T25), 50 (T50), 75 (T75) and 100 % (T100) of alfalfa hay (30% of the diet). The concentrate offered was based on corn grain and soybean meal. After an adaptation period of 7 days, followed by 84 days of the experiment, the intake of the complete ration, the average daily weight gains, some serum metabolites and minerals, and volatile fatty acids concentrations were recorded. Live weight gain decreased significantly ($P < 0.01$) with increasing levels of *Solanum elaeagnifolium* in the diet. The maximum live weight gain (116 ± 22 g d⁻¹) was observed in controls, while kids receiving *Solanum elaeagnifolium* gained weight in the range of 40-112 g d⁻¹. Most of the variation in weight gain was explained by ascending levels of *Solanum elaeagnifolium* in the diet ($R^2 = 0.92$), which linearly decreases feed intake ($P < 0.01$) and an increase in dry matter intake (DMI) to

gain ratio (5.9 ± 0.9 for controls to 15.2 ± 9.8 for 100% replacement; $P < 0.01$). Concentration of total volatile fatty acids (VFA) was not affected by level of *Solanum elaeagnifolium* offered except at 100% level. There was a greater ($P < 0.05$) concentration of glucose and urea in controls than in kids with the highest levels of *Solanum elaeagnifolium*. These results suggest that *Solanum elaeagnifolium* do not holds sufficient potential to effectively substitute alfalfa hay in diets of growing goats in confinement.

Introduction

Silver-leaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) is listed as a noxious weed of prairies, open woods and disturbed soils by several states in the United States (Boyd, 1984). This prickly plant abundantly extends in dry areas of northern Mexico and south-western United States, and it has been implicated in reduced weight gains, lowered animal production, teratogenic effects (Backer et al., 1989; Keeler et al., 1990) and neurological disorders (Porter et al., 2003). Thus, this plant is considered troublesome to domestic livestock because of their poisonous effects and because it decreases grazing capacity for livestock on rangelands by competing with the “good” forage plants for moisture and nutrients.

Despite the anti-herbivory factors of this plant, goats under range conditions consistently select this forage throughout the year. Data of Mellado et al. (2003, 2004) indicate that, during the rainy season, silver-leaf nightshade is the most heavily utilized forage by goats in degraded rangelands of northern Mexico. Thus, in areas of low primary production this range plant is a staple feed for goat in all months, without causing visible toxic effects (Boyd, 1984). Nothing is known about the potential of *Solanum elaeagnifolium* as fodder for goats. The objective of this study was to determine the effects of *Solanum elaeagnifolium* as a forage source for early-weaned kids on performance, ruminal VFA, and some serum metabolite and mineral concentrations.

Material and methods

Animal and management

The experiment was conducted at the University Autonoma Agraria Antonio Narro in northeast Mexico (25° 22' N, 101° 00 W) during the fall 2004. The study area is located in an arid zone at 1500 m above sea level, having an annual rainfall of 310 mm. Forty 2-month-old non-descript female goats (10.6 ± 0.9 kg) housed in a well-ventilated cement-floored barns having individual feeding facilities and free access to fresh water, were randomly allotted (2 goats per pen) to five dietary treatments. Pens were 2.0 x 1.5 m. Prior to early weaning, kids were grazed, with their mothers, on a Chihuahuan rangeland. Upon arrival to the pens, kids were treated against internal and external parasites (Ivermec) before the onset of the feeding trial and kept under strict hygiene and uniform management throughout the experiment. Health status of the kids was recorded daily.

The ingredients of the different diets are listed in Table 1. After adaptation to experimental diets for one week, kids were offered soybean-meal and corn based diets combined with 0 (control), 25, 50, 75 and 100% *Solanum elaeagnifolium* as a forage source (eight kids per diet), replacing alfalfa hay in a 30 -70 forage to concentrate ratio diet (Table 1) for 84 days. Experimental diets were formulated to meet the requirements for maximum daily gains of growing goats (NRC, 1981). Feed was offered ad libitum twice daily at 09:00 and 16:00 as totally mixed diets, and feed refusals were weighed daily post-feeding to ascertain daily feed consumption.

Solanum elaeagnifolium (leaves, stems and flowers) was collected at 100% flower. This forage was sun-dried and passed through a forage chopper fitted with a 5 mm screen to reduce the staple length of the forage and minimize the

selection by goats of fractions of forage offered. AOAC (1995) methods were used for chemical analysis of forages used in the diets.

Rumen and blood samples collection and analysis

Samples of rumen content were taken from all goats three times daily at the end of the trial (before feeding as well as 2 and 4 h after feeding). Ruminal fluid samples were collected via stomach tube connected to an electric vacuum pump. Immediately after collection, 100 mL of ruminal fluid was strained through four layers of cheesecloth. Ruminal fluid samples were centrifuged at 12,000 x *g* for 20 min and the supernatant was saved and stored frozen at -20°C. Individual concentrations of volatile fatty acid (VFA) analysis of ruminal fluid were accomplished by gas liquid chromatography. Total VFA concentration was calculated as the sum of the concentration of individual VFAs and molar proportions of individual VFAs were calculated as percentages mol 100 mol⁻¹ of total VFA concentration.

Blood was sampled by jugular venepuncture immediately after the morning meal, in 10 ml vacutainer tubes. Less than 30 min after sampling, tubes were centrifuged at 3500 *g* for 10 min and serum stored at -20°C until analysis for glucose, urea, cholesterol, albumin and total proteins, as well as Mg, Cu and Zn concentrations. Serum metabolites were determined using spectrophotometric methods following protocols supplied by the kits manufacturers. Serum minerals were determined by atomic absorption spectrophotometric methods.

Statistical analysis

Performance data were analyzed using the GLM procedures of SAS (1989) for a completely randomized design comparing five treatments. The model included the effect due to diet. Residual mean square was the error term and animal was the experimental unit. For feed intake pens were the experimental units. For particular mineral concentrations, effects due to treatment were

analyzed using the GLM procedures of SAS (1989). For ruminal VFA concentrations and particular serum metabolites, effects due to treatment, time, and treatment x time interactions were analyzed using the MIXED procedures of SAS (1989). Residual mean square was the error term.

Results and discussion

Chemical analysis of *Solanum elaeagnifolium* (leaves, stems and flowers) is presented in Table 2. CP content of this plant was considerable higher than that of 6 to 12% reported for grasses of this landscape (Ramirez et al., 2004). Also, in comparison with other forbs in this type of vegetation (Nelson, et al., 1970), the fibre fraction of *Solanum elaeagnifolium* was very high. The chemical composition of *Solanum elaeagnifolium* reflects that it is a lignocellulosic material, rich in structural carbohydrates.

Kids fed any of the levels of *Solanum eleagnifolium* showed a significant ($P < 0.01$) depression in live weight gain and feed conversion ratio compared to controls. The lower ($P < 0.01$) DMI by kids fed the ascending levels of *Solanum elaeagnifolium* in their diets (the intake at the highest level was 74% that of the control) was a principal reason for their lower rate of gain and poorer feed utilization. The first effect remarked upon when some unconventional forage are included in the diet of small ruminants is the consequent fall in food intake, an effect that is attributed, in part, to the effect of allelochemicals (Megarrity and Jones, 1983; Ben Salem et al., 1999; Baptista and Launchbaugh, 2001). Thus, the antiherbivory chemistry of *Solanum eleagnifolium* seems to be important for the ingestion of this forage by goats.

Poor preference for silver-leaf nightshade was also probably due to its high fiber content. The cell wall of legumes is more fragile than that of grasses (Seoane, 1982) and would thus require less chewing per bolus (Welch, 1982).

Silverleaf nightshade contains toxic alkaloids (Chiale et al., 1991) that combine with sugars to produce glycoalkaloids that irritate the gastrointestinal tract; within the tract, these compounds may be hydrolyzed to release alkalids or alkamines that are nerve toxins (Boyd, 1982; Porter et al., 2003). Additionally, the stems of this perennial forb contain abundant spines, which deter its consumption by herbivores. Also, the preference of goats for the diets with lower silver-leaf nightshade levels was probably due to the lower protein content of this forb compared to that in alfalfa hay. The crude protein content of these two forages was sufficiently different to account for the marked difference in selectivity.

Previous research has shown that, under range conditions, goats avidly consume and readily select *Solanum elaeagnifolium* as a dietary constituent. *Solanum elaeagnifolium* comprises up to one third of the seasonal diet of goats on rangeland (Mellado et al., 2004). Thus, goats grazing in patchy and seasonal environments apparently choose leaves and flowers of this plant with lower than average amount of the leaf surface allelochemicals, and higher amounts of nutrients than the average of the forage available. Additionally, goats on rangeland do not eat the spiny stems of this plant, and in the present trial, kids were forced to eat this less nutritious part of silver-leaf nightshade.

Regression lines relating average daily gain (ADG) and DMI to gain ratio to *Solanum elaeagnifolium* percentage in the diet are presented in Fig. 1. The closeness of fit for these parameters demonstrates the pronounced effect that substitution of alfalfa by *Solanum elaeagnifolium* has on these two production traits. ADG decreased by 8.2 g for every 10 % increase in silver-leaf nightshade hay offered. On the other hand, DMI to gain ratio increased quadratically as silver-leaf nightshade increased in the diet.

Total concentrations and molar proportions of ruminal VFA were not affected by treatment x time of day interaction. Total VFA concentrations in ruminal fluid tended to decrease ($P = 0.09$) as *Solanum elaeagnifolium* increased

in the diet (Fig. 2). The proportion of acetate was similar across treatments (Fig. 2). The proportion of propionate tended to decrease ($P = 0.07$), with higher levels of silver-leaf nightshade in the diet, which led to an increase ($P = 0.07$) in the acetate to propionate ratio in the rumen. These findings agree with data from a number of studies with goats receiving forages rich in structural carbohydrates (Gelaye et al., 1990; Gelaye and Amoah, 1991), reflecting the low fermentable nature of fibre in silver-leaf nightshade. On the other hand, butyrate increases ($P < 0.05$) with medium levels of silver-leaf nightshade in the diet. Total VFA concentrations (Fig. 2) were relatively high except at the highest level of *Solanum elaeagnifolium* hay offered. This was consistent with data on intake; where lower amount of fermentable substrate was available to the ruminal microflora as *Solanum elaeagnifolium* increased in the diet.

The low propionate in the products of digestion from kids fed the highest levels of silver-leaf nightshade diets apparently constrained kid growth as propionate has been shown to be the major glycogenic fatty acid in ruminants (Preston and Leng, 1987). The diets used in our experiment resulted in higher total concentrations of ruminal VFA than has been obtained by other workers using low quality roughages (Chiema et al., 1991; Ngwa et al., 2003).

Serum glucose levels were not affected by treatment x time of day interactions, but glucose concentration was lower ($P < 0.05$) in kids receiving the highest level of *Solanum elaeagnifolium* than controls. Hunington (1997) estimated that for cattle consuming high concentrate diets, approximately 44% of their total glucose need comes from organic absorption from the rumen (predominantly propionate); thus apparently decreased glucose for kids consuming the highest level of *Solanum elaeagnifolium* was the result of reduced total concentrations of ruminal VFA and molar proportions of propionate. The propionic type of fermentation associated with increase in the plasma concentrations of glucose in sheep, has also been observed by Abdul-Razzaq et al. (1988).

Serum urea changed differently (diet x time effect, $P < 0.01$) for different diets several hours after feeding. Serum urea concentration was 9% higher ($P < 0.01$) in T0 compared with T100. A positive correlation exists between level of protein (N) and blood urea nitrogen (BUN) (Carlsson and Pehrson, 1994; Karnezoz et al., 1994), thus, kids on T100 had lower BUN concentration probably as a result of lower total N and energy intake, although this reduction in N consumption apparently was not severe enough to provoke a turnover of the protein pool in the body, as creatinine concentrations was unchanged by dietary treatments.

There were no significant differences ($P > 0.05$) in mean serum cholesterol, albumin, total proteins and creatinine among treatments. Serum minerals (Mg, Cu and Zn) were unaffected by forage treatment and were in the normal range (Puls, 1994).

All the animals in this experiment had normal appetites and were in good condition; additionally, the normal serum urea and creatinine concentrations of all goats suggest that *Solanum elaeagnifolium* did not cause functional disturbances in kidney and liver.

This study has better defined the feeding value of *Solanum elaeagnifolium* hay. It is evident that the high consumption and marked selectivity of this plant by grazing goats is not an indication of the feeding value of this plant, and that the antiherbivory factors of *Solanum elaeagnifolium* were well tolerated by goats.

Conclusions

Although highly preferred by goats on rangelands, *Solanum elaeagnifolium* was judged to be a low value forage species for growing kids in confinement, because replacing alfalfa by this forb resulted in negative changes in DMI, particularly at high levels, ADG and dry matter to gain ratio, which indicate that,

even low inclusions (25% replacement of the alfalfa hay) of *Solanum elaeagnifolium* in the growing goat diet, impacted negatively the performance of these animals.

References

- Abdul-Razzaq, H.A., Bickerstaffe, R., Savage, G.P., 1988. The influence of rumen volatile fatty acids on blood metabolites and body composition of growing lambs. *Austr. J. Agr. Res.* 39, 505-515.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist)., 1995. *Official Methods of Analysis*, 16th Edition. AOAC, Washington, D.C.
- Baker, D.C., Keeler, R.F., Gaffield, W., 1989. Pathology in hamsters administered *Solanum* plant species that contain steroidal alkaloids. *Toxicon* 27, 1331-1337.
- Baptista, R., Launchbaugh, K.L., 2001. Nutritive value and aversion of honey mesquite leaves to sheep. *J. Range Manage.* 54, 82-88.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L., Tisserand, J.L., 1999. Intake, digestibility, urinary purine derivatives and growth by sheep given fresh, air-dried or polyethylene glycol-treated foliage of *Acacia cyanophylla* Lindl. *Anim. Feed Sci. Tech.* 78, 297-311.
- Boyd, J.W., Murray, D.S., 1982. Growth and development of silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium*). *Weed Sci.* 30, 238-243.
- Boyd, J.W., D.S. Murray, D.S., Tyrl, R.J., 1984. Silverleaf nightshade, *Solanum elaeagnifolium*, origin, distribution, and relation to man. *Econ. Botany* 38, 210-216.
- Carlsson, J., Pehrson, B., 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by 2 different protein evaluation systems. *Acta Vet. Scand.* 35, 193-205.
- Chiale, C.A., Cabrera, J.L., Julián, H.R., 1991. Kaempferol 3-(6"-cis-cinnamoyl glucoside) from *Solanum elaeagnifolium*. *Phytochemistry.* 30, 1042-1043.
- Chiema, A.U., Caton, J.S., Freeman, A.S., Gaylean, M.L., 1991. Influence of protein level and Naloxone on intake, nitrogen metabolism and digestion kinetics in lambs fed oat hay or barley straw. *Small Rumin. Res.* 5, 35-46.

- Gelaye, S., Amoah, E., 1991. Nutritive value of florigraze rhizoma peanut as an alternative leguminous forage for goats. *Small Rumin. Res.* 6, 131-139.
- Gelaye, S., Amoah, E.A., Guthrie, P., 1990. Performance of yearling goats fed alfalfa and florigraze rhizoma peanut hay. *Small Rumin. Res.* 3, 353-361.
- Huntington, G.B., 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75, 852-867.
- Karnezoz, T.P., Matches, A.G., Preston, R.L., Brown, C.P., 1994. Corn supplementation of lambs grazing alfalfa. *J. Anim. Sci.* 72, 783-789.
- Keeler, R.F., Baker, D.C., Gaffield, W., 1990. Spirosolanine-containing *Solanum* species and induction of congenital craniofacial malformations. *Toxicol.* 28, 873-884.
- Megarrity, R.G., Jones, R.J., 1983. Toxicity of *Leucaena leucocephala* in ruminants: the effect of supplemental thyroxine on goats fed on a sole diet of *Leucaena*. *Austr. J. Agr. Res.* 34, 791-798.
- Mellado, M., Olvera, A., Dueñez, J., Rodríguez, A., 2004. Effects of continuous or rotational grazing on goats diets in a desert rangeland. *J. Appl. Anim. Res.* 26, 93-100.
- Mellado, M., Valdez, R., Lara, L.M., Lopez, R., 2003. Stocking rate effects of goats: A research observation. *J. Range Manage.* 56, 167-173.
- Nelson, A.B., Herbel, C.H., Jackson, H.M., 1970. Chemical composition of forage species selected by cattle on an arid New Mexico range. *Bull.* 561. New Mexico Agric. Exp. Station.
- Ngwa, A.T., Nsahlai, Iji, P.A., 2003. Effect of feeding legume pods or alfalfa in combination with poor quality straw on microbial enzyme activity and production of VFA in the rumen of South African Merino sheep. *Small Rumin. Res.* 48, 83-94.
- NRC., 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press, Washington, D.C.
- Porter, M.B., MacKay, R.J., Uhl, E., Platt, S.R., deLahunta, A., 2003. Neurologic disease putatively associated with ingestion of *Solanum viarum* in goats. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 223, 501-504.
- Preston, T.R., Leng, R.A., 1984. Supplementation of diets based on fibrous residues and byproducts. In: *Straw and Other Fibrous By-products as*

Feed. (Ed.: F. Sundstol and E. Owen). Elsevier Press, Amsterdam, Netherlands. pp 373-413.

Puls, R., 1994. Mineral levels in animal health. Diagnostic data. 2nd Ed. Sherpa Int. British Columbia, Canada.

Ramirez, R.G., Haenlein, G.F.W., GarciaCastillo, C.G., NunezGonzalez, M.A., 2004. Protein, lignin and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. Small Rumin. Res. 52, 261-269.

SAS INSTITUTE. 1989. SAS/Stat User's Guide, Version 6. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Seoane, J.R., 1982. Relationship between the physico-chemical characteristics of hays and their nutritive value. J. Animal Sci. 55, 422-431.

Welch, J.G., 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. J. Animal Sci. 54: 885-894.

Table 1. Ingredient composition (% DM) of diets containing various levels of *Solanum elaeagnifolium* hay

Ingredient	% substitution of alfalfa by <i>Solanum elaeagnifolium</i>				
	0	25	50	75	100
Alfalfa hay	30.0	22.5	15.0	7.5	0.0
<i>S. elaeagnifolium</i>	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0
Corn grain	49.9	49.7	49.6	49.4	49.2
Soybean meal	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
Animal fat	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cane molasses	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Bicarbonate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mix*	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Common salt	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

*Macro and micro elements, monensin, and vitamins A, D, E (GANATEC-25; Tecnicas Nutricionales S.A. de C.V., San Nicolas de los Garza, México).

Table 2. Chemical composition of *Solanum elaeagnifolium* and alfalfa hay

Items	<i>S. elaeagnifolium</i>	Alfalfa
Dry matter, g per 100 g fresh matter	81.4	80.10
Ash (%)	11.4	7.95
Crude fat (%)	2.5	3.30
Crude fiber (%)	32.1	23.10
Crude protein (total N x 6.25)	15.0	17.01
Nitrogen free extract (%)	38.9	48.64

Table 3. Performance data for kids fed diets containing various levels of *Solanum elaeagnifolium* hay

Item	T0	T25	T50	T75	T100
Number of kids	8	8	8	8	8
Initial live weight, kg	10.6 ± 0.9	10.5 ± 1.3	10.8 ± 1.9	11.4 ± 2.5	12.1 ± 2.3
Final live weight, kg	20.4 ± 2.2	19.9 ± 1.4	17.8 ± 2.1	16.1 ± 3.1	15.5 ± 1.7
Average daily gain, g	116 ± 22 ^a	112 ± 8 ^a	82 ± 21 ^b	56 ± 17 ^c	40 ± 14 ^c
Daily DMI, g	673 ± 46 ^a	633 ± 44 ^{ab}	601 ± 49 ^b	534 ± 99 ^c	495 ± 43 ^c
Daily DMI, % BW*	4.3	4.2	4.2	4.0	3.7
DMI to gain ratio	5.9 ± 0.9 ^a	5.7 ± 0.6 ^{ab}	7.6 ± 1.3 ^b	10.7 ± 5.2 ^b	15.2 ± 9.8 ^b

*Daily DMI ÷ [(initial live weight + final liveweight) ÷ 2]

Means not follow by the same superscript differ ($P < 0.01$).

Table 4. Mean ± SD serum metabolites and minerals for mixed-breed kids fed different levels of *Solanum elaeagnifolium* hay. Values are average of three samplings

Parameters	T0	T25	T50	T75	T100
Glucose (mg dl ⁻¹)	88.2 ± 8.8 ^a	87.7 ± 5.7 ^a	85.5 ± 8.7 ^{ab}	82.9 ± 10.4 ^{bc}	79.2 ± 9.3 ^c
Urea N (mg dl ⁻¹)	21.0 ± 1.8 ^a	20.3 ± 2.2 ^a	20.0 ± 2.3 ^a	20.4 ± 1.4 ^a	19.3 ± 1.7 ^b
Creatinine (mg dl ⁻¹)	1.4 ± 0.6 ^a	0.8 ± 0.3 ^a	1.5 ± 0.6 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	1.5 ± 1.1 ^a
Total prot, (mg dl ⁻¹)	5.2 ± 0.8 ^a	5.8 ± 0.6 ^a	6.6 ± 1.9 ^a	6.1 ± 1.0 ^a	5.3 ± 1.4 ^a
Cholesterol (mg dl ⁻¹)	91.6 ± 21.2 ^e	93.6 ± 11.7 ^e	86.8 ± 18.6 ^a	97.1 ± 17.8 ^a	90.8 ± 21.1 ^a
Albumin (mg dl ⁻¹)	3.1 ± 0.2 ^a	3.2 ± 0.2 ^a	3.2 ± 0.2 ^a	3.1 ± 0.3 ^a	2.9 ± 0.3 ^a
Mg (mg dl ⁻¹)	1.8 ± 0.3 ^a	1.9 ± 0.4 ^a	1.8 ± 0.3 ^a	2.0 ± 0.3 ^a	2.0 ± 0.3 ^a
Cu (ppm)	1.4 ± 0.4 ^a	1.2 ± 0.5 ^a	1.2 ± 0.4 ^a	1.5 ± 0.3 ^a	1.1 ± 0.5 ^a
Zn (ppm)	1.1 ± 0.4 ^a	1.0 ± 0.4 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	1.2 ± 0.4 ^a	1.0 ± 0.6 ^a

Means with different superscript in a row differ ($P < 0.05$).

Fig. 1. Regression of average daily gain and dry matter to gain ratio on the percentage of *Solanum eleagnifolium* hay.

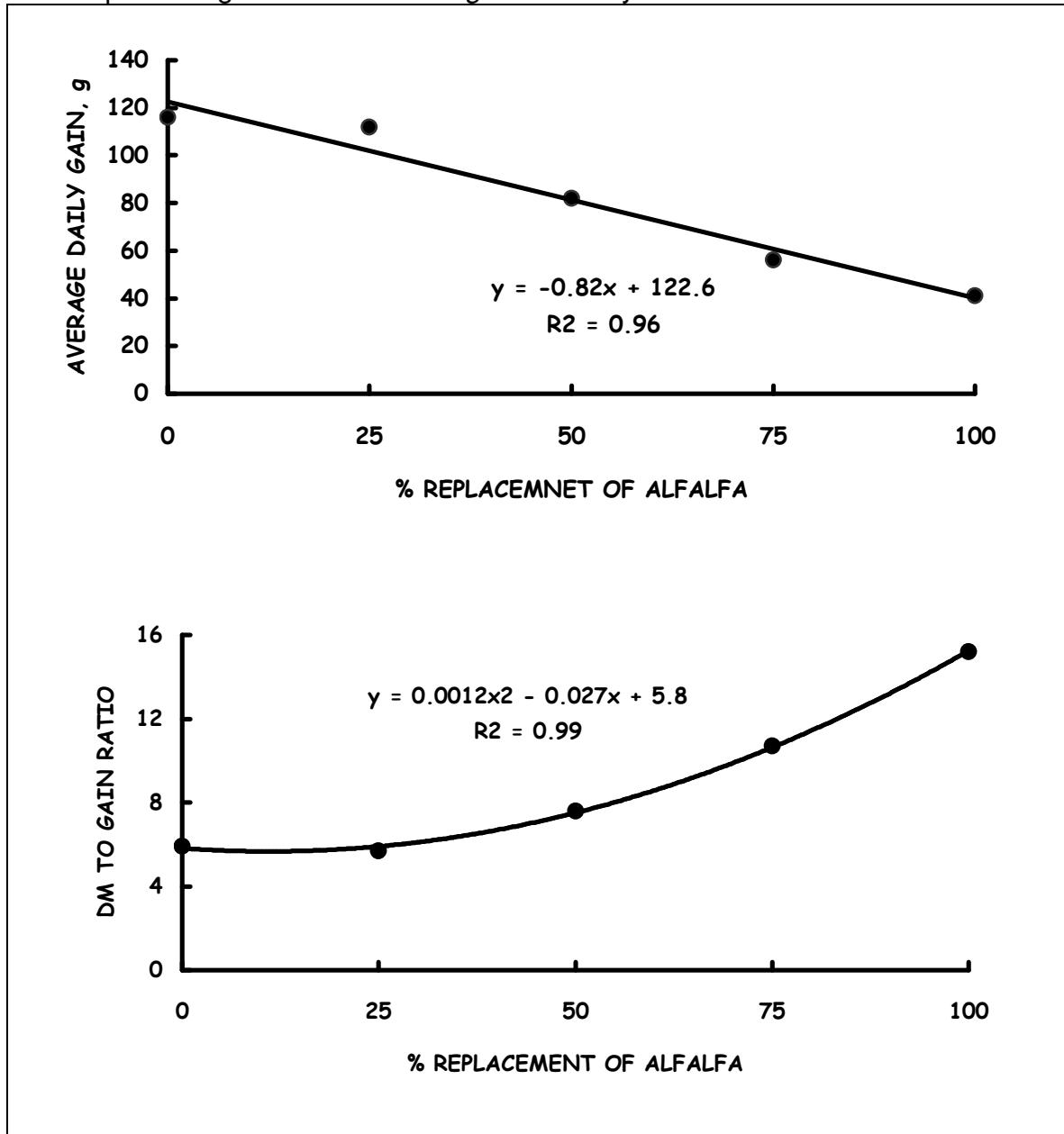
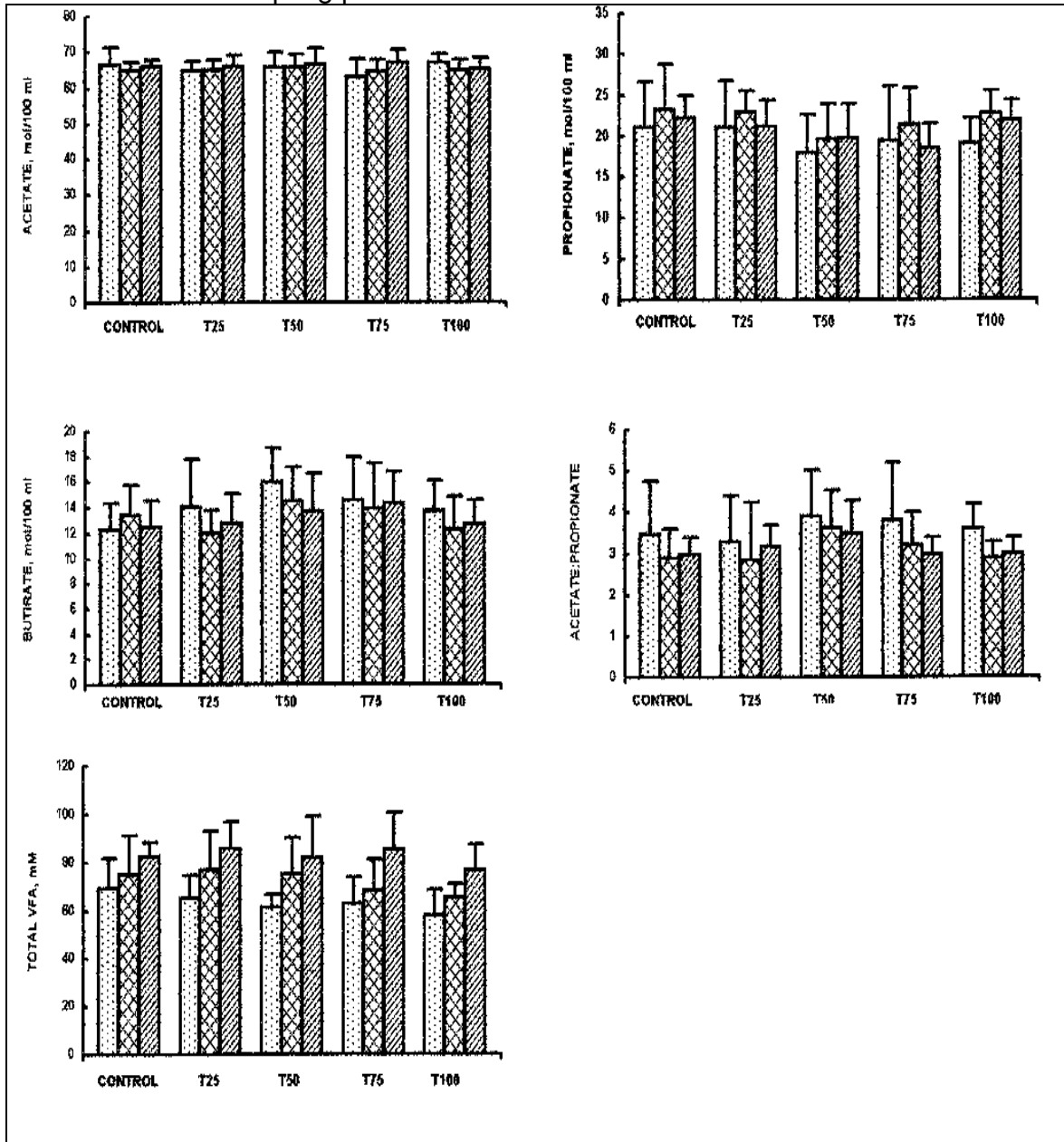


Fig. 2. Effects of levels of *Solanum elaeagnifolium* hay on total concentration and molar percentages of ruminal VFA in non-dairy growing goats during different sampling periods.



Effects of replacement of alfalfa by inflorescences of *Yucca carnerosana* in the diet on performance of growing kids

M. Mellado, J.E. García, J.A. Villarreal, H. Díaz

University Autonoma Agraria Antonio Narro, Department of Nutrition and foods,
Saltillo, Coah. 25315, Mexico

(Enviado para su publicación en: ***Animal Feed Science and Technology***)

Abstract

The effects of addition of air-dried inflorescences of *Yucca carnerosana* replacing alfalfa in the diet of growing goats were studied. Forty growing female kids (12.4 ± 2.1 kg; 3 months of age) were assigned to five equal groups in a completely randomized design. Zero (T0), 25 (T25), 50 (T50), 75 (T75) and 100% (T100) inflorescences of *Yucca carnerosana* were added for alfalfa replacement. Animals were fed twice daily with complete mixtures ration, with 30% of the diet as roughage. The experiment lasted for 56 days. Average daily gain (range 90 ± 6 - 125 ± 21 g) and voluntary feed intake (VFI) (471 ± 72 - 554 ± 44 g day⁻¹) were similar among the dietary groups. Feed efficiency was highest ($P < 0.05$) for T0 (4.0 ± 0.4), but similar to those of T25 and T50, and the lowest value was for T100 (6.2 ± 0.4). Ruminal total volatile fatty acid (VFA) concentration were similar among treatments (range 60.7 – 68.3 mM, averaged over 3 sampling times), but proportions of acetate was higher ($P < 0.05$) in T75 and T100 compared with other treatments. Overall molar proportion of propionate was higher in T0 than other dietary treatments, and acetate-to-

propionate ratio increased linearly with the inclusion of inflorescences of *Yucca carnerosana* in the diet. Kids in T0 presented higher ($P < 0.05$) levels of glucose, urea and cholesterol than kids in other dietary treatments. It was concluded that 50% alfalfa hay can be safely replaced with inflorescences of *Yucca carnerosana* in diets of growing kids, without any adverse effect on their growth performance.

Introduction

Inadequate nutrition is the main cause of low productivity by goats in the arid zones of Mexico. The only feed resources for goats in these regions are forages from natural rangelands; consequently nutritional deprivation is inevitable during dry periods. These deficiencies can be corrected by supplementation with high-density feeds, but feed supplementation is beyond the economic reach of goat producers in these ecosystems. To compensate for low availability of feed resources for goats, the peasants could use inflorescences of a great number of Yuccas present in the Chihuahuan desert range. *Yucca carnerosana* is a xerophytic evergreen tree which produces lush palatable inflorescences once a year in spring. For centuries this plant has served people of northern Mexico by providing soap, food, and fiber. Inflorescences of Yuccas are avidly consumed by bovines (Powell and Michael, 1988; Kerly et al., 1993) desert mule deer (Kerley et al., 1993, Krausman et al., 1997) and pronghorn (Kerly et al., 1993). Inflorescences of *Yucca carnerosana* in particular serves as a source for forage for cattle when forage is least available in northern Mexico, and after they are cut by farmers. Little knowledge exists concerning the use of the inflorescences of *Yucca carnerosana* in goat diets. The objective of this study was to evaluate the effect of feeding different levels of inflorescences of *Yucca carnerosana* as a forage source in soybean-meal and corn grain-based diets on the growth of juvenile goats.

Materials and methods

Goats and diets

This trial was conducted at the University Autonoma Agraria Antonio Narro, in Saltillo, Mexico (25° 22' N, 101° 00 W). Inflorescences of *Yucca carnerosana* were collected in a rangeland with abundance of this plant, adjacent to the University. All flowers (middle stage of maturity) were harvested in spring 2005, before the experiment, and were air-dried before storage.

Forty mixed-breed female kids, native of this region and raised under range conditions were used in a completely randomized design experiment. The kids were 3 months old with an initial live weight of 12.4 ± 2.1 kg ($x \pm SD$). Upon arrival, kids were ear tagged, treated for internal and external parasites and vaccinated for protection against various clostridiums. Kids were randomly assigned to five dietary treatments, where alfalfa hay was gradually replaced with air-dry inflorescences of *Yucca carnerosana* at 0, 25, 50, 75 and 100%, with eight animals per treatment. The ingredient composition of the diets is presented in Table 1. Diets were balanced to meet the recommended requirements (NRC, 1981) for growing kids. Each diet was mixed to minimize differences in physical form and to prevent sorting by animals.

The kids were kept in pens (1.5 x 2 m; two kids per pen) with cement floors in a well ventilated animal house. Feed was offered fresh *ad libitum* twice daily at 08:00 h and 16:00 h, with water permanently available. The troughs were cleaned out before feeding and refusals were collected and weighed.

VFI and weight gain were measured over a period of 8 weeks after an initial period of 1 week, during which the animals were adapted to the diets.

Kids were weighed at the beginning of the experimental period and then every 2 weeks to determine average daily gain (ADG) and efficiency of feed utilization.

Forages were analysed for their DM, OM, fat content, crude fiber, nitrogen free extract and Kjeldahl nitrogen by the methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1980).

At the end of the feeding trial blood samples were collected at zero, two and four hours after the morning meal by jugular venipuncture into 10-mL evacuated tubes without heparin. Blood was allowed to clot at ambient temperature for 2 h. These samples were centrifuged at 1,500 x g at room temperature for 15 min and the serum harvested and stored at -15°C. Concentrations of glucose, urea, cholesterol, albumin and total proteins, as well as Mg, Cu and Zn concentration were determined. Serum metabolites were assayed using spectrophotometric methods following protocols supplied by the kits manufacturers. Serum minerals were determined by atomic absorption spectrophotometric methods.

Samples of rumen fluid were taken from all goats three times daily at the end of the trial (before feeding as well as 2 and 4 h after feeding). Ruminal fluid samples were collected via stomach tube connected to an electric vacuum pump. Immediately after collection, 50 mL of ruminal fluid was strained through four layers of cheesecloth. Ruminal fluid samples were centrifuged at 12,000 x g for 20 min and the supernatant was saved and stored frozen at -20°C. Individual concentrations of VFA analysis of ruminal fluid was accomplished by gas liquid chromatography. Total VFA concentration was calculated as the sum of the concentration of individual VFAs and molar proportions of individual VFAs were calculated as percentages $\text{mol } 100 \text{ mol}^{-1}$ of total VFA concentration.

Statistical analysis

Performance data were analyzed using the GLM procedures of SAS (1989) for a completely randomized design comparing five treatments. The model included the effect due to diet and initial BW was included as covariate. Residual mean square was the error term and animal was the experimental unit. For feed intake pens were the experimental units. For particular mineral concentrations, effects due to treatment were analyzed using the GLM procedures of SAS (1989). For ruminal VFA concentrations and particular serum metabolites, effects due to treatment, time, and treatment x time interactions were analyzed using the MIXED procedures of SAS (1989). Residual mean square was the error term.

Results and discussion

Forage composition

The chemical composition of the inflorescences of *Yucca carnerosana* and alfalfa hay is shown in Table 1. The nutrient content of inflorescences of *Yucca carnerosana* did not compare favourably with that of alfalfa. The crude protein content of *Yucca carnerosana* was much lower than those of alfalfa. Also, *Yucca carnerosana* contained more crude fiber than alfalfa. The proximate values for the inflorescence of *Yucca carnerosana* were lower than those reported by Kerley et al. (1993) for inflorescences of *Yucca elata*. This could be due to the fact that inflorescences in the present study were mature and included the stalk.

Growth trial

The influence of level of inflorescences of *Yucca carnerosana* on growth performance of growing kids is shown in Table 2. ADG ranged from 90 ± 6 to

125 ± 21 g, however, no differences between diets were observed. There are no comparable studies showing the growth performance of goats consuming *Yucca carnerosana*, but rate of gain in this study (maximum 125 g day⁻¹) is higher to data reported by Anandan et al. (1999) and Abdel-Rahman and El Kaschab (1998) for native well fed goats, of similar age and weight. Growth rate is an important measure in the evaluation of new feed resources because it represents the sum effects of the feed properties. In this study inflorescences of *Yucca carnerosana* did not show a significant growth-depressing effect, which demonstrate the effectiveness of substituting alfalfa by mature inflorescences of *Yucca carnerosana*.

Daily feed intakes were not different among treatments. The observed figures for VFI of all dietary treatments were considered high, which suggest a high consumption capacity by these local goats. The first effect remarked upon when some shrubs are included in the diet of small ruminants is the consequent fall in food intake, an effect that is attributed to the effect of allelochemicals (Megarrity and Jones, 1983; Ben Salem et al., 1999; Baptista and Launchbaugh, 2001). Thus, the antiherbivory chemistry of inflorescences of *Yucca carnerosana* does not seem to be important for goats.

The response to feeding the highest levels of *Yucca carnerosana* was a marked reduction ($P < 0.05$) in feed conversion efficiency relative to T0, T25 and T50. These results are supported by those of Aregheore (2004) in which efficiency of gain followed the pattern of daily weight live weight gain. The difference in feed efficiency of kids between T0 and T100 was 55%. The possible depressing effect on feed efficiency of including high levels of *Yucca carnerosana* in the diet could be the much higher concentration of fibre and lower concentration of crude protein of *Yucca carnerosana* compared with alfalfa. Feed efficiency improves as the nutrient level increased in the ration (Negesse et al., 2001).

Mean values of rumen fermentation parameters are shown in Fig. 1. Total VFA concentration in ruminal fluid was unaffected either by time post-feeding, level of inflorescences of *Yucca carnerosana* and time x diet interaction. Molar concentration of acetic acid was significantly raised ($P < 0.05$) by increasing *Yucca carnerosana* level. On the other hand, molar concentration of propionic acid was significantly reduced by increasing *Yucca carnerosana* level ($P < 0.05$). Higher propionate concentrations were at the expense of acetate, which was lower ($P < 0.05$) in diets with the higher proportion of alfalfa. There were no significant differences in butyrate concentrations as a result of dietary treatment. Ruminal VFA pattern presumably reflects substrate composition, particularly as it relates to rates of carbohydrate degradation in the rumen (Murphy et al., 1982). Higher molar proportions of propionate and lower molar proportion of acetate were expected for T0 diet than for T100 diet due to the higher concentration of fibre and lower concentration of crude protein of *Yucca carnerosana* compared with alfalfa. Animals offered the highest levels of *Yucca carnerosana* tended to have greater acetate:propionate ratio ($P = 0.06$) than animals offered the control diet. Corbett (1987) suggested that rumen acetate:propionate ratios above 3:1 indicated that herbage water soluble carbohydrate levels are sufficiently low to limit the supply of readily available energy for microbial protein synthesis. Also, there is a clear relationship among acetate to propionate ratio and dietary fibre intake (Santini et al., 1992). In this study, values of 3.38 and 4.45 were observed for control and T100, respectively, which imply that diets affected the proportion of fermented nutrients. These results are lower than those of Ngwa et al. (2003) who reported values > 6 for sheep fed diverse shrub forages.

Diet had a major effect on serum metabolites. Serum glucose concentrations in kids consuming the T100 diet were lower ($P < 0.05$) than those of kids fed the other diets. Ruminants rely on endogenous glucose production to meet the demand for glucose by different tissues. Propionate from ruminal fermentation is often the major gluconeogenic precursor (Bergman, 1990). The

relative contribution of propionate and other precursors to gluconeogenesis is affected, among other factors, by nutritional status (Demigne et al., 1991), and diet (Danfaer et al., 1995). In the present study lower serum levels of glucose in kids consuming T100 suggests that protein levels and energy may not have been adequate for maximal growth rate.

Serum urea concentrations were also lower ($P < 0.05$) in kids consuming the T100 diet compared with kids fed all other diets. Urea nitrogen of blood is a good indicator of concentration of rumen ammonia, and this related closely to intake and solubility of the nitrogen-containing compounds fed (Oltner and Wiktorsson, 1983; Magdus et al., 1988; Carlsson and Pehrson, 1994). In the present trial, the total replacement of alfalfa by *Yucca carnerosana* apparently affected energy and protein utilization by kids. Yuccas contain saponins, steroid or triterpene glycoside compounds that have beneficial effects on rumen fermentation (Lila et al., 2005; Wina et al., 2005), but this beneficial effect was not evident in the present study.

Blood cholesterol was another of the serum metabolites sensitive to diets, with kids consuming the T25 and T75 diet having greater ($P < 0.05$) blood cholesterol concentrations than kids consuming all other diets (Table 4). Blood cholesterol concentration is either associated with body condition score in goats (Cabiddu et al., 1999), or with mobilization of body fat reserves (Pambu-Gollah et al., 2000); thus, the relation between this metabolite and energy balance in goats is not fully defined.

Diet did not affect blood creatinine, albumin and total proteins concentrations in the current experiment. Blood concentration of Mg, Cu and Zn were within the normal range for goats in the tropics and subtropics (Puls, 1994), and comparisons among treatments showed no significant differences in serum mineral examined. There were no visible or biochemical signs of ill health (inappetence, lethargy, shaking or instability) in any kid fed *Yucca carnerosana*,

which suggests that secondary compounds of this forage were well tolerated by goats.

Conclusions

Feeding dry inflorescences of *Yucca carnerosana* as a supplemental forage source could be a potential valuable strategy in small-holder goat farming systems in arid zones with abundance of this tree, because utilization of *Yucca carnerosana* with soybean meal and corn grain supported a rate of growth of young mixed-breed doelings as great as feeding alfalfa hay. However, total replacement of alfalfa by *Yucca carnerosana* depressed feed efficiency as well as serum metabolites indicative of the nutritional status of kids, which suggests that only 50% alfalfa hay can be replaced with inflorescences of *Yucca carnerosana* in diets of growing kids, without any adverse effect on their growth performance and health.

References

- Abdel-Rahman, K.M., El Kaschab, S., 1998. Nutritional performance of Damascus and Jamnapari crossbred growing male goats. *Small Rumin. Res.* 27, 279-281.
- Anandan, S., Sastry, V. R. B., Katiyar, R. C., Agrawal, D.K., 1999. Processed neem kernel meal as a substitute for peanut meal protein in growing goat diets. *Small Rumin. Res.* 32, 125-128.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1980. *Official Methods of Analysis* 13th edition . AOAC, Washington, DC.
- Aregheore, E.M., 2004. Nutritive value of sweet potato (*Ipomea batatas* (L) Lam) forage as goat feed: voluntary intake, growth and digestibility of mixed rations of sweet potato and batiki grass (*Ischaemum aristatum* var. *indicum*). *Small Rumin. Res.* 51, 235-241.
- Baptista, R., Launchbaugh, K.L., 2001. Nutritive value and aversion of honey mesquite leaves to sheep. *J. Range Manage.* 54, 82-88.

- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L., Tisserand, J.L., 1999. Intake, digestibility, urinary purine derivatives and growth by sheep given fresh, air-dried or polyethylene glycol-treated foliage of *Acacia cyanophylla* Lindl. *Anim. Feed Sci. Tech.* 78, 297-311.
- Bergman, E.N., 1990. Energy contribution of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol. Rev.* 70:567–590.
- Cabiddu, A., Branca, A., Decandia, M., Pes, A., Santucci, P.M., Masoero, F., Calamari, L., 1999. Relationship between body condition score, metabolic profile, milk yield and milk composition in goats browsing a Mediterranean shrubland. *Liv. Prod. Sci.* 61, 267-263.
- Carlsson, J., Pehrson, B., 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by 2 different protein evaluation systems. *Acta Vet. Scand.* 35, 193-205.
- Corbett, J.L., 1987. Energy and protein utilisation by grazing animals. In: *Temperate pastures: their production, use and management* (Wheeler, J. L., Pearson, C.J. and Robards, G.E. (Ed.)). CSIRO Publication. pp. 341-355.
- Danfaer, A., Tetens, V., Agergaard, N., 1995. Review and an experimental study on the physiological and quantitative aspects of gluconeogenesis in lactating ruminants. *Comp. Biochem. Physiol.* 111B, 201-210.
- Demigne, C., Yacoub, A., Morand, C., Remesy, C., 1991. Interactions between propionate and amino-acid metabolism in isolated sheep hepatocytes. *Br. J. Nutr.* 65:301-317.
- Kerley, G.I.H., Tiver, F., Whitford, W.G., 1993. Herbivory of clonal populations: cattle browsing affects reproduction and population structure of *Yucca elata*. *Oecologia.* 93, 12-17.
- Krausman, P.R., Kuenzi, A.J., Etchberger, R.C., Rautenstrauch, K.R., Ordway, L.L., Hervert, J.J., 1997. Diets of mule deer. *J. Range Manage.* 50, 513-522.
- Lila, Z.A., Mohammed, M., Kanda, S., Kurihara, M., Itabashi, H., 2005. Sarsaponin effects on ruminal fermentation and microbes, methane production, digestibility and blood metabolites in steers. *Asian – Aust. J. Anim.Sci.*, 18, 1746-1751.
- Magdus, M., Fekete, S., Frenyó, L.V., Miskuczka, O., Kotz, L., 1988. Milk production and certain parameters of energy metabolism in dairy cows

fed rations of varying energy and crude protein contents and fat. Acta Vet. Hung. 36, 43-59.

- Megarrity, R.G., Jones, R.J., 1983. Toxicity of *Leucaena leucocephala* in ruminants: the effect of supplemental thyroxine on goats fed on a sole diet of *Leucaena*. Austr. J. Agr. Res. 34, 791-798.
- Murphy, M.R., Baldwin, R.L., Koong, L.J., 1982. Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. J. Anim. Sci. 55:411-416.
- Ngwa, A.T., Nsahlai, Iji, P.A., 2003. Effect of feeding legume pods or alfalfa in combination with poor quality straw on microbial enzyme activity and production of VFA in the rumen of South African Merino sheep. Small Rumin. Res. 48, 83-94.
- Negesse, T., Rodehutsord, M., Pfeffer, E., 2001. The effect of dietary crude protein level on intake, growth, protein retention and utilization of growing male Saanen kids. Small Rumin. Res. 39, 243-251.
- NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press, Washington, D.C.
- Oltner, R., Wiktorsson, H., 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding various amounts of protein and energy to dairy cows. Liv. Prod. Sci. 10, 457-467.
- Pambu-Gollah, R., Cronjé, P.B., Casey, N.H., 2000. An evaluation of the use of blood metabolite concentrations as indicators of nutritional status in free-ranging indigenous goats. S. Africa J. Anim. Sci. 30, 115-120.
- Powell, A.M., and J. T. Michael. 1988. Trees and shrubs of Trans-Pecos Texas including Big Bend and Guadalupe Mountains National Parks. Big Bend National Park, TX: Big Bend Natural History Association. 536 p.
- Puls, R., 1994. Mineral levels in animal health. Diagnostic data. 2nd Ed. Sherpa Int. British Columbia, Canada.
- Ralphs, M.H., Graham, J.D., Duff, G., Stegelmeier, B.L., James, L.F., 2000. Impact of locoweed poisoning on steer weight gains. J. Range Manage. 53, 86-90.
- Santini, F.J., Lu, C.D., Potchoiba, M.J., Fernández, J.M., Coleman, S.W., 1992. Dietary fibre and milk yield, mastication, digestion and rate of passage in high Alpine goats fed Alfalfa hay. J. Dairy Sci. 75, 209-219.

SAS INSTITUTE. 1989. SAS/Stat User's Guide, Version 6. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Wina, E., Muetzel, S., Becker, K., 2005. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production - A review. J. Agric. Food Chem. 53, 8093-8105.

Table 1. Ingredient composition (% DM) of diets containing various levels of inflorescences of *Yucca carnerosana* hay

Item	T0	T25	T50	T75	T100
Alfalfa hay	30.0	22.5	15.0	7.5	0.0
<i>Yucca carnerosana</i>	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0
Corn grain	49.9	49.7	49.6	49.4	49.2
Soybean meal	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
Animal fat	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cane molasses	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Bicarbonate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mix*	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Common salt	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

*Macro and micro elements, monensin, and vitamins A, D, E (GANATEC-25; Tecnicas Nutricionales S.A. de C.V., San Nicolas de los Garza, México).

Table 2. Chemical composition of inflorescences of *Yucca carnerosana* and alfalfa hay

	<i>Yucca carnerosana</i>	Alfalfa
Dry matter, g per 100g fresh matter	89.6	80.10
Ash (%)	9.6	7.95
Crude fat (%)	1.6	3.30
Crude fiber (%)	22.2	23.10
Crude protein (total N x 6.25)	12.9	17.01
Nitrogen free extract (%)	53.7	48.64

Table 3. Performance data for kids fed diets containing various levels of inflorescences of *Yucca carnerosana* hay

Item	T0	T25	T50	T75	T100
Number of kids	8	8	8	8	8
Initial live weight, kg	9.9 ± 1.1	11.1 ± 2.8	10.4 ± 1.2	15.0 ± 1.6	15.7 ± 2.7
Final live weight, kg	16.4 ± 1.2	17.5 ± 3.4	17.4 ± 1.5	20.8 ± 1.3	21.2 ± 2.7
Average daily gain, g	117 ± 9 ^a	115 ± 20 ^a	125 ± 21 ^a	102 ± 28 ^a	90 ± 6 ^a
Daily DMI, g	471 ± 72 ^a	528 ± 70 ^a	501 ± 67 ^a	548 ± 49 ^a	554 ± 44 ^a
Daily DMI, % BW*	3.6	3.7	3.6	3.1	3.0
DMI to gain ratio	4.0 ± 0.4 ^a	4.6 ± 0.5 ^a	4.1 ± 0.6 ^a	5.7 ± 1.3 ^b	6.2 ± 0.4 ^b

*Daily DMI ÷ [(initial live weight + final liveweight) ÷ 2]

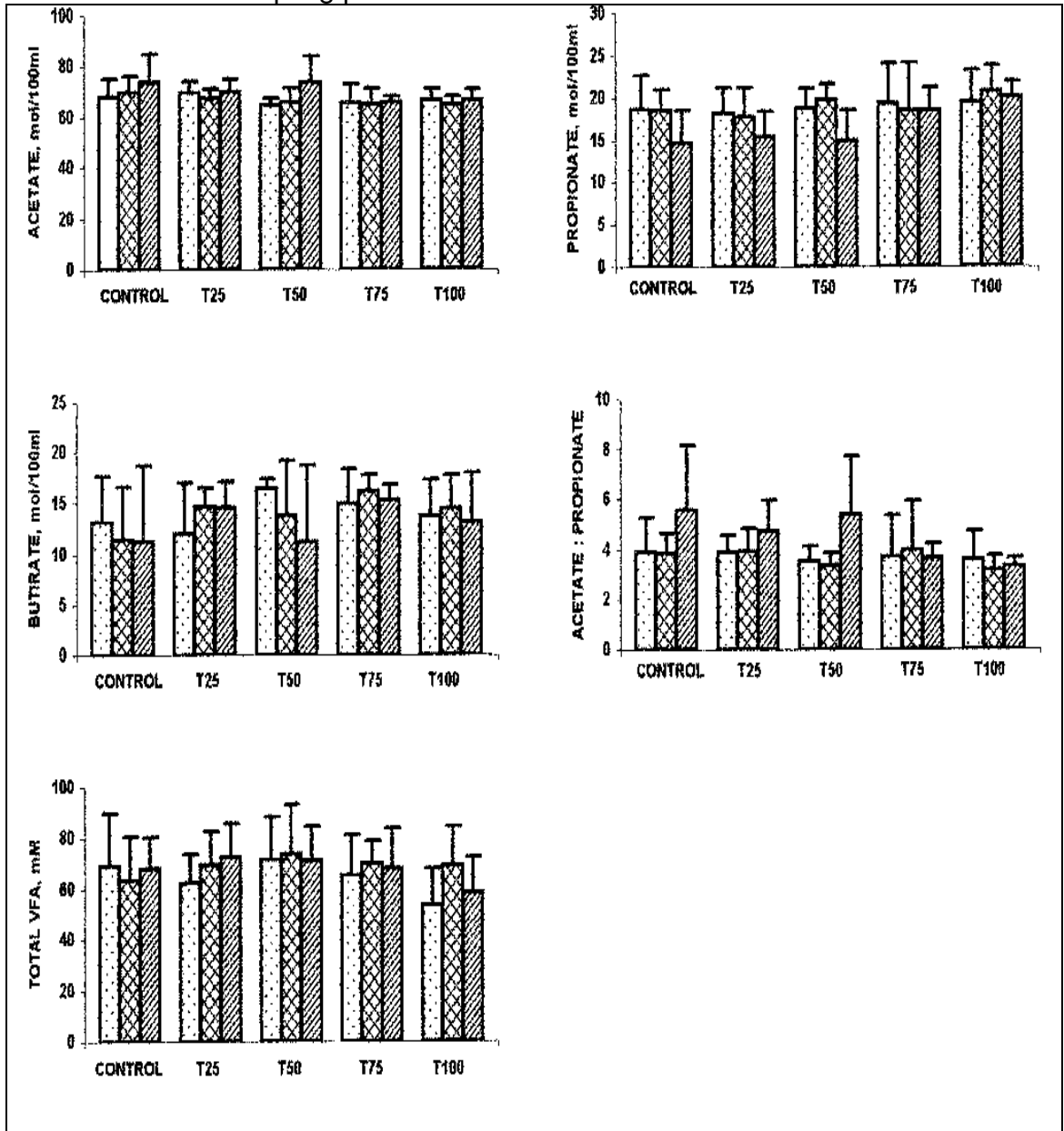
Means not follow by the same superscript differ ($P < 0.05$)

Table 4. Mean ± SD serum metabolites and minerals for mixed-breed kids fed different levels of *Yucca carnerosana* hay. Values are averages over three sampling times

Parameters	T0	T25	T50	T75	T100
Glucose (mg dl ⁻¹)	66.4 ± 15.8 ^a	64.7 ± 15.9 ^a	62.5 ± 22.3 ^a	62.8 ± 18.8 ^a	59.0 ± 21.2 ^b
Urea N (mg dl ⁻¹)	19.7 ± 2.1 ^a	20.6 ± 1.2 ^a	19.3 ± 2.4 ^a	19.8 ± 1.2 ^a	19.2 ± 1.4 ^b
Creatinine (mg dl ⁻¹)	0.8 ± 0.5 ^a	0.8 ± 0.3 ^a	0.7 ± 0.4 ^a	0.9 ± 0.4 ^a	0.8 ± 0.3 ^a
Total prot, (mg dl ⁻¹)	6.2 ± 1.3 ^a	6.1 ± 1.0 ^a	6.1 ± 1.0 ^a	6.2 ± 0.8 ^a	6.1 ± 1.0 ^a
Cholesterol (mg dl ⁻¹)	100 ± 21 ^a	114 ± 15 ^b	102 ± 24 ^a	108 ± 17 ^{ab}	98 ± 25 ^a
Mg (mg dl ⁻¹)	2.3 ± 0.4 ^a	2.2 ± 0.5 ^a	2.1 ± 0.5 ^a	2.1 ± 0.5 ^a	2.2 ± 0.5 ^a
Cu (ppm)	1.3 ± 0.4 ^a	1.3 ± 0.4 ^a	1.2 ± 0.5 ^a	1.2 ± 0.5 ^a	1.2 ± 0.4 ^a
Zn (ppm)	1.2 ± 0.5 ^a	1.1 ± 0.4 ^a	1.2 ± 0.4 ^a	1.1 ± 0.5 ^a	1.2 ± 0.5 ^a

Means with different superscript in a row differ ($P < 0.05$)

Fig. 1. Effects of levels of *Yucca carnerosana* hay on total concentration and molar percentages of ruminal VFA in non-dairy growing goats during different sampling periods.



Agave scabra flowers as a feed resource for goats

M. Mellado, J.E. García, A. Rodríguez

University Autonoma Agraria Antonio Narro, Department of Nutrition and foods,
Saltillo, Coah. 25315, Mexico

(Enviado para su publicación en: ***Animal Feed Science and Technology***)

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of *Agave scabra* flowers on feed intake, growth performance, volatile fatty acid production in the rumen and particular serum metabolites and minerals of growing goats. Forty growing female kids of undefined genotype with an initial weight of 11.1 ± 1.9 kg (mean \pm S.D.) were used in a completely random design experiment that lasted for 84 days. Treatments consisted of offering kids (8 animals per group) air-dry *Agave scabra* flowers at 0 (control; T0) 25 (T25), 50 (T50) 75 (T75) and 100% (T100) of the forage in diets based on corn grain and soybean meal. Animals were fed twice daily with complete mixtures ration, with 30% of the diet as roughage. There were no differences ($P > 0.05$) in average daily gain (AVD) between T0 (132 ± 32 g day⁻¹), T25 (155 ± 22 g day⁻¹) and T75 (125 ± 27 g day⁻¹) diets. ADG was significantly ($P < 0.05$) lower in T50 (106 ± 9 g day⁻¹) and T100 (108 ± 23 g day⁻¹) diet as compared to other experimental diets. Dry matter intake (DMI) was not affected by dietary treatments (range 3.4 to 3.6% of body weight). The gain to feed ratio increased 27% with total

substitution of alfalfa by *Agave scabra* flowers, in comparison to the control diet. Lower ($P < 0.05$) values of total volatile fatty acids (VFA) were obtained with T100, in comparison with all other dietary treatments. Total replacement of alfalfa by flowers of *Agave scabra* resulted in decreased ($P < 0.01$) proportion of ruminal propionate and increased proportion of acetate, compared to T0. Acetate:propionate ratio was higher ($P < 0.05$) for T100 (3.2) than for T0 (2.5) diets. No treatment effect ($P > 0.05$) on serum glucose, cholesterol, total protein, albumin and microelements was observed, but serum urea decreased ($P < 0.05$) with increased proportions of *Agave scabra* flowers in the diet. These results demonstrate that feeding of growing goats on *Agave scabra* flowers diets did not affect, ADG (comparison of control vs T100), and DMI, although *Agave scabra* flowers compromised feed efficiency at the 100% level.

Introduction

Production of alfalfa remains a top priority of most intensive dairy cattle and goat operations in the arid zones of northern Mexico, but yield trends has stagnated over the past years due to an increasing water deficit in areas with <250 mm of annual rainfall. Thus, environmental concerns advocate a lower use of alfalfa crop in desert areas. Possible substitutes for alfalfa in this arid environment are different desert plants with high forage potential, such as *Agave scabra*. These plants are highly efficient in the use of water and withstand dry periods and extreme heats. These traits make them highly promising in ample areas of limited rainfall of northern Mexico in soils of poor fertility. For centuries, *Agave scabra* has been used for obtaining fibers for weaving; brush making and other crafts, construction materials, soap, small furniture, ornaments, food and beverages, and its leaves are cut and trimmed to feed livestock in northern Mexico. Flower stalks are eaten by deer and cattle. However, the foliage of this plant contain low levels of protein and high content of cell wall (Martinez, 1994), which limit its use as animal fodder. An alternative use of this plant for livestock would be the use of its flowers. Since the reproduction of this plant is basically

asexual (Arizaga and Escurra, 2002) via the multiplication of ground-level offshoots, gathering the flowers does not prevent its reproduction. Long-term growth trials assessing the significance of protein and other nutrients in flowers of *Agave scabra* have not been conducted. Therefore, the aim of the present study was to assess the nutritional value and animal health aspects of flowers of *Agave scabra* as a feed for growing goats. Comparisons were made against alfalfa, which is commonly used in Mexico in diets for dairy goats.

Material and methods

The experiment was conducted at the University Autonoma Agraria Antonio Narro (25° 22' N, 101° 00 W). Forty 2-month-old mixed breed female kids (11.1 ± 1.9 kg initial body weight) were equally and randomly allotted to five dietary groups with eight replications of two kids per pen per diet, to evaluate the effect of feeding different levels of *Agave scabra* flowers on growth performance and rumen and blood parameters. *Agave scabra* flowers (panicles) were collected prior to the experiment in March 2005, in a rangeland with abundance of this plant adjacent to the University. This material was air-dried and was chopped to a uniform size (6-8 mm) to facilitate uniform mixing with the grain. A sample of this forage as well as alfalfa hay was ground through a Wiley mill to pass a 2-mm screen and were analyzed for dry matter, crude protein, crude fiber, nitrogen free extract, ether extract and ash content (AOAC, 1984).

Prior to initiation of the study, goats were vaccinated against clostridiums, and treated for elimination of internal and external parasites with Ivomec (Merck and Company, Rahway, NJ). Goats were housed in open-sheds with free access to water and feed throughout the 84-days study period. Goats were weighed at the beginning of the trial and at biweekly intervals thereafter.

Throughout the experiment, juvenile goats were offered a complete mixtures ration formulated to meet the requirements of growing goats (NRC,

1981), based on corn grain and soybean meal diet, with 30% of the diet as roughage, in two equal meals (09:00 and 18:00 h). Details of the diet formulations are given in Table 1. Samples of foods and refusals from each pen were collected daily, bulked and dried at 105°C for 24 h to determine DMI. Pen intake was adjusted to allow for 15% refusals.

At the end of the trial ruminal fluid (approximately 50 mL) was collected from all goats with a stomach tube connected to an electric vacuum pump. Samples were strained through four layers of cheesecloth. A 16-mL subsample was acidified by addition of 4 mL of 24% (wt/vol) meta-phosphoric acid and was stored (-20°C) for later processing and analyses. Total volatile fatty acids (VFA) concentration was calculated as the sum of the concentration of individual VFAs and molar proportions of individual VFAs were calculated as percentages mol 100 mol⁻¹ of total VFA concentration.

On the final day of the experiment, blood was collected from the jugular vein of all kids before feeding and 2 and 4 h after feeding. The blood sample was allowed to coagulate and, after centrifugation, the serum was decanted by centrifugation at 2400 x g for 20 min and stored at -20°C until analysed for glucose, urea N, creatinine, cholesterol, albumin, total serum protein, Mg, Cu, and Zn. Serum metabolites were determined using spectrophotometric methods following the procedures outlined by the kit manufacturers.

Performance data were analyzed statistically by the GLM procedure of SAS (1989). In the growth trial, feed intake, and rate of body weight gain and final body weight were adjusted using initial body weight as a covariate in the model. When differences were significant, the Tukey's test was used to compare treatment means. For particular mineral concentrations, effects due to treatment were analyzed using the GLM procedures of SAS (1989). For ruminal VFA concentrations and particular serum metabolites, effects due to treatment, time,

and treatment x time interactions were analyzed using the MIXED procedures of SAS (1989). Residual mean square was the error term.

Results and discussion

The crude protein content of *Agave scabra* flowers was much lower than those of the alfalfa hay (Table 2), but it compares favourably with leaves of most desert shrubs of northern Mexico (Ramirez et al., 1997a, 2000; Ramírez-Orduña et al., 2003). The crude fibre content of *Agave scabra* was comparable to that of alfalfa. Ether extract, ash and nitrogen-free extract compares favorably with that of alfalfa.

Goats achieved average daily gains $>106 \text{ g day}^{-1}$ with the highest level of flowers of *Agave scabra* in the diet, with no differences between T0, T25 and T75, but goats offered T50 and T100 grew slower ($P < 0.05$) compared to goats receiving other experimental diets (Table 3). These results indicate that forage quality of flowers of *Agave scabra* did not match goat nutritional requirements for maximum growth rate. Low concentrations of protein in feed depress digestibility of DM and other nutrient fractions (Hill et al., 1986), and this appeared to be the dominant factor influencing slower growth rate in goats receiving T100.

Feed intake did not decrease with increasing inclusion of flowers of *Agave scabra*, suggesting that chemical defenses of this forage did not alter palatability, although palatability and intake are not necessarily positively associated (Baumont, 1996). Lack of inclusion of *Agave scabra* effect on DMI is similar to other results observed with fodder tree species providers of animal forage. Norton (1994) observed an increased DMI with increasing levels of fodder tree (*Leucaena leucocephala*, *Albizia chinenses* and *Sesbanian sesban*) supplementation in goats receiving straw-based diets. This author noted, in all cases, an associative effect of these tree leaves on DMI. Phiri et al. (1992) also found a beneficial effect of supplementing foliage of *Leucaena leucocephala* and

Calliandra calothyrsus on goat performance fed a diet of maize husks. Generally, supplements decreased intake with improved forages (Moore et al., 1999), but this was not the case in the present study. Other shrubs such as *Atriplex numularia* (Azócar et al., 1996), *Leucaena leucocephala* (Nantoumé et al., 2001) and prickly pear (Azócar et al., 1996; McMillan et al., 2002) also do not decreased DMI when replacing alfalfa in goat diets.

Feed efficiency was higher ($P < 0.05$) in goats fed T0 and T25 diets than those fed other experimental diets (Table 3). The gain to feed ratio increased 27% with total substitution of alfalfa by *Agave scabra* flowers, in comparison to the control diet. Higher feed efficiency observed with T25 may be explained in terms of the higher weight gains of these goats and possibly to a positive associative effect upon available energy concentration of the total diet (Moore et al., 1997). In the current study, the highest level of flowers of *Agave scabra* did not alter DMI but decreased ADG and feed efficiency, a response seen with other desert shrubs such as *Atriplex numularia* (Azócar et al., 1996). The lower content of protein of *Agave scabra* and possibly the lack of positive associative effect of this forage with alfalfa apparently decreased goat's performance. Various authors have proposed that animal performance may be improved by a synchronisation of energy and nitrogen supply to the rumen. The importance of this synchrony to the associative effects of mixtures of forages has been proposed. Glenn (1989) suggested that the mode of action of the associative effects in mixtures of alfalfa (*Medicago sativa*) and orchardgrass (*Dactylis glomerata*) was a synergism in rumen fermentation of NDF and N from the two species.

A time x level of flowers of *Agave scabra* interaction ($P < 0.05$) was observed for ruminal total VFA, therefore the data were analysed for effect of diets within times post-feeding. At zero, 2 and 4 hours post-feeding ruminal concentrations of VFA in goats receiving T0 were 19, 4 and 28% greater ($P < 0.01$) than goats on T100 (Fig. 1), reflecting a reduced microbial activity with the

highest levels of *Agave scabra* flowers. In vitro studies indicate that, in general, browse forage from trees and shrubs growing in the Chihuahuan desert range produce lower total VFA values than alfalfa hay (Holechek et al., 1989; Ramirez et al., 1997b). The VFA output was higher than the values reported by Ngwa et al. (2003) for shrubs fed to goats.

Diet x time of day interaction was not observed for molar proportion of acetate. Both time post-feeding and levels of flowers of *Agave scabra* affected molar proportion of this VFA, being 5 percent points higher ($P < 0.01$) with T100 than with T0 (Fig. 1). Molar proportion of propionate was also affected by time post-feeding and levels of *Agave scabra* flowers ($P < 0.01$), but not by the interaction diet x time, decreasing this VFA as levels of *Agave scabra* increased. The increase in propionate seemed to be at the expense of acetate. The increases in propionate production with the highest levels of alfalfa indicate that the changes were primarily functions of fermentation of carbohydrates provided by this legume. Ascending levels of *Agave scabra* tended to decreased ($P = 0.08$) molar proportion of butyrate, whereas the acetate:propionate ratio was positively related to increasing levels of *Agave scabra* flowers (Fig. 1).

Serum glucose, creatinine, albumin, total proteins and Mg, Cu and Zn did not differ among dietary treatments. Concentrations of serum urea were higher ($P < 0.01$) in T0, T25 and T50 than in T75 and T100 (Table 4). Urea nitrogen of blood is a good indicator of concentration of rumen ammonia, and this related closely to intake and solubility of the nitrogen-containing compounds fed (Magdus et al., 1988; Carlsson and Pehrson, 1994). In the present trial, the total replacement of alfalfa by *Yucca carnerosana* flowers apparently affected energy and protein utilization by kids, although this reduction in nitrogen utilization by kids on T100 apparently was not severe enough to provoke a turnover of the protein pool in the body, as creatinine concentrations was unchanged by dietary treatments.

Blood cholesterol was another of the serum metabolites sensitive to diets, with kids consuming the T25 diet having the highest ($P < 0.01$) serum cholesterol concentrations compared with kids consuming all other diets (Table 4). The high growth rate of kids on the T25 diet explains this response because blood cholesterol concentration is associated with body condition score in goats (Cabiddu et al., 1999).

Conclusions

The present study demonstrated the viability of using *Agave scabra* flowers in feedlot diets for goats, because replacing 75% alfalfa with this forage did not affect ADG, DMI, and ruminal fermentation characteristics. In arid zones would be more ecologically desirable to use this available and non-competitive forage instead of alfalfa crop.

References

- AOAC., 1984. Official Methods of Analysis, 14th Edn. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, 1141 pp.
- Arizaga, S., Escurra, E., 2002. Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid-land succulent rosette. Am. J. Botany 89, 632-641.
- Azócar, P., Rojo, H., Mira, J., Manterola, H., 1996. Inclusión de nummmularia (*Atriplex nummularia* Lindl.) y cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de cabras criollas en reemplazo de heno de alfalfa. I. Efecto en el consumo, peso vivo y producción de leche. Avanc. Prod. Anim (Chile) 21, 43-50.
- Baumont, M. 1996. Palatability and feeding behavior in ruminants. A review. Ann. Zootech. 45, 385–400.
- Cabiddu, A., Branca, A., Decandia, M., Pes, A., Santucci, P.M., Masoero, F., Calamari, L. 1999. Relationship between body condition score, metabolic profile, milk yield and milk composition in goats browsing a Mediterranean shrubland. Liv. Prod. Sci. 61, 267-263.

- Carlsson, J., Pehrson, B., 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by 2 different protein evaluation systems. *Acta Vet. Scand.* 35, 193-205.
- Glenn, B., 1989. Ruminal fermentation of neutral detergent fibre and nitrogen in legume, grass and mixtures by growing steers. In: *Teaming up for Animal Agriculture*. American Dairy Science Association and American Society of Animal Science. *J. Anim. Sci. Suppl.* 2. 67, 11.
- Hill, G.M., Utley, P.R., Newton, G.L., 1986. Influence of dietary crude protein on peanut skin digestibility and utilization by feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 62, 887-894.
- Holechek, J.L., Estell, R.E., Galyean, M.L., Richards, W., 1989. Chemical composition, in vitro digestibility and in vitro VFA concentrations of New Mexico native forages. *Grass and Forage Sci.* 44, 101-105.
- Magdus, M., Fekete, S. Frenyó, L.V., Miskucz, O., Kotz, L., 1988. Milk production and certain parameters of energy metabolism in dairy cows fed rations of varying energy and crude protein contents and fat. *Acta Vet. Hung.* 36, 43-59.
- Martinez, C.J., 1994. Valor nutricional de dos especies de maguey (*Agave atrovirens* Karw) y (*Agave salmiana*) en el sur del estado de Coahuila. Tesis. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, Mexico.
- McMillan, Z., Scott, C.B., Taylor Jr., C.A., Huston, J.E., 2002. Nutritional value and intake of prickly pear by goats. *J. Range Manage.* 55, 139, 143.
- Moore, J.A., 1997. Associative effects - Are they real and accounting for them in ration formulation. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, Dept. Anim Sci., Cornell Univ. Ithaca, NY. Page 1.
- Moore, J.E., Brant, M.H., Kunkle, W.E., Hopkins, D.I., 1999. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *J. Anim. Sci.* 77, 122-135, Suppl. 2.
- Nantoumé, H., Forbes, T.D.A., Hensarling, C. M., Sieckenius, S., 2001. Nutritive value and palatability of guajillo (*Acacia berlandieri*) as a component of goat diets. *Small Rumin. Res.* 40, 139-148.
- Ngwa, A.T., Nsahlai, Iji, P.A., 2003. Effect of feeding legume pods or alfalfa in combination with poor quality straw on microbial enzyme activity and production of VFA in the rumen of South African Merino sheep. *Small Rumin. Res.* 48, 83-94.

- Norton, B.W., 1994. The nutritive value of tree legumes. In: Forage tree legumes in tropical agriculture. (Ed.: R.C. Gutteridge and H.M. Shelton). CAB International, Wallingford, Oxon. pp. 177-191.
- NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press, Washington, D.C.
- Phiri D M, Coulman B, Stepler H A , Kamara, C.S., Kwesiga, F., 1992 The effect of browse supplementation on maize husk utilization by goats. *Agroforestry Systems* 17:153-158.
- Ramírez, R.G., Hauad, L.A., Foroughbakhch, R., Pérez-López, L.A., 1997b. Seasonal concentrations of in-vitro volatile fatty acids in leaves of 10 native shrubs of northeastern Mexico. *Forest, Farm, Commun. Tree Res. Rep.* 2, 4-7.
- Ramirez, R., P., Hernandez, J.L., 1997a. Nutritional profile and leaf surface structure of some native shrubs consumed by small ruminants in semiarid regions of northeastern Mexico. *J. Appl. Anim. Res.* 11, 145-156.
- Ramírez, R.G., Neira-Morales, R.R., Torres-Noriega, J.A., Mercado-Santos, A.C., 2000. Seasonal variation of chemical composition and crude protein digestibility in seven shrubs of NE Mexico. *Int. J. Exp. Bot.* 68, 77-82.
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez-Lozano, R.G., Gómez-Meza, M.V., Armenta-Quintana, J.A., Ramírez-Orduña, J.M., Cepeda-Palacios, R., Ávila-Sandoval, J.M., 2003. Seasonal dynamics of ruminal crude protein digestion of browse species from Baja California sur, Mexico. *Interciencia* 28, 408-414.
- SAS INSTITUTE. 1989. SAS/Stat User's Guide, Version 6. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Table 1. Ingredient composition (% DM) of diets containing various levels of *Agave scabra* flowers

Ingredient	T0	T25	T50	T75	T100
Alfalfa hay	30.0	22.5	15.0	7.5	0.0
Agave scabra	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0
Corn grain	49.9	49.7	49.6	49.4	49.2
Soybean meal	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
Animal fat	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cane molasses	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Bicarbonate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mix*	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Common salt	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

*Macro and micro elements, monensin, and vitamins A, D, E (GANATEC-25; Tecnicas Nutricionales S.A. de C.V., San Nicolas de los Garza, México)

Table 2. Chemical composition of *Agave scabra* flowers and alfalfa hay

Item	<i>Agave scabra</i> flowers	Alfalfa
Dry matter, g per 100g fresh matter	90.8	80.10
Ash	9.8	7.95
Crude fat (%)	2.1	3.30
Crude fiber (%)	26.6	23.10
Crude protein (total N x 6.25)	11.5	17.01
Nitrogen free extract (%)	50.0	48.64

Table 3. Performance data for kids fed diets containing various levels of *Agave scabra* flowers

Item	T0	T25	T50	T75	T100
Number of kids	8	8	8	8	8
Initial live weight, kg	11.1 ± 1.9	11.4 ± 2.8	10.5 ± 1.7	10.9 ± 1.0	11.8 ± 2.3
Final live weight, kg	22.3 ± 2.6	24.4 ± 3.4	19.4 ± 2.1	21.4 ± 2.7	20.8 ± 3.8
Average daily gain, g	132 ± 32 ^{ab}	155 ± 22 ^a	106 ± 9 ^b	125 ± 27 ^{ab}	108 ± 23 ^b
Daily DMI, g	578 ± 64 ^a	605 ± 54 ^a	530 ± 62 ^a	586 ± 38 ^a	583 ± 36 ^a
Daily DMI, % BW*	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6
DMI to gain ratio	4.5 ± 0.7 ^{ab}	4.0 ± 0.7 ^a	4.9 ± 0.3 ^{bc}	4.8 ± 0.7 ^{abc}	5.6 ± 0.9 ^c

*Daily DMI ÷ [(initial live weight + final liveweight) ÷ 2]

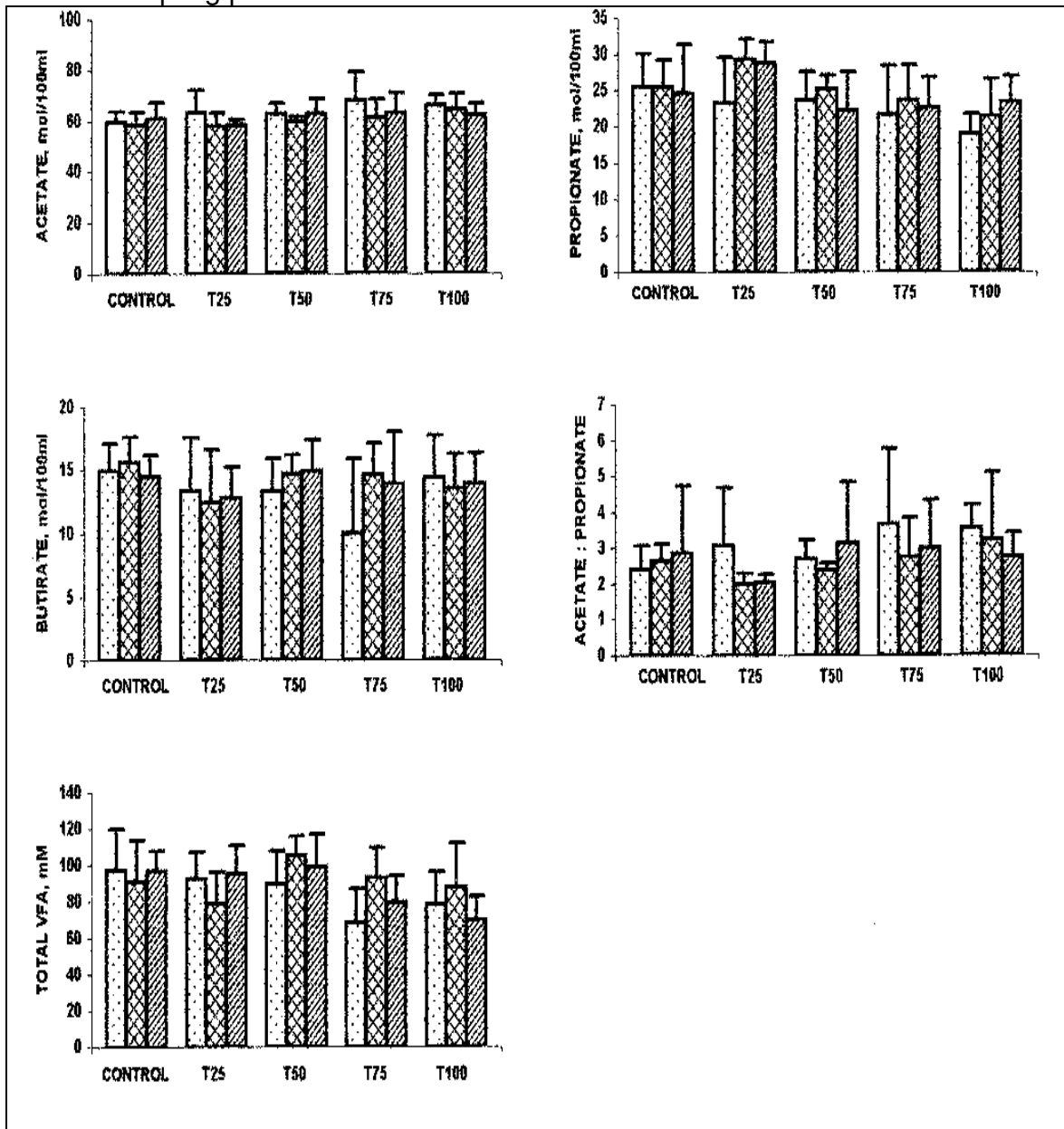
Means not follow by the same superscript differ ($P < 0.05$)

Table 4. Mean ± SD serum metabolites and minerals for mixed-breed kids fed different levels of *Agave scabra* flowers. Values are average of three samplings

Parameters	T0	T25	T50	T75	T100
Glucose (mg dl ⁻¹)	64.1 ± 8.6 ^a	67.1 ± 9.8 ^a	69.4 ± 9.9 ^a	67.0 ± 9.3 ^a	66.2 ± 11.6 ^a
Urea N (mg dl ⁻¹)	22.6 ± 3.7 ^a	20.3 ± 2.2 ^{ab}	22.4 ± 4.7 ^{ab}	20.1 ± 2.2 ^b	20.1 ± 1.1 ^b
Creatinine (mg dl ⁻¹)	1.6 ± 0.7 ^a	1.7 ± 0.6 ^a	1.7 ± 0.7 ^a	1.7 ± 0.7 ^a	1.8 ± 0.7 ^a
Total prot, (mg dl ⁻¹)	6.8 ± 0.9 ^a	7.1 ± 0.6 ^a	6.8 ± 1.0 ^a	6.7 ± 1.0 ^a	6.9 ± 0.7 ^a
Albumin (mg dl ⁻¹)	3.6 ± 0.7 ^a	3.4 ± 0.5 ^a	3.7 ± 0.8 ^a	3.4 ± 0.8 ^a	3.3 ± 0.5 ^a
Cholesterol (mg dl ⁻¹)	79 ± 12 ^b	91 ± 22 ^a	78 ± 19 ^b	77 ± 17 ^b	86 ± 23 ^{ab}
Mg (mg dl ⁻¹)	1.9 ± 0.4 ^a	2.1 ± 0.6 ^a	2.0 ± 0.5 ^a	2.0 ± 0.5 ^a	1.9 ± 0.4 ^a
Cu (ppm)	1.3 ± 0.4 ^a	1.4 ± 0.4 ^a	1.4 ± 0.4 ^a	1.4 ± 0.4 ^a	1.3 ± 0.4 ^a
Zn (ppm)	1.3 ± 0.3 ^a	1.2 ± 0.3 ^a	1.3 ± 0.3 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	1.2 ± 0.3 ^a

Means with different superscript in a row differ ($P < 0.05$)

Fig. 1. Effects of levels of *Agave scabra* flowers on total concentration and molar percentages of ruminal VFA in non-dairy growing goats during different sampling periods.



4. CONCLUSIONES

Aún cuando el trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) presenta un buen índice de preferencia por las cabras alimentadas en pastizal, se concluye que esta planta cuenta con un bajo valor forrajero, por lo que no puede ser considerada dentro de las especies apropiadas para el crecimiento de cabras en crecimiento en estabulación. Esto debido a que si se reemplaza a esta herbácea por la alfalfa de la dieta, resultará en cambios negativos en el consumo de materia seca (particularmente cuando se usen altos niveles), en la ganancia diaria de peso y en la eficiencia alimenticia, los cuales indican que, aún con inclusiones bajas (25% de reemplazo) de *Solanum elaeagnifolium* en la dieta de cabras en crecimiento, impactan negativamente el comportamiento productivo de estos animales. Estos resultados sugieren que *Solanum elaeagnifolium* no representa un forraje potencial para sustituir a la alfalfa en las dietas para cabras en crecimiento estabuladas.

Para el caso de la *Yucca carnerosana* se concluye que usar sus inflorescencias como una fuente de forraje suplementario, representa un valor estratégico potencial en cabras alimentadas en confinamiento, para los sistemas de zonas áridas donde existe abundancia de esta planta. Esto debido a que la utilización de *Yucca carnerosana* en dietas a base de soya y maíz soportan una tasa de crecimiento de cabras criollas jóvenes, tan buena como con heno de alfalfa. Sin embargo, el reemplazo total de la alfalfa por *Yucca carnerosana* deprime la eficiencia alimenticia así como la concentración de metabolitos sanguíneos, los cuales son un indicativo del estado nutricional de las cabritas; por ello se sugiere que solamente se reemplace hasta el 50% de alfalfa con inflorescencias de *Yucca carnerosana* en la dieta de cabras en crecimiento,

para evitar cualquier efecto adverso sobre el crecimiento y salud de dichos animales.

Por otra parte, en cuanto al maguey, el presente estudio demostró la viabilidad de usar las inflorescencias de *Agave scabra* en dietas para cabras estabuladas, porque al reemplazar hasta el 75% de heno de alfalfa con este forraje no se afecta la ganancia diaria de peso, el consumo de materia seca, ni las características de la fermentación ruminal. En zonas áridas sería más ecológicamente deseable utilizar este forraje si esta disponible en vez de la alfalfa.

5. LITERATURA CITADA

- Allen, V. G. and E. Segarra. 2001. Anti-quality components in forage: Overview, significance and economic impact. *J. Range Manage.* 54:409-412
- Allison, C. D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: A review. *J. Range Manage.* 38:305-311
- Allison, M. J. and C. A. Reddy. 1984. Adaptations of gastrointestinal bacteria in response to changes in dietary oxalate and nitrate. In: M. J. Klug and C. A. Reddy (Ed.) *Current perspectives in Microbial Ecology Proceedings of the Third International Symposium on Microbial Ecology.* Michigan State University.
- Anjum, A. D; F. Rizvi and A. Asi. 1999. Effect of *Yucca schidigera* Extract (Norponin-S) on Health of Broiler Chickens. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2: 484-486.
- Aregheore, E. M.; H. P. Makkar; and K. Becker. 1997. Effect of quillaja saponins and yucca extract on binding of ammonia during urea-ammoniation of straw and fermentation kinetics of the treated straw: a novel application of saponin-rich plant materials. In: *Proceedings of the XXXII International Symposium on Animal Production: Advances in Technology, Accuracy and Management, Milano, 29th September - 1st October.*
- Austin, P. J.; L. A. Suchar; C. T. Robbins and A. E. Hagerman. 1989. Tannin-binding proteins in saliva of deer and their absence in saliva of sheep and cattle. *J. Chem. Ecol.*, 15: 1335-1347.
- Ball, D. M.; M. Collins; G. D. Lacefield; N. P. Martin; D. A. Mertens; K.E. Olson; D.H. Putnam; D.J. Undersander and M. W. Wolf. 2001. *Understanding forage quality.* American Farm Bureau Federation Publication. IL. USA.
- Beck, J. L. and J. D. Reed. 2001. Tannins: Anti-quality effects on forage protein and fiber digestion. In: Launchbaugh, K. *Anti-quality factors in rangeland and pastureland forages.* USDA-NRCS. Bull. No. 73. University of Idaho.

- Bello, M. A. 1993. Plantas útiles no maderables de la Sierra purépecha, Michoacán, México, INIFAP. México. Folleto Técnico No 10. 115 p.
- Blanco, A. y C. Aguirre. 2002. Proteínas involucradas en los mecanismos de defensa de las plantas. *Acta Universitaria*. Vol. 12 No. 3.
- Blaxter, K. L. 1956. The nutritive value of feeds as sources of energy: A review. *J. Dairy Sci.* 49:1396-
- Blaxter, K. L. 1962. *Energy Metabolism of ruminants*. Hutchison. London U.K. 314 pp.
- Blezinger, S. B. 2002. Forage quality, digestibility play an important role in cattle production. *Cattle Today*, Inc.
- Boyle, R. ; S. McLean; W. J. Foley; B. D. Moore; N. W. Davies and S. Brandon. 2000. Fate of the dietary terpene, p-cymene, in the male koala. *J. Chem. Ecol.* 26:1095-1111.
- Bryant, J. P.; P. B. Reichardt and T. P. Clausen. 1992. Chemically mediated interactions between woody plants and browsing mammals. *J. Range Manage.* 45:18-24.
- Burritt, E. A. and F. D. Provenza. 1996. Amount of experience and prior illness affect the acquisition and persistence of conditioned food aversions in lambs. *App. Anim. Behav. Sci.* 48:73-80.
- Bye, R. 1985. Medicinal plants of the Tarahumara Indians of Chihuahua, Mexico. In: Tyson, R. A. & Elerick, D. V. (Eds.). *Two Mummies from Chihuahua: A multidisciplinary study*. San Diego Mus. Papers No. 19: 77-104.
- Caddel, J. and E. Allen. 2002. Forage Quality interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. F – 2117.
- Castellanos, A.; G. Llamas y A. Shimada. 1990. *Manual de Técnicas de Investigación en rumiología*. S.E.C.P.A.M. México.
- Cedillo-Madariaga, M.; I. I. Cedillo-Madariaga D. R. Sánchez-Chipres and G. Salazar-Gutierrez. 1998. Effect of yucca extract on some metabolites and productive performance in sows. 34 Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Queretaro. México. P. 77.

- Chávez, M. G. 1995. Consumo voluntario de forraje de rumiantes en libre pastoreo. En: Curso- Taller Internacional. Consumo Voluntario de Alimento. Memorias. UAAAN. Saltillo, Coah. México.
- Cheeke, P. R. 1994. A review of the functional and evolutionary roles of the liver in the detoxification of poisonous plants, with special reference to pyrrolizidine alkaloids. *Vet. Human Toxicol.*, 36:240- 247.
- Cheeke, P. R. and R. T. Palo. 1995. Plant toxins and mammalian herbivores: co-evolutionary relationships and antinutritional effects. In: M. Journet, E. Grenet, M-H. Farce, M. Thériez, C. Demarquilly (Ed.) *Recent developments in the Nutrition of Herbivores. Proceedings of the IVth International Symposium on the Nutrition of Herbivores* pp: 437- 456. INRA Editions, Paris.
- Cheke, P. R. 1999. Actual and potential applications of *Yucca shidigera* and *Quillaza saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Proc. Am. Soc. Anim. Sci.* 1-10.
- Church, D. C. 1991. *Livestock Feeds and Feeding*. Third edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 546 pp.
- CIQA-CNZA. 1980. *Yucca*. III Conferencia Internacional Sobre *Yucca*. Centro de Investigaciones en Química Aplicada. Comisión Nacional de las Zonas Áridas. México.
- Coleman, S. W.; H. Lippke and M. Gill. 1999. Nutritional Ecology of herbivores. *Proceedings of the Fifth International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. Eds: Hans-Joachim G. and G.C. Fahey. American Society of Animal Science, Savoy, IL. USA 836 pp.
- Cordova, F. J.; D. J. Wallace and R. D. Pieper. 1978. Forraje intake by grazing livestock: A review. *J. Range Manage.* 31:430- 438
- Demir, E. and A. Sekeroglu. 2000. Effects of extruded full-fat soybean, fermacto and yucca extract on broiler chickens. *J. Poultry Res.* 2:31-35.
- Domínguez-Bello, M.G. 1996. Detoxification in the rumen. *Ann. Zootech.*, 45, suppl.: 323-327.
- Du Toit, J. T. ; F. D. Provenza and A. S. Nastis. 1991. Conditioned taste aversions: how sick must a ruminant get before it detects toxicity in foods?. *App. Anim. Behav. Sci.* 30: 35-46.
- Duckjovich, A. y G. Esquivel. 1995. Extracción, purificación y caracterización de la proteasa del trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) y su posible aplicación

en la industria alimentaria. Tesis de maestría en biotecnología de enzimas. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.

Duncan, A. J. and J. A. Milne. 1992a. Effect of Long-term Intra-ruminal Infusion of the Glucosinolate Metabolite Allyl Cyanide on the Voluntary Food Intake and Metabolism of Lambs. *J. Sci. Food Agric.* 58: 9-14.

Duncan, A. J. and J. A. Milne. 1992b. Rumen microbial degradation of allyl cyanide as a possible explanation for the tolerance of sheep to brassica-derived glucosinolates. *J. Sci. Food Agric.* 58:15-19.

Duncan, A. J.; P. Frutos and S. A. Young. 1997. Rates of oxalic acid degradation in the rumen of sheep and goats in response to different levels of oxalic acid administration. *Anim. Sci.* 65: 451-455.

Einhellig, F. A. 1995. Allelopathy: organisms, processes and applications. En: Inderjit, Darkshini y Einhellig (Eds.). American Chemical Society. Vol 582. Washington, D.C.

Encarta, 1998. Enciclopedia Electrónica. Microsoft, Corporation.

Forbes, J. M. 1995. Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. Cab International. UK. 532 pp.

Forbes, J. M. and I. Kyriazakis. 1995. Food preferences in farm animals: why don't they always choose wisely? *Proc. Nut. Soc.* 54: 429-440.

French, M. H. 1970. Observations on the goat. *Food Agric. Org. Agric. Stud.* 80, Rome, Italy.

Frutos, P.; A.J. Duncan and S. A. Young. 1997. The effect of rumen adaptation to oxalic acid on diet choice by goats grazing a spinach/cabbage matrix. Animal choices. In: J.M. Forbes, T.L.J. Lawrence, R.G. Rodway and M.A. Varley (Ed.) Occasional Publication BSAS No. 20 pp: 100-101.

Frutos, P.; A. J. Duncan, I. Kyriazakis and I. J. Gordon. 1998. Learned aversions towards oxalic acidcontaining foods by goats: does rumen adaptation to oxalic acid influence diet choice?. *J. Chem. Ecol.*, 24: 383-397.

García-González, R. y P. Monserrat. 1986. Determinación de la dieta de ungulados estivantes en los pastos supraforestales del Pirineo Occidental. Actas de la XXVI Reunión Científica de la S.E.E.P.pp: 119-134, Consejería de Agricultura y Pesca. Oviedo.

- Gilardi, J. D.; S. S. Duffey; C. A. Munn and L.A. Tell. 1999. Biochemical functions of geophagy in parrots: detoxification of dietary toxins and citoprotective effects. *J. Chem. Ecol.* 25: 897-922.
- Goering, H. K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural handbook No. 319.* U.S.A.
- González E. M. 1984. Las plantas medicinales de Durango. *Inventario Básico. Cuadernos de Investigación Tecnológica.* 1(2): CIDIIR-IPN. 115 p.
- González, C. 1980. Trabajos sobre reproducción y crecimiento en ovinos y caprinos. VI Seminario Nacional de Ovinos y Caprinos. *Memorias.* San Cristóbal, Venezuela.
- González, F. 1972. La Vegetación del Noreste de Tamaulipas. *An. Int. Biol. UNAM.* México.
- Granados, D. 1993. Los Agaves en México. *Universidad Autónoma Chapingo. Libro.*
- Gutierrez, J.L. 1991. Nutrición de Rumiantes en Pastoreo. *Colección de Textos Universitarios.* U. A. CH. México.
- Hagerman, A. C. H. Robbins; Y. Weerasuriya; T. C. Wilson and C. McArthur. 1992. Tannin chemistry in relation to digestion. *Journal of range manage.* 45 (1) 57-62.
- Hagerman, A. E. and L. G. Butler. 1991. Tannins and lignins. In: G.A. Rosenthal and M. R. Berenbaum (Ed.) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites. Vol. I: The Chemical Participants* pp: 355-388. Academic Press, New York.
- Harbone, J. B. 1989. Biosynthesis and function of antinutritional factors in plants. In: *Association of Applied Biologists (Ed.) Aspects of Applied Biology 19. Antinutritional factors, potentially toxic substances in plants* pp: 21-28. Institute of Horticultural Research, Wellesbourne, Warwick CV35 9EF, U.K.
- Harborne, J. B. 1993. *Introduction to Ecological Biochemistry.* Academic Press. London.
- Henning, J. C.; G. D. Lacefield and D. Amaral. 1996. Interpreting forage quality reports. *Cooperative Extension Service. University of Kentucky. College of Agriculture.* ID-101.

Holechek, J L.; M. Vara and R. D. Pieper. 1982. Methods for determining the nutritive quality of rangee ruminant diets: A review. J. anim. Sci. 54:363-

<http://forages.orst.edu/topics/description.cfm?TopID=325>

<http://www.animalrangeextension.montana.edu>

http://www.chi.itesm.mx/chihuahua/arte_cultura/cocina/derivados/qfresco.html

http://www.onlineub.com/revistas_digitaes/Ciencias/A2Num6/articulos.htm

<http://www.unincca.edu.co/tesis/FTWeb/Solanaceae.html>

<http://www.yucca.com.mx/aviculturaen.html>

<http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/Lista/listado2.htm>

Hudgson, J. and J. M. Rodríguez. 1970. The measurement of herbage intake in grazing studies. Annual report. Grassland Research Institute. Hurley, U.K.

Hussain, I. and P. R. Cheque. 1995, Effect of dietary *Yucca schidigera* extract on rumen and blood profiles of steers fed concentrate or roughage based diets. Anim. Feed Sci. Tech. 51: 231-242.

Iason, G. R. and P. G. Waterman. 1988. Avoidance of plant phenolics by juvenile and reproducing female mountain hares in summer. Funct. Ecol. 2:433-440.

INI. 1994a. Instituto Nacional Indigenista. Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana. Tomo I. México.

INI. 1994b. Instituto Nacional Indigenista. Atlas de las plantas medicinales tradicionales mexicanas. Tomo II. México.

Ingvarsten, K. L. And Y. R. Boisclair. 2001. Leptin and the regulation of food intake, energy homeostasis and immunity with special focus on periparturient ruminants. Domestic Animal Endocrinology. 21: 215-250.

Jones, W. T. and J. L. Mangan. 1977. Complexes of the condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein, and their reversal by polyethylene glycol and pH. J. Sci. Food Agric. 28:126-136.

Katsunuma, Y.; Y. Nakamura.; A. Toyoda and H. Minato. 2001. Effect of *Yucca schidigera* extract and saponins on growth of bacteria isolated from animal intestinal tract. Animal-Science-Journal (Japan) 71:164-170.

- Kronberg, S. L. and J. W. Walker. 1993. Ruminant metabolism of leaf spurge in sheep and goats: a potential explanation for differential foraging on spurge by sheep, goats and cattle. *J. Chem. Ecol.* 19:2007-2017.
- Laca, E. A.; L. A. Shipley and E. D. Reid. 2001. Structural anti-quality characteristics of range and pasture plants. *J. Range Manage.* 54:413-....
- Launchbaugh, K. L.; F. D. Provenza and E. A. Burrit. 1993. How herbivores track variable environments: response to variability of phytotoxins. *J. Chem. Ecol.* 19:1047-1056.
- Launchbaugh, K. L.; F. D. Provenza and J. A. Pfister. 2001. Herbivore response to anti-quality factors in forages. *J. Range Manage.* 54:431-440.
- Laurila, J. ; I. Laakso, J. P. T. Valkonen, R. Hiltunen and E. Pehu . 1996. Formation of parental-type and novel glycoalkaloids in somatic hybrids between *Solanum brevidens* and *S. tuberosum*. *Plant Science.* 118:145-155.
- Linn, J. G. and N. P. Martin. 1999. Forage quality test and interpretations. Minnesota extension service. College of agricultural, food and environmental Sciences. FO – 02637.
- Llamas, G. y I. Tejada. 1990. Técnicas de laboratorio para el análisis de forrajes para rumiantes. En: Castellanos, A.; G. Llamas y A. Shimada (Eds.). Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. S.E.C.P.A.M. México.
- López, T. R. 1991. Composición florística y calidad nutritiva de la dieta de caprinos en un matorral micrófilo con y sin resiembra de gramíneas. Folleto de divulgación Vol. 11 No. 12. UAAAN.
- López, T. R. 1993. Composición florística y calidad nutritiva de la dieta de caprinos en un matorral micrófilo con y sin resiembra de gramíneas. En: Nutrición de rumiantes. Seminario de actualización. UAAAN. Saltillo, Coah. México.
- Lyons, R. K; R. Machen and T. D. A. Forbes. 1999. Why range forage quality changes. Texas Agricultural Extension Service. B-6036.
- Maiti, R. K. ; L. Villarreal A. Treviño and M. C. Valades. 2002. Some aspects on pharmacognosy of ten species of the family Solanaceae utilized in traditional medicine. *Caldasia* 2: 317-321.
- Makkar, H. P. S.; S. Sen; M. Blummel and K. Becker. 1999. Effects of fractions containing saponins from *Yucca schidigera*, *Quillaja saponaria*, and

- Acaria auriculoformis on rumen fermentation. *Journal of agricultural and food chemistry (USA)*. 46(10) 4324-4238.
- Malcolm, S. B. 1991. Cardenolide-mediated interactions between plants and herbivores. In: G.A. Rosenthal and M. R. Berenbaum (Ed.) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites*. Vol. I: The Chemical Participants pp: 251-296. Academic Press, New York.
- Mandava, N. B. 1985. The Chemistry of Allelopathy. In: A. C. Thompson (Ed.). *American Chemical Society*. Vol 268. Washington, D. C.
- Marten, G. C. ; D. R. Buxton and R. F. Barnes.1988. Feeding value (forage quality). In: *Alfalfa and alfalfa improvement*. Monograph No. 29. ASSA/CSSA/SSSA. Wis. , USA.
- Martínez S., M. 1987. Plantas autóctonas y productos volcánicos de las inmediaciones de Morelia. *Biblioteca de Científicos Nicolaitas No. 10*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Martínez, M. 1969. *Plantas medicinales*. Ediciones Botas. México. D.F.
- Matches, A. G. 1992. Plant response to grazing: A review. *J. Prod. Agric*. Vol. 5 No. 1.
- Matteri, R. L. 2001. Overview of central targets of appetite regulation. *J. Anim. Sci.* 79(E. Suppl.):E148-E158.
- Matuda, E. y I. L. Piña. 1977. Consideraciones sobre la taxonomía del genero *Yucca* y plantas afines. *Cact. Y Suc. Méx.* XXII, 3.
- McLeod, M. N. 1974. Plants tannins; their role in forage quality. *Nut. Abstr. Rev.*, 44: 803-815.
- Medina, E. y N. Quezada. 1975. *Panorama de las artesanías otomíes del Valle del Mezquital*. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM.
- Mehansho, H.; T. N. Asquith; L. G. Butler; J. C. Rogler and D. M. Carlson. 1992. Tannin-mediated induction of proline-rich protein synthesis. *J. Agric. Food Chem.* 40: 93-97.
- Mellado, M.; R. H. Foote; A. Rodríguez and P. Zarate. 1991. Botanical composition and nutrient content of diet selected by goat grazing on desert grassland in Northern Mexico. *Small Rumin. Res.* 6: 141-150.

- Mellado, M.; A. Rodríguez; A. Olvera; J. A. Villarreal, and R. Lopez. 2004. Age and body condition score and diets of grazing goats. *J. Range Manage.* 57:517-523
- Mole, S.; L. G. Butler and G. Iason. 1990. Defense against dietary tannins in herbivores: a survey for proline rich salivary proteins in mammals. *Biochem. Systema. Ecol.* 18: 287-293.
- Moore, J. E. and L. E. Sollenberger. 2002. Forage quality. Florida Cooperative Extension Service, Institute of food and Agricultural Sciences. SS-AGR-93.
- Mott, G. O. 1959. Symposium on Forage Evaluation. IV. Animal variation an measurement of forage quality. *Agronomy Journal* 51:223.
- Mott, G. O. 1976. Evaluating forage Production. In: M.E. Heat; R.F. Barnes and D. S. Metcalfe (Eds.) *Forages*. 3a Ed. Iowa State University Press.
- Mott, G. O., and J.E. Moore. 1985. Evaluating forage production. p. 422–429. In M.E. Heath *et al.* (ed.) *Forages: The science of grassland agriculture*. 4th ed. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Narjisse, H.; M. A. Elhonsali and J. D. Olsen. 1995. Effects of oak (*Quercus ilex*) tannins on digestion and nitrogen balance in sheep and goats. *Small Rum. Res.* 18:201-206.
- N.R.C. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. National Research Council. 6th Ed. National Academy Press. Washington, D.C.
- N.R.C. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 1981. Nutrient requirement of goats. National Academy Press. Washington, D. C.
- Oliver, B. 1995. El uso del Maguey. *Revista, México en el Tiempo* No. 6 abril-mayo.
- Olvera, A. 2000. Efecto de la rotación de corral sobre la composición botánica y selectividad de la dieta de las cabras en un matorral micrófilo desértico. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coah., México.
- Ortega, J.A. y E.A. González. 1998. Nutrición animal en pastoreo en el noreste de México. En: Taller de ganadería de bovinos de carne del Norte de México y sur de Texas. Memorias. UAT. Cd. Victoria, Tamps. México.

- Panter, K. E.; L. F. James; D. R. Gardner; M. H. Ralphs; J. A. Pfister; B. L. Stegelmeier and S. T. Lee. 2002. Reproductive losses to poisonous plants: Influence of management strategies. *J. Range Manage.* 55:301-308
- Pérez-Maldonado, R. A. and B. W. Norton. 1996. The effects of condensed tannins from *Desmodium intortum* and *Calliandra calothyrsus* on protein and carbohydrate digestion in sheep and goats. *Br. J. Nut.*, 76: 515-533.
- Pérez-Maldonado, R. A.; B. W. Norton and G.L. Kerven. 1995. Factors affecting in vitro formation of tanninprotein complexes. *J. Sci. Food Agric.* 69: 291-298.
- Phillips, B. J. ; J. A. Hughes, J. C. Phillips, D. G. Walters, D. Anderson and C. S. M. Tahourdin. 1996. A study of the toxic hazard that might be associated with the consumption of green potato tops. *Food and Chem. Toxicol.* 34:439-448
- Popovich, D. G. ; D. J. Jenkins; C. W Kendall; E. S. Dierenfeld; R. W. Carroll; N. Tariq and E. Vidgen. 1977. The western lowland gorilla diet has implications for the health for humans and other humanoids. *J. Nutr.* 127: 200-2005.
- Poulton, J. E. 1990. Cyanogenesis in plants. *Plant Physiol.* 94:401-405.
- Provenza, F. D. and J. Ropp. 2001. Understanding herbivore response to anti-quality factors in forages. 2001. In: Launchbaugh, K. Anti-quality factors in rangeland and pastureland forages. USDA-NRCS. Bull. No. 73. University of Idaho.
- Provenza, F. D. 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manage.* 48:2-17
- Provenza, F. D., E. A. Burritt, T. P. Clausen, J. P. Bryant, P. B. Reichardt and R. A. Distel. 1990. Conditioned flavor aversion: a mechanism for goats to avoid condensed tannins in blackbrush. *Am. Nat.* 136: 810-828.
- Provenza, F. D.; J. A. Pfister and C. D. Cheney. 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *J. Range Manage.* 45: 36-45.
- Radeleff, R. D. 1970. *Veterinary toxicology.* 2. ed. Lea and Febiger. Philadelphia. USA. ISBN 8121-0200-2. 352 p.
- Ralphs, M. H. 2002. Ecological relationships between poisonous plants and rangeland condition: A review. *J. Range Manage.* 55:285-289.

- Ramirez, J. E.; E. G. Alvaréz; W. Chai; M. F. Montano and R. A. Zinn. 1998. Influence of saponin on fatty acid digestion in steers fed high-fat finishing diet. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 49:297-300.
- Raymond, W. F. 1969. The nutritive value of forage crops. *Adv. Agron.* 21:1.
- Reid, R.L. ; G. A. Jung and W. V. Thayne.1988. Relationship between nutritive quality and fiber components of cool season and warm season forage: A retrospective study. *J. Anim. Sci.* 66:1275-1281.
- Reigosa, M. J.; C. Souto y L. González. 1996 Allelopathy: Field observations and Methodology. In: S. S: Narval y P. Tauro (Eds), Scientific Publishers, Jodhpur.
- Rhoades, D. F. 1985. Offensive-defensive interactions between herbivores y plants: Their relevance in herbivore population dynamics y ecological theory. *The Am. Nat.* 125:205-238.
- Rhoades, D. F. 1979. Evolution of plant chemical defense against herbivores. In: Rosenthal, G. A. and D. H. Janzen (Ed.) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites* pp: 3-54. Academic Press, New York.
- Rittenhouse, L R.; C. L. Streeter and D. C. Clanton. 1971. Estimating digestible energy from dry and organic matter in diet of grazing cattle. *J. Range Manage.* 24:73-75
- Robbins, C. T.; A.E. Hagerman; P. J. Austin; C. McArthur and T. A. Hanley. 1991. Variation in mammalian physiological responses to a condensed tannin and its ecological implications. *J. Mamm.* 72:480-486.
- Robbins, C. T.; S. Mole, A. E. Hagerman and J. A. Hanley. 1987. Role of tannins in defending plants against ruminants: reduction in dry matter digestion. *Ecology* 68:1606-1615.
- Rodríguez, C. A. 1991. Las papas silvestres (genero *Solanum* sección *Petota*, subsección *Potatoe*) en Jalisco. Tesis Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad de Guadalajara. 125 p.
- Rodriguez, F. y G. Llamas. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos y patrones de fermentación ruminal. En: Catellanos, A.; G. Llamas y A. Shimada. (Eds.). *Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología.* S.E.C.P.A.M. México.
- Royo, M. y A. Melgoza. 2001. Listado florístico del campo experimental la campana y usos de su flora. *Tec. Pec. Mex.* 39:105-125.

- Rzedowski, J. 1979. Vegetación de México. Ed. Limusa. México.
- Sánchez, J. M. 2003. Las plantas del género *Yucca* cultivadas en España. <http://www.arbolesornamentales.com/Yucca.htm>
- Sánchez, E. J. 1990. Técnicas para medir el consumo voluntario de forrajes por ruminantes en condiciones de pastoreo libre. En: Catellanos, A.; G. Llamas y A. Shimada. (Eds.). Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. S.E.C.P.A.M. México.
- Seigler, D. and P. W. Price. 1976. Secondary compounds in plants: primary functions. *Am. Nat.* 110:101-105.
- Shipley, L. A. and C. R. Yanish. 2001. Structural anti-quality: The nones and gristle of rangeland forage. In: Launchbaugh, K. Anti-quality factors in rangeland and pastureland forages. USDA-NRCS. Bull. No. 73. University of Idaho.
- Silanikove, N.; N. Gilboa; A. Perevolotsky and Z. Nitsan. 1996. Goats fed tannin-containing leaves do not exhibit toxic syndromes. *Small Rum. Res.*, 21:195-201.
- Skene, I. K. and J.D. Brooker. 1995. Characterization of tannin acylhydrolase activity in the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Anaerobe* 1:321-327.
- Smith, G. S. 1992. Toxification and detoxification of plant compounds by ruminants: an overview. *J. Range Manage.* 45: 25-30.
- Solórzano, S.; O. Reboloso; M. Hernández; X. Ruelas y L.O. Fuentes. 2003. Caracterización de la actividad coagulante de la planta trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) sobre la leche. Resultados de proyectos de investigación 2003. UAAAN. ISBN968-844-032-9.
- Somvanshi, R. ; G. C. Mohanty ; J. M. Kataria and K. C. Verma. 1992. Ultrastructural studies on interaction of infectious bursal disease virus (IBDV) and aflatoxin B1 on chick embryo fibroblast cell culture. *Indian J. Exp. Biol.* 30:327-333.
- Stoddart, L. A.; A. D. Smith and T. W. Box. 1975. Rnge Management. 3a Ed. Mc Graw-Hill. USA.
- Tilley, J. M. and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Brit. Grassl. Soc.* 18 :104.

- Trujano, J. M. D. 1990. Caracterización de la flora y fauna silvestre de la unidad. Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No 5. San Juanito-Creel. Chihuahua, Chihuahua. 62 p.
- Turlings, T. C. J.; J.H. Loughrin; P. J. McCall; U. S. Rose; W. J. Lewis and J. H. Tumlinson. 1995. How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 92: 4169-4174.
- Valkonen, J.P.T.; M. Keskitalo, T. Vasara and L. Pietila. 1996. Potato glycoalkaloids: a burden or a blessing?. *Critical Reviews in Plant Sciences (USA)*. 15: 1-20.
- Vallin, K.; G. P. Savage; A. J. Conner; K. E. Hellenas and C. Branzell. 1996. Glycoalkaloids in a somatic hybrid between *Solanum brevidens* and cultivated potato. *Proceedings of the Nutrition Society of New Zealand* 21, 130-136.
- Van Soest, P. J. 1967. Development a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. *J. Anim. Sci.* 26: 119.
- Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional Ecology of the ruminant*. O&B Books Inc. Oregon USA.
- Vásquez, R. A. 1977. Estudio citogenética y variación en una población de *Agave atrovirens* Kart. Tesis UNAM. México.
- Vázquez G., J. A., R. Cuevas, G., S. Cochrane, T., H. Iltis, H., F. J. Santana, M. y L.Guzmán, H. 1995. *Flora de Manantlán*. U de G-IMECBIO/University of Wisconsin-Madison, BRIT. Forth Worth, TX, USA. 315 p.
- Villarreal, J. A. 1983. *Malezas de Buenavista Coahuila*. UAAAN. 271 p.
- Weston, R. H. 1967. Factors limiting intake of feed by sheep. *Aust. J. Agr. Res.* 18:983-
- Williams, R. E. 1968. Conservation, Development and Use of the World's Rangeland. *J. Range Manage.* 21:355-359
- Wilson, R. C. ; T. R. Overton and J. H. Clark. 1998. Effects of *Yucca schidigera* extract and soluble protein on performance of cows and concentrations of urea nitrogen in plasma and milk. *J. Dairy Sci.* 81: 1022-1027.
- Wynne-Edwards, K. E. 2001. Evolutionary biology of plant defenses against herbivory and their predictive implications for endocrine disruptor susceptibility in vertebrates. *Env. Healt Persp.* 109:443-448.