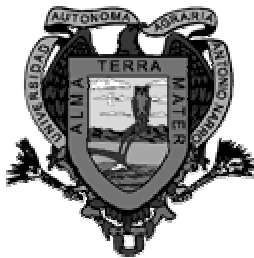


ALGUNOS ASPECTOS NUTRICIONALES Y REPRODUCTIVOS  
QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LAS CABRAS EN  
AGOSTADERO

LORENZO OLIVARES REYNA

TESIS

Presentada como requisito parcial  
Para obtener el grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS  
EN ZOOTECNIA



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO  
Buenavista, Saltillo, Coahuila,  
Diciembre de 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

ALGUNOS ASPECTOS NUTRICIONALES Y REPRODUCTIVOS QUE  
AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LAS CABRAS EN AGOSTADERO.

TESIS

POR

LORENZO OLIVARES REYNA

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

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Ramiro López Trujillo

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Álvaro Rodríguez Rivera

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Heriberto Díaz Solís

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla

\_\_\_\_\_  
Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2005.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al pueblo de México que a través del Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT) me otorgó la beca para llevar a cabo estos estudios que son parte fundamental en mi vida profesional.

Al Dr. Miguel Mellado Bosque por haberme transmitido una buena parte de sus conocimientos pero sobre todo por apoyarme en todo momento y ser un excelente amigo.

Al Dr. Ramiro López Trujillo por su disposición y apoyo incondicional durante el trabajo de tesis.

Al Dr. Álvaro Rodríguez Rivera por el apoyo otorgado durante el trabajo de tesis.

Al Dr. Heriberto Díaz Solís por sus comentarios y su disposición incondicional para asesorarme durante este trabajo.

Al Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla por su disposición y asesoría en este trabajo.

A la Química Laura Marisela Lara por su valioso apoyo técnico en el laboratorio de Reproducción Animal, pero también por ser una excelente persona y una excelente amiga.

Por último, a mis compañeros de casa con quienes compartí buenos y malos momentos: Margarito Manjarrez y Humberto Blandón.

## DEDICATORIA

A quienes han sido pilar fundamental en esta etapa de mi formación y son el motor de mi vida:

A mi esposa Maria Teresa y mi hija Mariana.

## COMPENDIO

Algunos aspectos nutricionales y reproductivos que afectan la producción de las cabras en agostadero

POR

LORENZO OLIVARES REYNA

DOCTORADO EN CIENCIAS

EN ZOOTECNIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, DICIEMBRE 2005.

Dr. Miguel Mellado Bosque – Asesor –

Palabras Clave: Lactación, Tasa de preñez, Tasa de partos, Camada, Placentas, Placentomas, Composición botánica, Metabolitos en suero, Minerales en suero, Pastoreo.

Son varios factores los que inciden en la producción de las cabras en pastoreo, sin embargo, son pocos los aspectos reproductivos que son documentados bajo estas condiciones, por tal razón fue importante llevar a cabo estos trabajos. En el primer trabajo se utilizaron 183 cabras multíparas de genotipo indefinido (razas lecheras tradicionales x nativas) a las cuales se les mantuvo en un pastizal para medir el efecto de la coincidencia de la lactación y la preñez, el peso vivo y las reservas lipídicas en el esternón, al empadre sobre

el comportamiento reproductivo. La extensión de la lactación durante el periodo seco, en coincidencia con la preñez, fue asociada ( $P < 0.01$ ) a una baja tasa de preñez (60 vs 92 por ciento), pérdida prenatal (77 vs 4 por ciento) y tasa de partos (14 vs 88) para cabras lactantes y cabras secas respectivamente. El peso corporal al empadre, media gestación y al parto, así como la amplitud del esternón y el grosor de la piel del esternón, no fueron diferentes entre hembras lactantes y secas. En un segundo análisis considerando únicamente las hembras secas, la proporción de hembras preñadas así como la tasa de partos no fueron afectadas por el peso corporal al empadre, media gestación y al parto. Sin embargo el tamaño de camada tendió a ser más alto ( $P = 0.09$ ) para hembras más pesadas al empadre ( $1.65 \pm 0.48$  vs  $1.46 \pm 0.51$ ) y el peso a media gestación ( $1.65 \pm 0.48$  vs  $1.45 \pm 0.51$ ). El peso medio de la camada también tendió a ser más alto ( $P = 0.06$ ) para las hembras más pesadas a media gestación ( $5.40 \pm 0.83$  vs  $4.89 \pm 0.87$ ). Las reservas de energía corporal se reflejaron en la amplitud del esternón y el grosor de la piel del esternón las cuales tendieron a ser relacionadas a la tasa de partos ya que hembras con la mayor reserva de grasa respalda la mayor tasa de partos (94 vs 83 %  $P < 0.01$ ). El tamaño de camada y el peso no difirieron entre hembras con diferentes reservas de grasa corporal. Estos datos indican que aunque la lactación coincida con la gestación en la estación seca no fue asociada con una mayor pérdida de peso, esto tuvo un drástico costo en el esfuerzo reproductivo. Por otra parte el tamaño medio de la camada y el peso tendieron a ser influenciado

positivamente por el peso corporal al empadre pero no por los niveles de las reservas de energía del esternón de las hembras.

En un segundo trabajo se determinó si las condiciones de mantenimiento (confinamiento vs pastoreo extensivo) altera el desarrollo placentario de las cabras que fueron mantenidas bajo condiciones intensivas (n = 31) o extensivas en un pastizal (n = 40). Las hembras que se mantuvieron en condiciones de confinamiento tuvieron un mayor nivel de glucosa, urea, colesterol, proteínas totales y fósforo en suero sanguíneo ( $P < 0.01$ ) que los valores de las cabras en pastoreo. No se encontró efecto bajo las condiciones de corral en el peso al nacimiento de las crías, pero las placentas de madres con nutrientes restringidos fueron 56 % mas pesadas ( $P < 0.01$ ) que las hembras en confinamiento. Las placentas de cabras en pastoreo tuvieron menos placentomas ( $50 \pm 11$  vs  $68 \pm 19$   $P < 0.01$ ) y menos área de contacto feto-maternal ( $264 \pm 72$  vs  $359 \pm 112$   $\text{cm}^2$ ;  $P < 0.01$ ) comparada con las hembras en confinamiento. La condición corporal fue correlacionada significativamente con el peso de la placenta ( $r = -0.69$ ) y la proporción del peso al nacimiento-feto ( $r = 0.74$ ). Estos resultados presentan que el peso vivo de los cabritos nacidos de madres con restricción de nutrientes no fueron comprometidos, pero la privación de nutrientes en forma crónica resulto en placentas más grandes con pocos placentomas.

En un tercer trabajo se observó si hay una relación entre la composición botánica de las dietas y los niveles de metabolitos y de minerales en suero sanguíneo de cabras en pastoreo. La composición de las dietas (analizadas por la técnica microhistológica de muestras fecales) fue investigada entre cabras adultas en pastoreo durante el periodo de sequía (n = 20) y durante el periodo de lluvias (n = 20). Durante el periodo de sequía los niveles de creatinina en suero disminuyeron con el incremento en la proporción de *Acacia farneciana* ( $r = -0.41$ ;  $P < 0.05$ ) en la dieta de las cabras. Los niveles de urea incrementaron con el consumo de *Parthenium incanum* ( $r = 0.35$ ;  $P < 0.05$ ), mientras las cabras que consumieron altos niveles de *Larrea tridentata* tuvieron niveles disminuidos de colesterol en suero ( $r = -0.53$ ;  $P < 0.05$ ). El fósforo en suero presentó una correlación positiva con *Atriplex canescens* pero una asociación negativa con *Buddleja scordioides*. En la estación de lluvias los niveles ascendentes de *Cortón dioicus* en la dieta fueron relacionados a los altos niveles de urea ( $r = 0.53$ ;  $P < 0.05$ ), Cu ( $r = 0.47$ ;  $P < 0.05$ ) y Mg ( $r = 0.55$ ;  $P < 0.05$ ). Los altos niveles de *Buddleja scordioides* en la dieta de las cabras disminuyeron el fósforo fecal ( $r = -0.62$ ;  $P < 0.01$ ). El alto consumo de *Buchloe dactyloides* fue positivamente relacionado a urea y creatinina en el suero. Estos resultados sugieren que bajo condiciones de agobio nutricional o abundancia de forraje, algunos metabolitos en el suero fueron sensibles al incremento de las cantidades de forrajes de alta calidad y plantas con factores antinutricionales que consumieron las cabras.



En un cuarto trabajo, se observó si hay una relación estrecha entre la morfología oral de las cabras y la selección del alimento de estas en el agostadero. La morfología de la mandíbula y los dientes de cabras en pastoreo fueron analizadas para investigar la asociación entre la forma de la mandíbula y el tipo de dieta. La relación canónica entre siete medidas de la mandíbula y diecisiete plantas ingeridas, indicaron que las características de la mandíbula tienen un relativo alto impacto en la conducta ingestiva (Correlación canónica = 0.81). En general, el largo de los incisivos tiene un efecto mayor (Valor absoluto de coeficiente estandarizado (AVSC)=0.56) en la ingestión de *Nolina cespitifera* que otras variables en la mandíbula. El ancho de los incisivos influyo la ingestión de *Partenium incanum* (AVSC=0.47) y *Florenxia cernua* (AVSC=0.43). La distancia entre las bases de los últimos incisivos laterales ( $I_4$  o esquinas) fue asociada con la ingestión de *Atriplex canescens* (AVSC=0.53) y *Florenxia cernua* (AVSC=0.69). La amplitud del incisivo fue importante para el consumo de *Larrea tridentata* (AVSC=0.69) y *Cowania plicata* (AVSC=0.50). La ingestión de *Agave lechuguilla* (AVSC=0.49) y *Sphaeralcea angustifolia* (AVSC=0.43) fueron influenciados principalmente por la amplitud del hocico. La distancia entre los primeros molares fue la variable mas cercana asociada a la ingestión *Setaria leucofila* (AVSC=0.63) y *Buchloe dactyloides* (AVSC=0.63). El largo de la mandíbula tuvo un efecto mayor en la ingestión de *Florenxia cernua* y *Atriplex canescens* que otras características orales. La variación en el aparato masticatorio no afecto el porcentaje de pastos, herbaceas y arbustos de las dietas de las cabras. Nitrógeno fecal, fósforo fecal y numero de especies consumidas no fueron relacionadas a las características orales. Estos

resultados sugieren que las diferentes dimensiones en el aparato masticatorio de cabras en pastoreo llevó a la selección divergente de las plantas sin alterar la calidad de su dieta.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
INDICE DE CUADROS .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Lactación y reproducción .....	4
Nutrición y reproducción .....	5
Las reservas lipídicas y reproducción .....	9
Condición corporal y reproducción .....	12
Factores de crecimiento similar a la insulina (IGF) y citoquinas en el crecimiento fetal y placentario .....	18
Factores hormonales en el crecimiento fetal y placentario .....	22
Factores nutricionales en el crecimiento fetal y placentario .....	24
Relación perfil sanguíneo y tipo de dieta .....	27
Relación morfología oral y tipo de dieta .....	30
ARTICULOS .....	33
Influence of lactation, liveweight and lipid reserves at mating on reproductive performance of grazing goats .....	33
Caprine placental traits in pen-fed goats and goats kept on rangeland .....	49
Relation among blood profiles and goat diets on rangeland .....	61
Relationship between oral morphology and feed selection of goats on rangeland .....	78
Conclusiones .....	98
Literatura citada .....	100

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Efecto de la condición corporal sobre la fertilidad, prolificidad y fecundidad en cabras de cerdeña .....	14
Cuadro 2.2 Relación entre condición corporal y comportamiento reproductivo en cabras Corsican .....	14
Cuadro 2.3 Cambios estacionales en la condición corporal de cabras Sahel .....	16
Cuadro 2.4 Efecto de cambio de peso vivo sobre la tasa de ovulación y número de corderos vivos por borrega .....	17

## 1. INTRODUCCIÓN

A través de los años y sobre todo en países subdesarrollados, la mayoría de las cabras se han adaptado a condiciones de pastoreo en terrenos de escasa vegetación. Esta circunstancia hace difícil que las cabras llenen sus requerimientos nutricionales para su mantenimiento, producción y reproducción. Si a esta condición se agrega el hecho de que el pastoreo se lleva a cabo en condiciones semiáridas o áridas, entonces el problema se agudiza, ya que la disponibilidad del forraje es extremadamente variable porque éste depende de las lluvias estacionales.

Para las cabras y el resto de las especie animales, el efecto del estado nutricional sobre el comportamiento reproductivo es muy importante, ya que una buena nutrición, tanto en calidad como en cantidad, ayuda a mantener un equilibrio entre el gasto y el consumo metabólico de los nutrientes, situación que generalmente no se da en ciertas épocas del año en animales que dependen del agostadero, por lo que el animal frecuentemente presenta un balance energético negativo. Además, bajo estas condiciones las cabras están expuestas al consumo de diversas plantas que contienen una alta diversidad de

aleloquímicos o factores antiherbivoría, los cuales modifican considerablemente su metabolismo, afectando de esta manera su producción de carne y leche y reproducción.

En condiciones intensivas de manejo y alimentación, las cabras lecheras tienen una producción de leche que puede sobrepasar los 300 días, con un máximo (pico) de producción a los 30 o 45 días después del parto. Sin embargo, para las cabras mestizas en agostadero, donde la disponibilidad del forraje es extremadamente variable, el pico de lactancia y la duración de la misma es muchas veces impredecible, siendo ésta normalmente inferior a los 6 meses. Algunos productores de cabras del Norte de México que explotan cabras en agostadero, mantienen lactando a las cabras por tiempo prolongado, en particular cuando ocurren lluvias invernales. Esto se refleja sin duda alguna en el estado nutricional de ganado, ya que la carga metabólica de la lactancia es muy alta y se traduce en el deterioro de la condición corporal, y en consecuencia en una menor eficiencia reproductiva.

Objetivos:

Determinar si el periodo de lactancia, el peso y las reservas corporales de lípidos afectan la fertilidad de las cabras en pastoreo

Contrastar el desarrollo placentario y los metabolitos sanguíneos de cabras alimentadas en pastoreo y las alimentadas en corral

Determinar si la composición botánica de las dietas de las cabras en pastoreo se relaciona con la morfología oral y el nivel de metabolitos y minerales en sangre.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### Lactación y reproducción

La lactación y reproducción son parte de un mismo proceso, en el cual la hembra rumiante presenta un gran gasto metabólico al inicio del desarrollo de sus crías, evento que continúa hasta que las crías son metabólicamente independientes de la madre. De este modo, la síntesis de leche representa un continuo gasto metabólico de la madre, el cual puede afectar el desempeño reproductivo de las cabras (Hurley, 2000).

Existen diferencias entre especies, en relación con la forma en que la lactación afecta los ciclos reproductivos, tal es el caso del anestro lactacional. Al respecto, Jainudeen y Hafez (1984) indican que en varias especies se ha encontrado que la ovulación y la actividad reproductiva se suprimen por un periodo variable después del parto y durante la lactación. La incidencia y duración del anestro varía entre las diferentes especies y razas de ganado, por ejemplo, en vacas Cebú (*Bos indicus*) que consumen forrajes de mala calidad y que se encuentran amamantando a sus crías, normalmente presentan anestro lactacional. Así, la duración del anestro en vacas que amamantan a sus



terneros es más larga que en vacas similares que se ordeñan dos veces al día (Chupin *et al.*, 1976). Esto sugiere que el amamantamiento o la frecuencia de retiro de la leche influye en la actividad hipotálamo-hipofisiaria (Jainudeen y Hafez, 1984).

En borregas, el anestro lactacional dura de cinco a siete semanas, observándose que algunas borregas que amamantan a sus corderos pueden entrar en anestro, pero la mayoría muestran esto dos semanas después del destete de los corderos (Jainudeen y Hafez, 1984). Las interacciones fisiológicas entre lactación y depresión de la actividad ovárica no se han establecido por completo, pero pueden relacionarse con la disfunción hipofisiaria, asociada con la lactación. Así, la duración del anestro en los mamíferos se relaciona fuertemente con la duración e intensidad de la lactación.

Linzell (1973) observó que la tasa de producción de leche disminuye paulatinamente cuando las cabras son mantenidas en continua producción hasta por dos y cuatro años con la máxima producción en verano y la mínima en invierno, este fenómeno se confirmó en cabras que no ciclaron.

### **Nutrición y reproducción**

La relación entre nutrición y reproducción es compleja y sus respuestas son con frecuencia demasiado variables e inconsistentes. Los requerimientos

de energía necesarios para el crecimiento folicular, ovulación e inicio de la preñez en vacas son extremadamente bajos, menos de 3 MJ de EM por día, comparado con los requerimientos para mantenimiento y producción que son de 60 a 250 MJ de EM por día.

Sin embargo, en el caso de vacas lactantes, una inadecuada nutrición en un corto plazo, o una disminución prolongada de las reservas corporales durante el inicio de la lactación, puede llegar a tener efectos adversos muy significativos en el reestablecimiento de la actividad ovárica posparto, tasa de concepción y la fertilidad (Boland y Lonergan, 2003).

Este aspecto es importante porque, aunque los requerimientos energéticos para el crecimiento folicular y el inicio de la preñez son muy pequeños, existe prioridad metabólica en el mantenimiento y la producción de leche. Aunque este ejemplo está dado en vacas lecheras, es un proceso fisiológico que es aplicable también para las cabras.

Por otra parte, Lucas (1986) señaló que los efectos de una nutrición adecuada en cabras, se reflejan en los cambios de peso, que pueden provocar la modificación de la fertilidad y la prolificidad, además de reducir los abortos que pueden ser causados por el estrés nutricional. Así, este autor también señaló que el aumento de peso está correlacionado con mejores tasas de fertilidad, prolificidad, y con un mayor número de cabritos destetados.

Landau *et al.* (1997) mencionaron que las cabras tienen el potencial de ovulaciones múltiples, pero esta habilidad puede ser deteriorada por una nutrición inadecuada. A largo plazo (más de tres semanas) los efectos de la nutrición en la tasa ovulatoria son mediados a través de mejorar la condición corporal, mientras los efectos a corto plazo son alcanzados a través de la provisión de nutrientes que modifican el medio ambiente hormonal sin alterar la condición corporal.

En este sentido, Mani *et al.* (1992) observaron que la tasa ovulatoria en las cabras es totalmente dependiente de la nutrición, pero la actividad estral es menos dependiente de ésta, por el hecho de que estos investigadores encontraron que las cabras Saanen y Toggenburg en mala condición corporal, con severa privación de energía (25 % menos de sus requerimientos) durante 19 días antes de una sincronización del estro, no afectó la proporción de cabras que presentaron estro, pero sí disminuyó la tasa ovulatoria y el tiempo de la ovulación se retrasó. Por otra parte, estos autores encontraron que la tasa ovulatoria se incrementaba paulatinamente en cabras que ganaron peso a un ritmo de 30 g d<sup>-1</sup> antes del empadre.

Smith (1988) indicó que en borregas el excedente de proteína dietética afecta la tasa ovulatoria en forma positiva, especialmente si ésta se ofrece en la

fase folicular y la fase lútea. Del mismo modo, esto sucede con el excedente de la energía ya que ésta afecta positivamente la tasa ovulatoria.

Downing *et al.* (1995) observaron que la provisión abundante de aminoácidos de cadena ramificada (AACR), particularmente Leucina, afectó la dinámica del ovario, además de estar involucrada con la insulina. A su vez, se ha encontrado que las concentraciones sanguíneas de insulina son aumentadas durante el estro, siendo estimulada esta hormona por la concentración de Leucina. Otro aspecto importante es el efecto directo de los nutrientes en el eje gonadotrópico, donde una restricción de energía suprime la producción de la hormona LH (hormona luteinizante), que es necesaria para el crecimiento de los folículos ováricos que están en estado preovulatorio.

Schillo (1992) encontró que infusiones de glucosa y aminoácidos solos o combinados mantenían un alto nivel de LH en borregas ovariectomizadas sujetas a restricción de alimento, por lo que se concluyó que la frecuencia de pulsos de LH está relacionada con el contenido de proteína de la dieta. Así, el efecto del suministro de nutrientes en el eje gonadotrópico puede resultar en una alta concentración NADPH dependiente de una función de oxidasas en el hígado. Un aumento en la función de oxidasas resulta en un incremento del metabolismo de esteroides y en la secreción de más gonadotropinas, seguido por una retroalimentación negativa que causa un incremento en la tasa ovulatoria.

También, Thomas *et al.* (1987) observaron que dietas altas en glucosa generan altas cantidades de NADPH que promueven altas tasas de ovulación en borregas.

### **Las reservas lipídicas y la reproducción**

El tejido adiposo en rumiantes es de suma importancia ya que la baja o alta concentración de grasa se refleja en la condición corporal en estos animales. Por esto, el tejido adiposo y la acumulación no exacerbada de grasa en el cuerpo de los animales es fundamental para que las reservas energéticas puedan ser utilizadas en situaciones de emergencia nutricional.

Vernon (1996) indicó que el tejido adiposo comprende una variedad de células como adipositos, células endoteliales de vasos sanguíneos, células precursoras de adipositos, mastocitos y macrófagos, siendo sin embargo, los adipositos las células dominantes. En los rumiantes el metabolismo del tejido adiposo incluye la síntesis de triacilgliceroles como base para formar grasa. La síntesis de grasa requiere de una fuente de ácidos grasos y glicerol 3-fosfato, el cual es sintetizado a partir de glucosa. Los ácidos grasos pueden ser obtenidos de los triacilgliceroles procedentes de las lipoproteínas de muy baja densidad y de los quilomicrones que previamente son vertidos al plasma sanguíneo y que pueden ser producto de la hidrólisis de las grasas de los adipositos, o de las grasas consumidas por el animal. La lipólisis es un proceso que implica la movilización del tejido graso para utilizarlo como fuente de energía. Este

proceso surge como consecuencia de un estado fisiológico de emergencia del animal, como por ejemplo la falta de aportes nutricionales, especialmente energéticos. A este proceso se le conoce como balance energético negativo. En rumiantes este proceso es más acentuado al final de la gestación y principios de la lactancia, donde sin duda alguna, una adecuada condición corporal es importante para disminuir las consecuencias del balance energético negativo.

Herdt (1988) mencionó que durante el periodo de inicio de la lactancia en rumiantes la situación metabólica hormonal es caracterizada por un estado de balance energético negativo, que fisiológicamente se expresa como hipoglucemia e hipoinsulinemia, así como por concentraciones relativamente altas de hormonas lipolíticas, tales como hormona del crecimiento, lactógeno placentario y prolactina. En los tejidos la movilización de la grasa se inicia por una fosforilación mediada por AMPc la cual a su vez activa una lipasa hormonosensible que hace que a partir del tejido graso se liberen paulatinamente triglicéridos, y a su vez éstos, con la acción de hidrolasas específicas, liberen diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres y glicerol que son enviados al torrente sanguíneo, llegando posteriormente al hígado. La formación del AMPc (adenosina monofosfato cíclico) en el tejido adiposo y muscular puede ser estimulada por adrenalina y noradrenalina. Por lo que en una situación de estrés nutricional se produce una pérdida de peso y un aumento en la concentración de ácidos grasos en la sangre, esta situación es expresada como una disminución en la condición corporal (Contreras y Phil, 1988). En el hígado se lleva a cabo la degradación de los ácidos grasos, ésta

es producida por el proceso de  $\beta$ -oxidación, dando origen a moléculas de acetil CoA, las que son incorporadas al ciclo de Krebs y producen energía en forma de ATP. También en el hígado el glicerol se metaboliza dando origen a glucosa, la cual es conducida a otros tejidos u órganos donde es utilizada. Finalmente, si la cantidad de grasa movilizada excede la capacidad de oxidación del hígado, las moléculas de acetil CoA no ingresan al ciclo de Krebs por ausencia del oxaloacetato, entonces el excedente de acetil CoA da origen a los cuerpos cetónicos. El exceso de ácidos grasos y de glicerol que no se oxidan en el hígado para formar glucosa, se reesterifican dando origen a triglicéridos en las células hepáticas, y con esto además de que el animal padece cetosis, se presentará un drástico balance energético negativo, y como consecuencia la disminución en la producción y reproducción (Grummer, 1993).

Según Friggens (2003) el comportamiento reproductivo de las hembras es afectado por la movilización de las reservas de lípidos corporales. En este sentido Chilliard *et al.* (2000) indicaron que cuando los animales son subalimentados, éstos movilizan sus reservas corporales que les permite reiniciar a un nuevo ciclo de reproducción, así la movilización de las reservas corporales, las cuales pueden ocurrir en animales no productivos, es amplificada durante la preñez y la lactación por el incremento en los requerimientos fisiológicos que se demandan en estas condiciones, estando como última prioridad la reproducción.

McNamara (2000) indicó que uno de los primeros esfuerzos para codificar el conocimiento y la aplicación práctica del contenido de tejido adiposo o las reservas lipídicas de los rumiantes, fue el desarrollo del sistema de Registro de Condición Corporal, con el cual en forma general, se puede identificar con facilidad la cantidad de músculo y grasa almacenada en el cuerpo animal.

### **Condición corporal y reproducción**

Santucci *et al.* (1991) indicaron que el perfil de la condición corporal es un indicador de la dinámica de reservas corporales, de tal modo que el método de condición corporal es una herramienta para monitorear el comportamiento productivo del hato. Se ha encontrado que la condición corporal de las cabras lecheras estabuladas siguen patrones que se repiten cada ciclo productivo, por ejemplo: los animales pierden de 0.5 a 1.0 puntos al final de la gestación y de 0.5 a 0.75 puntos después del parto, y ganan de 1.0 a 1.5 puntos durante la primavera, según la disponibilidad del forraje. De esta forma, el monitoreo de la condición corporal de las cabras presenta varias fluctuaciones debido a las condiciones fisiológicas del animal (gestación, lactación, época de empadre, etc.) y al medio ambiente, en el cual se incluyen el manejo y la alimentación.

Branca y Casu (1987) mencionaron que cabras de la raza Serdeña, en lactación, la condición corporal tiene un significado fisiológico ligado a la cantidad de tejido adiposo visceral y subcutáneo, por lo que la condición



corporal está muy correlacionada con el contenido de grasa en la canal ( $r = 0.91$ ). Se encontró que en cabras Córscas y de Cerdeña, la pobre condición corporal al momento del empadre da como resultado una baja fertilidad, baja fecundidad y menor prolificidad. Como puede observarse en el cuadro 2.1

Las cabras con una baja condición corporal “responden” al estímulo de los machos cabríos, aunque esta respuesta se retrasa y es menor a la observada en cabras con una condición corporal apropiada. Datos de Mellado *et al.* (1994) indican que cabras con una condición corporal pobre mostraron celo hasta los 6 días posteriores a la presencia del macho. En cambio, las cabras con buena condición corporal empezaron a mostrar celo a partir del segundo día de contacto con el macho cabrío.

A diferencia de las ovejas, la restricción alimenticia no es una limitante para que las cabras restablezcan su actividad reproductiva (Mbayahaga *et al.*, 1998), puedan ser inducidas a presentar estro (Mani *et al.*, 1992), se altere su tasa de ovulaciones (Zarazaga *et al.*, 2005), conciban (Bocquier *et al.*, 1996; Goonewardene *et al.*, 1997) y lleven su gestación a término (Sibanda *et al.*, 1999).

Santucci *et al.* (1991) observaron en dos grupos de cabras Córscas, uno con una condición corporal (CC)  $< 2.2$  y otro con una CC  $> 2.2$ , que el porcentaje de fertilidad y el porcentaje de preñez fue mayor para la mejor CC como se observa en el cuadro 2.2

Por otra parte, Cissé *et al.* (2001) llevaron a cabo un estudio con 49 cabras de la raza Sahel, donde encontraron una tasa de concepción del 41 % que fue correlacionada positivamente con la condición corporal; por lo que las

Cuadro 2.1 Efecto de la condición corporal sobre la fertilidad, prolificidad y fecundidad en cabras de Serdeña.

C. Corporal	No. De cabras	Fertilidad	Prolificidad	Fecundidad
		----- % -----		
2.0 bajo	37	83.8	1.64	1.38
3.0 Moderado	34	88.2	1.73	1.53
4.3 Alto	16	87.5	1.64	1.44

Fuente: Branca y Casu (1987)

Cuadro 2.2 Relación entre condición corporal y comportamiento reproductivo en cabras Corsican.

Grupo	Prom. C. Corporal	% Fertilidad a 42 días	Cabras NP	CabrasCR	Cabras N
			----- % -----		
I C.C. <2.2	1.75 (0.26)	96.7	10	10	80
II C.C. >2.2	2.61 (0.33)	100	3	6	91

Valores en ( ) son Desviación Estándar Adaptado de Santucci, *et al.* (1991).

Grupo I = 30 Cabras

Grupo II = 32 Cabras

Cabras NP = No preñadas

Cabras CR = Con intervalo al parto mayor de 13 meses.

Cabras N = Con intervalo al parto de 12 meses

mejores escalas de condición corporal fueron asociadas a la preñez y las hembras que no concibieron tuvieron una baja condición corporal (cuadro 2.3).

Datos de Gunn *et al.* (1969) encontraron que la nutrición y la condición corporal influyó en la fertilidad de borregas Scottish Blackface. Según los datos de estos autores, se presentó un efecto positivo significativo en la tasa de ovulación y de partos para aquellas borregas que tuvieron una condición corporal de 2.5, en comparación con aquellas que tenían una condición corporal de 1.5.

Por otra parte, Bramley *et al.* (1976) mencionaron que está bien establecido que en ciertas razas de ovinos al incrementar su condición corporal al parto, se provoca un incremento en la tasa de ovulación y se incrementa el número de corderos nacidos. En contraste a esto, Ducker y Boyd (1977), utilizando 100 borregas Greyface en dos grupos, (50 talla grande y 50 talla pequeña), pero con la misma condición corporal, encontraron que la tasa media de ovulación fue similar entre grupos de borregas, aun cuando las borregas de talla grande fueron 25 por ciento más pesadas. Con este trabajo los autores ponen de manifiesto la importancia de la condición corporal, ya que como se observa en el cuadro 2.4 no existió efecto de la talla de los animales a una misma condición corporal.

Adalsteisson (1979) llevó a cabo una evaluación de varios hatos de borregas por un periodo de tres años, a los animales se les dividió en dos grupos (A y B) y se les midió el peso vivo y la condición corporal durante tres años. Las borregas del grupo A tuvieron un mejor comportamiento durante casi todas la evaluaciones a las variables mencionadas, ya que éstas mejoraron su peso y su condición corporal durante el periodo de estudio. El mismo efecto fue observado para la fecundidad y el peso de los corderos nacidos con ventajas para el grupo A.

Cuadro 2.3 Cambios estacionales de la condición corporal de cabras Sahel

Mes	CCV		CE		CL	
	P	NP	P	NP	P	NP
Febrero	2.9 ± 0.5	2.3 ± 0.8				
Abril	3.1 ± 0.9	2.6 ± 0.9	3.0 ± 1.1	2.3 ± 1.1	3.1 ± 0.9	2.7 ± 0.8
Mayo	3.1 <sup>a</sup> ± 0.7	2.5 <sup>b</sup> ± 0.7	3.2 <sup>a</sup> ± 0.6	2.6 <sup>b</sup> ± 0.7	3.9 <sup>a</sup> ± 0.5	3.3 <sup>b</sup> ± 0.6
Junio	2.5 <sup>a</sup> ± 0.4	2.1 <sup>b</sup> ± 0.4	2.6 <sup>a</sup> ± 0.6	2.1 <sup>b</sup> ± 0.5	3.1 <sup>a</sup> ± 0.5	2.7 <sup>b</sup> ± 0.5
Julio	3.3 ± 0.6	3.0 ± 0.8	3.1 ± 0.8	2.8 ± 0.9	3.9 ± 0.4	3.6 ± 0.7

Medias ± Desviación estandar

P = 20 Cabras preñadas

NP = 29 Cabras no preñadas

CCV = Condición Corporal Visual

CE = Condición Esternón

CL = Condición Lumbar

Medias con diferente superíndice son diferentes (P < 0.01)

Fuente: Cissé *et al.*, (2001).

Cuadro 2.4 Efecto de cambio de peso vivo sobre la tasa de ovulación y número de corderos vivos por borrega.

Talla	E. Nutricional	T. Ovulación		No. Hembras al parto	No. Corderos naci.	
CH	Mantenido	1.84	0.10	20	1.65	0.11
CH	Incrementado	2.08	0.11 <sup>a</sup>	19	1.79	0.14
G	Disminuido	1.64	0.14 <sup>a</sup>	21	1.57	0.11
G	Mantenido	1.84	0.13	21	1.62	0.14

Fuente: Ducker y Boyd (1977).

Newton *et al.* (1980) llevaron a cabo un experimento en el que utilizaron borregas Masham bajo dos diferentes registros de condición corporal (2 y 4), y tres periodos de apareamiento; inicio, mediados y final de la estación de empadre. Encontraron que las borregas de condición corporal 4 tuvieron un mejor comportamiento reproductivo, produciendo más crías triples y menos simples comparadas con las de condición corporal 2; la magnitud en la diferencia del comportamiento reproductivo entre condición 2 y 4 tuvo variaciones en los diferentes años, pero la tendencia siempre fue la misma.

Edey (1976) hizo una extensa revisión de literatura y concluyó que pesos corporales bajos y muy bajos niveles de condición corporal, se asocian con incrementos en la mortalidad embrionaria y en la alta incidencia de infertilidad. Esto coincide con lo expuesto por Daza (1997), quien explica que la condición corporal de las ovejas al momento de la fecundación se relaciona con la fertilidad, mortalidad embrionaria y prolificidad, ya que se ha demostrado que

cuando la condición corporal es baja o excesivamente alta, las variables anteriores experimentan una depresión. Así, la disminución de la fertilidad en las ovejas con condición corporal baja se explica por la ausencia de celos detectables, por fallas en la fecundación o por una pérdida total de embriones. La baja prolificidad se debe a una escasa tasa de ovulación unida a una alta mortalidad embrionaria, situación que se refleja más en las ovejas jóvenes y las demasiado viejas, ya que son las más sensibles a niveles bajos de alimentación.

### **Factores de crecimiento similar a la insulina (IGFs) y citoquinas en el crecimiento fetal y placentario.**

Se han encontrado factores de crecimiento y citoquinas en los tejidos reproductivos maternos, en el embrión y subsecuentemente en el feto y la placenta. Ambos, factores de crecimiento y citoquinas actúan localmente regulando la diferenciación celular y el crecimiento. Existe evidencia de que estas proteínas tienen una función clave en la interacción entre la madre y el embrión y posteriormente entre la madre, el feto y la placenta (Han y Hill, 1994).

Según Gadd *et al.* (2000) la placenta es reconocida como un importante determinante de la tasa de crecimiento fetal, por lo que se ha encontrado que el sistema de factores de crecimiento (IGFs) tiene un papel importante en la regulación del desarrollo y crecimiento placentario. Los componentes del sistema IGFs han sido localizados en el tracto reproductivo y la placenta de

numerosas especies, y estos presentan un patrón de expresión específico y temporal.

Tabibzadeh (1994) observó que las hormonas esteroides, como los estrógenos y progesterona, son esenciales para el establecimiento de la preñez, ya que modulan significativamente la expresión de los factores de crecimiento y las citoquinas en el tejido uterino. También, se ha observado que los factores de crecimiento similares a la insulina (IGFs) actúan localmente o de una manera endocrina. Así los IGF-I y IGF-II están presentes en la mayoría de los tejidos fetales y placentarios, tanto en estados de pre-implantación como del desarrollo embrionario. Para este segundo caso se ha encontrado que el IGF-I es importante para la transferencia de glucosa y aminoácidos a través de la placenta (Osgerby *et al.*, 2002; Wathes *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 1994; Harding *et al.*, 1994; Shultz, *et al.*, 1993). Al respecto, Wathes, *et al.* (1998) indican que en embriones de bovinos y ovinos los factores de crecimiento IGF-I e IGF-II han sido identificados por la técnica de reacción en cadena de la polimerasa, en la preinplantación del estado unicelular hasta el blastocisto. Tracey *et al.* (1997) han encontrado que el IGF-II es más abundante que el IGF-I en el feto, sin embargo el IGF-I se correlaciona más con el crecimiento fetal. La acción de los factores de crecimiento (IGFs) son vía el receptor tipo 1, y son modulados por seis proteínas que se unen a los factores de crecimiento, encontrándose la mayoría de éstas dentro del útero. Estas proteínas son conocidas como proteínas unidas a los factores de crecimiento (IGFBPs), y hasta ahora se han identificado seis (IGFBP-1, 2, 3, 4, 5, 6) que se unen específicamente a los

factores IGF-I y IGF-II, la IGFBP 1, 3, y 4. se unen con la misma afinidad a los IGF-I y II; mientras que la IGFBP-2, 5, y 6 se unen preferencialmente al IGF-II. A nivel celular, las IGFBPs actúan inhibiendo la acción de los IGFs, pero bajo ciertas circunstancias éstas pueden potenciar sus efectos mitogénicos y metabólicos. Por último, se ha encontrado que estas proteínas se sintetizan en un amplio rango de tejidos incluyendo el útero, y de este modo pueden ser un modulador importante del desarrollo placentario. Al respecto, Osgerby *et al.* (2003) encontraron una alta concentración de IGFBP-2, 3 y 6 en las cápsulas de los placentomas, lo que dio como consecuencia inhibición de los IGF-II contribuyendo a bajos pesos placentarios en un grupo de borregas.

DeChiara *et al.* (1990) indicaron que una remoción del gen que controla el IGF-II y el receptor tipo 1 a IGF (IGF-1R) en ratones causa un retraso significativo en el crecimiento placentario y fetal. Según Haig y Graham (1991) esto es importante, ya que los factores de crecimiento tipo II (IGF-II) son expresados en genes heredados por el padre y son reprimidos por genes heredados por la madre; este fenómeno es conocido como de impresión. Así, el receptor tipo 2 para factor de crecimiento tipo II (IGF-II) es una impresión opuesta, y únicamente el gen heredado maternalmente es expresado. En este sentido, la ausencia del receptor tipo 2 para los IGF heredados por la madre conlleva a la muerte del embrión del ratón el día 17 de la preñez, a menos que el gen heredado paternalmente para el factor de crecimiento tipo II (IGF-II) también este ausente. Esto sugiere que el receptor tipo 2 expresado maternalmente es necesario para prevenir abundancia o exceso de factor de



crecimiento tipo II (IGF-II) expresado por el padre. Existe entonces un balance recíproco entre el gen expresado paternalmente para IGF-II y el gen expresado maternalmente para el receptor tipo 2, el cual es necesario para el desarrollo embrionario normal. Errores en este proceso pueden generar alteraciones en el crecimiento del feto humano y la placenta, presentándose un síndrome conocido como Beckwith-Weideman. El efecto de los factores de crecimiento ha sido examinado en el desarrollo del feto, para esto se ha incrementado la abundancia de los IGF-I en fetos de ovinos con infusiones intravasculares, aumentándose tres veces su nivel normal por un periodo de 10 días en la última etapa de gestación, observándose que se incrementó sustancialmente el crecimiento de los órganos internos de los fetos, tales como páncreas, hígado, corazón, pituitaria, adrenales y pulmones, y como consecuencia, también se aceleró la maduración de la placenta (Robinson *et al.*, 1995).

Finalmente Wathes *et al.* (1998) indicaron que el factor de crecimiento IGF-I que es localmente producido, influye más que el IGF-II en el desarrollo embrionario, y esto lo resume en dos mecanismos posibles: (a).- El IGF-I puede ser liberado dentro del fluido del oviducto estimulando el crecimiento embrionario directamente, y (b).- El IGF-I puede estimular la actividad secretora de la ampolla del oviducto, la cual alcanza su pico de actividad durante este periodo, generando un número de glicoproteínas moduladas por esteroides, que al ser liberadas mejoran las tasas de fertilización y el desarrollo embrionario.

Kaye *et al.* (1992) observaron que la insulina es otra hormona importante relacionada en el desarrollo del embrión en sus primeras etapas, así que la insulina maternal parece ser esencial para sostener el crecimiento embrionario. La supresión de la insulina durante los primeros estadios de la preñez resulta en un retraso del crecimiento en ratones. Las citoquinas son fundamentales en el desarrollo embrionario ya que proveen un sistema de enlace entre la madre y el feto. Cambios inflamatorios en el útero ocurren poco después de la fecundación y estos pueden estar bajo la influencia de las citoquinas originadas en el epitelio uterino, el cual es regulado por hormonas esteroides del ovario. Son pocas las citoquinas que parecen estar involucradas en la interacción crítica entre la madre y el feto, una de estas es el Factor Inhibitorio de Leucemia (LIF). Esta citoquina es expresada en las glándulas endometriales a partir del día 4 de gestación, y se requiere para la implantación del embrión. La mutación del gen que controla esta citoquina causa fallas en la implantación quedando el embrión viable en el útero imposibilitado para implantarse (Bhatt *et al.*, 1991).

### **Factores hormonales en el crecimiento fetal y placentario**

El crecimiento fetal implica un incremento y diferenciación de tejido y requiere de la coordinación entre estos dos procesos para un desarrollo normal. Anormalidades en estos procesos o en su coordinación alterara el patrón de crecimiento intrauterino y puede tener efectos adversos sobre la viabilidad neonatal. Un pobre crecimiento en el útero se asocia también con fallas después del nacimiento en animales domésticos (Fowden, 1995).

Es poco conocida la regulación endocrina del crecimiento fetal, particularmente a nivel de tejidos o de células. Se ha encontrado que la remoción del páncreas, pituitaria, tiroides y adrenales afectan el desarrollo fetal, aunque la extensión y la naturaleza de las anomalías en el crecimiento depende de la deficiencia endocrina y de la severidad y duración en el útero (Fowden, 1989).

Insulina: Fowden (1989) indicó que la insulina es una de las hormonas con mayor acción para promover el incremento de tejido en el feto; es requerida en la última etapa de la gestación para un crecimiento fetal normal. Su deficiencia en el útero lleva a un crecimiento retardado, ya que la insulina promueve acciones anabólicas en el feto, tales como la reducción del catabolismo de aminoácidos, estimulación de la utilización de glucosa y el destinar ésta para el metabolismo oxidativo en los tejidos fetales. Además, la insulina actúa sobre el crecimiento, alterando la concentración de IGFs, los cuales regulan la división y diferenciación celular.

Tiroxina: Las hormonas tiroideas estimulan el crecimiento fetal por mecanismos metabólicos y no metabólicos, la principal hormona es la tiroxina  $T_4$ , la cual es importante porque participa en el control del crecimiento fetal estimulando la utilización de  $O_2$  por los tejidos fetales. Cuando hay deficiencia de  $T_4$  o existe una tiroidectomía, la utilización del oxígeno se reduce de un 20 a un 30 %, así la tasa de oxidación de glucosa fetal es reducida, de tal manera

que el feto perderá energía disponible para el crecimiento (Fowden y Silver, 1995).

Glucocorticoides: La elevación en la concentración de cortisol en el feto inhibe el crecimiento fetal y declina la tasa de crecimiento que normalmente ocurre en los últimos 10 a 15 días antes del parto en borregos. El incremento prematuro del cortisol fetal causado por condiciones adversas como hipoxia o desnutrición, contribuye al retardo en el crecimiento intrauterino. Li *et al.* (1993) indicaron que parte de los efectos del cortisol sobre la diferenciación y maduración celular puede ser mediada a través de los cambios en la producción de IGFs en los tejidos. En borregos, el cortisol suprime los niveles de IGF-II y mejorar la expresión genética de IGF-I en el hígado del feto, en la última etapa de la gestación (Gilmour *et al.*, 1994).

### **Factores nutricionales en el crecimiento fetal y placentario**

Bell (1984) observó que una desnutrición moderada o severa en borregas a lo largo de la preñez conduce a una reducción significativa del peso de la placenta hacia el final de la gestación, este efecto se da aparentemente a los 90 días de preñez, después de una severa desnutrición.

Mellor (1983) observó que el retraso en el crecimiento fetal en borregas gestantes desnutridas tiene de algún modo influencia placentaria, y esto se asume por el aporte de los nutrientes de la madre hacia el feto, que influyen

directamente la absorción a través de los cotiledones y el transporte umbilical de éstos para el crecimiento del feto. Esto concuerda con lo observado por Zhang *et al.* (2002) quienes documentaron que un aporte bajo de glucosa y de proteína en las vacas lecheras afecta adversamente el desarrollo placentario y como consecuencia el crecimiento fetal se retrasa.

Harding y Johnston (1995) observaron que el suministro inadecuado de nutrientes hacia el feto, resulta en la alteración de la actividad metabólica fetal, para sobrevivir, por lo que parte de esta adaptación implica disminuir o detener su crecimiento. Durante el crecimiento se ha estimado, por ejemplo en borregos, que del 20 al 40 por ciento del oxígeno consumido es utilizado para crecimiento, por lo que una reducción de este sustrato es significativo para la adaptación y la sobrevivencia.

En un estudio de Osgerby *et al.* (2002) se observó que en borregas bien alimentadas (100 por ciento de su dieta), el peso de la placenta y el feto fue mayor en comparación con aquellas que estuvieron mal alimentadas (70 por ciento de su dieta)  $540 \pm 24.8$  g vs  $438 \pm 44.4$  g y  $4395 \pm 99.1$  g vs  $3886 \pm 238$  g, respectivamente hacia el día 135 de gestación. Concluyeron que la disminución de tamaño y peso de la placenta fue debido a que los niveles de glucosa y IGFs en plasma disminuyeron en los animales sujetos a desnutrición.

En otro estudio, Osgerby *et al.* (2003) encontraron que el número de placentomas tendió a ser menor en borregas con baja condición corporal (2.0) que en borregas con alta condición corporal (3.5), no obstante el peso de los placentomas fue significativamente mayor en borregas con baja condición corporal, en comparación con las de alta condición corporal.

En contraste, Wallace *et al.* (1999) indicaron que a borregas antes de su gestación, se les alimento con dietas que contenían moderada y alta energía, y la combinación de estas, posteriormente al evaluarlas por el día 104 de gestación, se encontró una mayor respuesta en el peso fetal y el número de cotiledones para el grupo de alimentación con energía moderada, en comparación con el grupo de alimentación con alta energía,  $1570 \pm 72.0$  g vs  $1350 \pm 185.2$  g y 102 vs 96, respectivamente, para peso fetal y número de cotiledones.

Mc Neill *et al.* (1999) utilizaron borregas gordas y magras alrededor del día 146 de gestación, no encontrando diferencias significativas con respecto al peso fetal y peso de la placenta, 4382 g vs 4408 g; 502 vs 434 g respectivamente, aunque estos datos si reflejan diferencia numérica.

McCraab *et al.* (1992) encontraron que el peso placentario fue reducido para borregas con restricción alimenticia entre el día 30 y 96 de la preñez, y no así entre los días 50 a 96 y 75 a 96, por lo que concluyeron que una restricción

alimenticia durante los primeros estadios de la preñez es el tiempo más crítico para el crecimiento placentario.

Faichney (1981) observó que en borregas desnutridas, el suministro de una dieta adecuada entre los 50 y 100 días de gestación, puede prevenir o revertir el proceso de retraso del crecimiento de la placenta, llegando ésta a un peso normal al final de la gestación.

Al respecto, Black (1989) indicó que el crecimiento fetal y el peso del cordero al nacer parecen estar afectados en forma diferencial dependiendo de la severidad, duración y momento de la restricción nutricional durante la preñez. Los momentos críticos probablemente se encuentren alrededor del periodo de implantación y durante la preñez avanzada, cuando la placenta pierde algo de su habilidad para compensar el suministro inadecuado de nutrientes. En este sentido, una restricción moderada de nutrientes estimula el crecimiento de los cotiledones, pero se ha visto que una restricción severa causa la involución de éstos. Por lo tanto, la restricción nutricional moderada después de la implantación parece estimular el desarrollo de los cotiledones, en un intento por compensar el menor suministro de nutrientes de la sangre materna, de tal modo que en algunos casos la compensación es suficiente para mantener la tasa de crecimiento del feto. En algunos casos donde no ocurre la compensación, la realimentación no estimula el crecimiento fetal y resultan fetos más pequeños.

### **Relación entre el perfil sanguíneo y tipo de dieta**

El análisis de algunos de los componentes celulares y bioquímicos de la sangre se emplea como un medio de apoyo en el diagnóstico de problemas clínicos en las explotaciones pecuarias, y se le conoce como perfil metabólico o perfil sanguíneo. Puesto que la sangre es un tejido que se mantiene en equilibrio constante con respecto a otros tejidos, cualquier trastorno de tipo metabólico se reflejará en ese equilibrio, y es por esto que el análisis de los componentes sanguíneos es de utilidad práctica y clínica (Bernal, 1990).

Payne *et al.* (1970) fueron los primeros investigadores en proponer el uso de los perfiles metabólicos como un medio de evaluación del estado nutricional del ganado. Las determinaciones que se efectuaron en esta prueba fueron: hemoglobina, glucosa, urea, proteínas totales, albúminas, globulinas, fósforo inorgánico, calcio, magnesio, sodio y potasio. Encontraron que las concentraciones séricas de cada uno de estos parámetros, se relacionaban con el nivel de producción de leche, estado productivo, época del año, así como con el tipo de dieta y el tipo de manejo del hato. En la actualidad, el perfil metabólico es una herramienta más para evaluar los problemas de origen nutricional, metabólico y de manejo.

Doxey (1977) señaló que el nivel nutricional de los animales es muy importante para la interpretación del perfil metabólico, ya que un nivel nutricional deficiente afecta de manera adversa el hematocrito, la hemoglobina y el perfil metabólico general en los animales.



Lee *et al.* (1978) encontraron una relación entre los cambios en el perfil metabólico y diferentes aspectos de la producción en el ganado lechero, de tal manera que el nivel de producción de leche afectó las concentraciones sanguíneas de glucosa, calcio, hemoglobina, hematocrito, proteínas totales, urea y sodio. Del mismo modo, la época del año afectó, además de los parámetros antes mencionados, las concentraciones de fósforo y magnesio.

Adams *et al.* (1978) y Thompson *et al.* (1978) indicaron que en herbívoros hay una muy pobre correlación entre los componentes sanguíneos y los nutrientes consumidos. Sin embargo, el análisis sanguíneo puede demostrar deficiencias nutricionales. Cuando la concentración de magnesio o cobre en la sangre disminuyen, estos valores son indicadores de la necesidad de suplementar estos elementos, aun cuando los coeficientes de correlación entre los niveles sanguíneos de estos elementos y su contenido en la dieta no sea significativo.

Parra *et al.* (1999) utilizaron tres grupos de vacas híbridas *Bos taurus x Bos indicus*, a las cuales les midieron la concentración de metabolitos sanguíneos y la relación con el estado nutricional. Encontraron que la concentración de los metabolitos sanguíneos (albúmina, globulina, urea, beta-hidroxibutirato y fósforo) se encontraron en general dentro de los valores de referencia, con la excepción de que un grupo de vacas tubo niveles bajos de albúmina y urea, y altos niveles de globulinas. Con relación al volumen celular

estuvieron abajo del valor normal, los cuales fueron negativamente correlacionados con la producción de leche. Por otra parte, el intervalo entre el parto y concepción se relacionó negativamente con el nivel de albúmina y se asoció con deficiencia de proteína en la dieta o con alguna enfermedad.

Como puede observarse en los estudios antes mencionados, el perfil sanguíneo o metabólico puede ser de gran utilidad en la identificación de algún problema metabólico por deficiencia en el aporte de nutrientes, o por exceso o desbalance de los mismos. En este sentido, la aplicación de esta prueba para la identificación de metabolitos en cabras en agostadero es importante, ya que se pudiera estimar el aporte nutricional de las plantas consumidas por estos animales.

### **Relación entre la morfología oral y el tipo de dieta**

El consumo y la selección del alimento por los rumiantes ha sido relacionado muy estrechamente por el tamaño y forma de la boca del animal, como la amplitud de los dientes incisivos, forma arqueada de los dientes incisivos, amplitud del hocico, y la amplitud de los dientes incisivos (Gordon e Illus, 1988; Gordon *et al.*,1996).

Spaeth *et al.* (2001) encontraron que la arquitectura del hocico del alce esta relacionado con la amplitud y profundidad de los dientes incisivos y que estos se relacionan con las dietas tanto de hembras como de machos,

encontrándose una amplitud mayor de los dientes de las hembras, en comparación a los de los machos.

Al respecto, se ha observado que especies de animales que se alimentan predominantemente de pastos, tienen dientes incisivos arqueados más planos que animales que consumen arbustos, y también tienen bocas más amplias, por lo que son capaces de obtener una mayor cantidad de vegetación. Así, la superficie arqueada de la hilera de dientes postcaninos se ha relacionado con la cantidad, abrasión, y resistencia mecánica a la trituración del alimento ingerido (Pérez-Barbería y Gordon, 1998).

De esta forma, los animales en pastoreo tienen una mayor superficie arqueada en los dientes postcaninos para moler alimentos gruesos, mientras que animales que ramonean arbustos tienen dientes postcaninos más pequeños y más angostos, pero sus crestas dentales son más prominentes, y son adaptados para la perforación de las paredes celulares del material de los arbustos (Solounias *et al.*, 1994).

Pérez-Barbería y Gordon, (1999) indicaron que la morfología de la mandíbula también tiene una función fundamental en el proceso de selección y trituración del alimento, ya que la mandíbula es una estructura a la cual se unen los dientes y los músculos, donde estos últimos ejercen fuerza y movimiento en el proceso de masticación. Así, la mandíbula y los músculos de ésta han sido extensivamente estudiados en otras especies como humanos, ardillas,

armadillos, etc. Por lo anterior, algunos autores han puntualizado la importancia de estas estructuras en la ecología nutricional. Smith *et al.* (1983) sugieren que hay una estrecha relación entre la forma de la mandíbula y la dieta en los ungulados, por lo que se ha puesto especial atención en el tamaño y la morfología de la unión temporomandibular y su relativa posición a la oclusión de los dientes planos postcaninos, debido principalmente a las diferencias funcionales en la masticación entre herbívoros y carnívoros. Así, la unión temporomandibular y su posición se relacionan con dos propiedades básicas de la actividad masticatoria: 1) la fuerza del mordisco y 2) a la movilidad transversal de la mandíbula, lo cual es importante para los mamíferos herbívoros.

### **3. Influence of lactation, liveweight and lipid reserves at mating on reproductive performance of grazing goats**

Miguel Mellado, Lorenzo Olivares, Ramiro López and Jesús Mellado

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

( JOURNAL OF ANIMAL AND VETERINARY ADVANCES 4 (4):420-423 2005)

#### **SUMMARY**

Multiparous goats (n=183) of undefined genotype (native x traditional dairy breeds) kept on a desert rangeland were used to assess the effect of concurrent pregnancy and lactation, liveweight and lipid reserves at the sternum at mating on reproductive performance. The extended lactation during the dry season, concurrent with pregnancy, was associated with a lower ( $P < 0.01$ ) pregnancy rate (60 vs 92% for lactating and dry does, respectively), prenatal wastage (77 vs 4%) and kidding rate (14 vs 88%). Body weight at mating, middle of gestation and parturition, as well as sternum width and skin thickness at the sternum region was not different between dry and lactating does. In a second analysis considering only the dry does, the proportion of does pregnant, as well as kidding rates were not affected by body weight of does at mating, middle of gestation and at parturition. However, mean litter size tended to be higher ( $P = 0.09$ ) for heavier does at mating ( $1.65 \pm 0.48$  vs  $1.46 \pm 0.51$ ) and at the middle ( $1.65 \pm 0.48$  vs  $1.45 \pm 0.51$ ) of gestation. Mean litter weight also tended to be higher ( $P = 0.06$ ) for heavier does at the middle of gestation ( $5.40 \pm$

0.83 vs  $4.89 \pm 0.87$ ). Body energy reserves, as reflected in sternum width and skin thickness in the sternum region, tended to be related to kidding rates, with does with higher fat reserves supporting higher kidding rates (94 vs 83%;  $P < 0.01$ ). Litter size and weight did not differ among does with different body fat reserves. These data indicate that, although lactation concurrent with gestation in the dry season was not associated with a major weight loss, it had a drastic cost on reproductive effort. Moreover, mean litter size and weight tended to be positively influenced by body weight at mating but not by levels of sternum energy reserves of does.

Key words: pregnancy rate, kidding rate, litter size, lactation, range

## **INTRODUCTION**

Under range conditions in the arid zones of northern Mexico, goat birth is programmed with the summer green-up. Adequate nutrient content of forage during summer and fall allows goats to produce about 60 kg of milk during 6 months and to restore their lipid reserves for their brief once-a-year reproductive season (Mellado et al., 2005). With rains in winter (erratic in this area), some producers keep milking the goats in winter, which deteriorates the body energy reserves of does because of the low forage availability and the concurrence of pregnancy and lactation. In this environment Mellado et al. (2001) recommended that pregnant does should not lose weight so as to be able to produce and maintain viable fetuses throughout the gestation period. Failure to

gain enough weight and body reserves at the end of lactation (end of summer) may result in delayed response of does to the buck stimulus (Mellado et al., 1994), coupled with poor reproductive performance during the next season (Mellado et al., 2004). An understanding of the reproductive characteristics of the goats in xeric environments as affected by various management factors is a fundamental component in enhancing the productive potential of these animals. This investigation was implemented to assess the influence of prolonged lactations concurrent with pregnancy, liveweight and body lipid reserves, measured via sternum measurements, on the reproductive efficiency of mixed-breed goats under range conditions.

## **MATERIALS AND METHODS**

The study was conducted on natural rangelands in the Chihuahuan desert biome of northeast Mexico (101° 20' W, 25° 30' N), in a communal grazing system. The average annual precipitation is 322 mm, with 75% falling from June to October. Average maximum daily temperatures range from 28°C in January to 37.2°C in July. Average minimum daily temperatures range from – 0.7°C in January to 12.3°C in July.

The most commonly encountered shrub species was creosotebush (*Larrea tridentata* (DC.) Cov.). Other shrubs commonly found were lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), pricklypear (*Opuntia rastrera* Weber) and tarbush (*Flourensia cernua* DC.). Primary grasses included sideoats grama (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.) and Arizona three-awn (*Aristida arizonica* Vasey).

The most commonly encountered forb species were globe-mallow (*Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) D. Don) and silver-leaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Historically, this pasture have been heavily stocked by large flocks of goats, bovines and equines.

Multiparous mixed-breed goats (native x traditional dairy breeds; n=183) from a commercial flock were selected at mating. Average live weights at the commencement of the breeding period was  $38.2 \pm 4.4$  kg. Goats grazed on open range year round driven by a herdsman for 8 h per day (from 1000 to 1800 h). Animals were penned near the household at night without access to feed and water. No food supplements and salt mineral mix were provided to the goats throughout the year, and animals had access to water only once a day. Group mating took place during 4 weeks in February 2004. Bucks were adult Boer sires and the doe buck ratio was 35:1. After the breeding season males were not allowed to interact with the females throughout the year. Kiddings occurred in July. Goats were not vaccinated against endemic diseases and were not treated against internal and external parasites. Kids were not weaned, therefore they remained with their dams throughout the lactation period. Stocking rate were approximately 8 ha per goat, which was within the carrying capacity of this rangeland.

Each doe was weighed directly off feed and water at the start of the breeding period, at the middle of gestation (70 days after the initiation of buck exposure) and the day following parturition. Assessment of sternum width and skin thickness in the sternum area was made with a fat-o-meter skinfold caliper (Novel Products Inc., Rockton, Il., USA), an instrument designed for body



composition assessment in humans. For pregnancy determination at about 80 days of pregnancy, does were scanned transabdominally, standing, in the right inguinal region, with an Aloka 500 ultrasound equipment with a 5 MHz transducer. Previous to the examinations, the hair in the targeted region was shaved. At parturition all kiddings were recorded, as well as litter size. Kids were weighed the day of birth.

Because of an extremely low kidding rate of the lactating does, the effect of lactation concurrent with gestation was examined independently to assess lactation on fetus success. One-hundred and eighty three pluriparous does were allocated to two groups. One group (n= 109) was dry at the beginning of the mating period (control), while the other group (n=74) had been milked during 6 months, and lactation continued during the mating and gestation period in the dry season. In a second analysis the reproductive performance of 105 dry goats was assessed taking into account the liveweight of does at mating, middle of gestation and parturition. Additional variables considered were the diameter of the sternum and the skin thickness in the sternum area. Body weights at mating, middle of gestation and parturition were classified into two classes: less or greater than 35 kg, and less or greater than 37 kg, respectively. The classes for the diameter of the sternum were <4.9 and >4.9 cm, whereas thickness of the skin in the sternum area was grouped as <0.05 or >0.05 cm.

For the lactating and dry does pregnancy and kidding rates were analyzed using the Chi-square test, while the rest of the data were analyzed using the Student's t-test. For the dry does, pregnancy and kidding rates were analyzed using the Chi-square test. The rest of the data were analyzed by the general linear model

procedure of SAS (SAS Institute, 1988). The model took into account body weight at mating, at the middle of gestation and parturition, sternum diameter and skin thickness at the sternum. The dependent variables were the litter traits.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

The effect of lactation concurrent with gestation on does reproductive performance and some body traits are presented in Table 1. The extension of milk synthesis during the dry season caused a marked reduction ( $P < 0.01$ ) in pregnancy rate of does. Fetal survival in lactating does was much lower ( $P < 0.01$ ) than that in dry does, and consequently the kidding rate was 6 times higher ( $P < 0.01$ ) in dry does compared with lactating animals. The associations between milk secretion and fertility may run via pleiotropic effects, i.e. via functional pathways (for example related to intake), or linkage of genes and may involve changes in levels of hormones and metabolites (Veerkamp et al., 2003). In the present study apparently milk secretion increased metabolic load via a higher yield per se and/or via physiological processes that facilitate milk yield, compromising fertility in the lactating does. Apparently excessive resources were drawn away from fitness-related traits, such as fertility, to sustain milk production. In addition, resources for maintaining fitness depend on the demands by the environment, and in this harsh environment more resources are required for fitness-related traits than in an optimal environment.

The low reproductive performance of the lactating goats was due primarily to the high prenatal wastage (77%) as opposed of failure of does to

become pregnant. In this zone, the standing crop of forages during the rainy season (summer and fall) is about double the standing crop during the dry season (winter and spring) (Mellado et al., 2005). Thus it was clear that the low availability of forage in winter was not compatible with the high metabolic state of goats (concurrent lactation and pregnancy), and thus fetal survival was affected adversely. The large effect of under-fed does in arid environments on prenatal wastage (Mellado et al., 2001) support this view.

Non-lactating females and females that experienced lactation in winter did not differ in body weight at the beginning, middle and end of gestation (Table 1). The negative association between lactation and fertility in goats could not be attributed to marked variation in body energy reserves, as the width of the sternum region and skin thickness of the sternum area were not different between lactating and dry does. Thus, although lactation had not a negative effect on mass variation it had a profound reproductive cost.

The effects of body weight and sternum measurements on the reproductive performance of does is presented in Table 2. Neither body weight at mating, middle or end of gestation significantly affected pregnancy and kidding rates. The lack of a detrimental effect of low body weight on conception rate suggests that the majority of does conceived regardless of their body weight. Data of Mellado et al. (2004b) indicate that thin goats under range conditions are capable of reaching acceptable conception rates. Mbayahaga et al. (1998) also documented that, different to sheep, postpartum body weight loss in goats is not a limiting factor of the estrus and ovarian resumption after parturition. Goonewardene et al. (1997) also indicate that weight lost prior to

breeding does not affect estrus response and kidding rates in dairy goats. The acceptable pregnancy (Bocquier et al., 1996) and kidding (Sibanda et al., 1999) rates in goats on a low plane of nutrition and the efficient induction of estrus (Mani et al., 1992) in goats under a poor nutrition regime are additional evidence of the reproductive capacity of goats under resource-poor environments. Moreover, goats in the present study did not lose weight during pregnancy, which prevented massive prenatal wastage.

However, mean litter size tended to be higher ( $P= 0.09$ ) for heavier does at mating and at the middle of gestation. Mean litter weight also tended to be higher ( $P= 0.06$ ) for heavier does at the middle of gestation. This effect apparently is explained by a higher stores of metabolic reserves in heavier does at mating, because it exists a strong linear relationship between liveweight and condition score in ewes (Kenyon et al., 2004).

These findings are consistent with the observed higher litter size and weight in does (Hoque et al., 2002; Akingbade et al., 2003; Mellado et al., 2004) with the heavier weights at mating. The association between body mass of does and litter size and weight could be attributed to a higher ovulation rate in heavier does, because it has been shown that a drop in body weight in goats is accompanied by a reduction in ovulation rate (Mani et al. 1992), whereas ovulation rate increases almost linearly with body weight (Henniawati and Fletcher, 1986). Also, larger percentage of multiple births has been observed in does on good nutrition than those on low nutrition (Sachdeva et al., 1973). The mechanisms by which body weight affects litter size in goats is not fully understood, although studies in sheep indicate that body energy reserves may

have a direct effect on hypothalamic and pituitary activity (Rhind et al., 1989; Vinales et al., 2002; Tanaka et al., 2002). We hypothesized the existence of a threshold weight below which litter size and litter weight in does decreases.

Pregnancy rate was not affected by both width of the sternum and skin thickness in the sternum region, but kidding rates tended to be higher ( $P < 0.09$ ) in does with wider sternum area and thicker skins in the sternum region. In the present study the sternum measurements were considered to reflect body energy reserves, because other researcher have documented that fat thickness in the sternum region is a good predictor of all fat depots and carcass composition traits in goats (Delfa et al., 1995) and ewes (Mendizabal et al., 2003). The higher stores of metabolic reserves of does was associated with higher percentage of kiddings. These results are similar to those on the effect of body condition on fertility seen in goats (Absy et al., 2001; Atti et al., 2001; Mellado et al., 2004a) and sheep (Gunn et al., 1979). The similar pregnancy rate of goats with low and high amount of body fat reserves and the lower kidding rate of the lean does indicate that fetal losses were greater in goats with lower pre-mating fat reserves. The lack of effect of low stores of metabolic reserves on litter traits (Table 2) in the present study contrast with most reports in goats (Kusina et al., 2001) and sheep (Atti et al., 2001; Lassoued et al., 2004), where larger litter size have been reported in animals with greater body energy reserves at mating. The differences in body lipid reserves of does in the present study apparently were not large enough to affect litter size.

## Conclusions

These data indicate that lactation concurrent with gestation during the dry season is one of the major limiting factors for reproductive success in does in this arid range. Moreover, mean litter size and weight tended to be positively influenced by body weight at mating but not by levels of body energy reserves of does. Thus, to achieve a high reproduction output, farmers should avoid lactations in the dry season, and to ensure does to attain high liveweights and condition scores at mating.

## ACKNOWLEDGEMENT

Appreciation is extended to COECYT (grant number COAH-2002-C01-3753) for founding of this study.

## References

- Absy, G., S.M.M. Abuzead and A.E. Zeiddan, 2001. Resumption of postpartum ovarian activity in goats as affected by kidding season and body condition score under Egyptian conditions. *Indian J. Anim. Sci.*, 71: 922-926
- Akingbade, A.A., I.V. Nsahlai and C.D. Morris, 2003. Relationships between heart girth and body weight measurements of South African indigenous Nguni goats. *Indian J. Anim. Sci.*, 73:1141-1143.

- Atti, N., M. Theriez and L. Abdennebi, 2001. Relationship between ewe body condition at mating and reproductive performance in the fat-tailed Barbarine breed. *Anim. Res.*, 50: 135-144.
- Bocquier, F., B. Leboeuf, L. Guedon and Y. Chilliard, 1996. Reproductive performances of artificially inseminated prepubertal goat: effects of feeding level and body weight. 33emes rencontres autour des rech. Sur les Rum. Paris, France. pp 187-190.
- Delfa, R., Gonzalez, C. Teixeira, A, Gosalvez and L.F. Tor-M, 1995. Relationships between body fat depots, carcass composition, live weight and body condition scores in Blanca Celtiberica goats. *Options-Mediterraneennes.-Serie-A,-Seminaires-Mediterraneens*, 27: 109-119.
- Goonewardene, L.A., W. Whitmore, S. Jaeger, T. Borchert, E. Okine, O. Ashmawy, S. Emond, 1997. Effect of prebreeding maintenance diet on subsequent reproduction by artificial insemination in Alpine and Saanen goats. *Theriogenology*, 48: 151-159.
- Gunn, R.G. and J.M. Doney. 1979. Fertility in Cheviot ewes. I. The effect of body condition at mating on ovulation rate and early embryo mortality in North and South country Cheviot ewes. *Anim. Prod.*, 29: 11-16.

Henniawati, H., I.C. Fletcher, 1986. Reproduction in Indonesian sheep and goats at two levels of nutrition. *Anim. Reprod. Sci.*, 12: 77-84.

Hoque, M.A., M.R. Amin and D.H. Baik, 2002. Genetic and non-genetic causes of variation in gestation length. Litter size and litter weight in goats. *Asian Austr. J. Anim. Sci.*, 15: 772-776.

Kenyon, P.R., P.C.H. Morel and S.T. Morris, 2004. Effect of liveweight and condition score of ewes at mating, and shearing mid-pregnancy, on birthweights and growth rates of twin lambs to weaning. *N. Z. Vet J.*, 52: 145-149.

Kusina, N.T., T. Chinuwo, H. Hamudikuwanda, L.R. Ndlovu and S. Muzanenhamo, 2001. Effect of different dietary energy level intakes on efficiency of estrus synchronization and fertility in Mashona goat does. *Small Rumin. Res.*, 39: 283-288.

Lassoued, N., M. Rekik, M. Mahouachi and M. BenHamouda, 2004. The effect of nutrition prior to and during mating on ovulation rate, reproductive wastage, and lambing rate in three sheep breeds. *Small Rumin. Res.*, 52: 17-125.



Mani, A.U., W.A.C. McKelvey and E.D. Watson, 1992. The effects of low level of feeding on response to synchronization of estrus, ovulation rate and embryo loss in goats. *Theriogenology*, 38, 1013-1022.

Mbayahaga, J., S.N.M. Mandiki, J.L. Bister and R. Paquay, 1998. Body weight, oestrus and ovarian activity in local Burundian ewes and goats after parturition in the dry season. *Anim. Repr. Sci.*, 51: 289-300.

Mellado, M., J.E. García, R. Ledezma and J. Mellado, 2004a. Prediction of goat litter size using body measurements. *Interciencia*, 29:698-701.

Mellado, M., H. González and J.E. García, 2001. Body traits, parity and number of fetuses as risk factors for abortion in range goats. *Agrociencia*, 35: 355-361.

Mellado, M., A. Olvera, A. Quero and G. Mendoza. 2005. Diet of prairie dogs, goats and sheep on a desert rangeland. *Range. Ecol. Manage.*, (in press).

Mellado, S. Rodríguez, R. Lopez and A. Rodríguez. 2005. Relation among milk production and composition and blood profiles and fecal nutrients in goats on rangeland. *Small Rumin. Res.*, (in press).

Mellado, M., R. Valdez, L.L. Lara and J.E. García, 2004b. Risk factors for conception, abortion, and kidding rates of goats under extensive conditions. *Small Rumin. Res.*, 55: 191-198.

- Mellado, M., A. Vera and H. Loera, 1994. Reproductive performance of crossbred goats in good or poor body condition exposed to bucks before breeding. *Small Rumin. Res.*, 14: 45-48.
- Mendizabal, J.A., R. Delfa, A. Arana, P. Eguinoa, C. Gonzalez, T. Treacher and A. Purroy, 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different methods. *Canadian J. Anim. Sci.*, 83: 695-701.
- Rhind, S.M., S. McMillen, W.A.C. McKelvey, F.F. Rodriguez-Herrejon and A.S. McNeilly, 1989. Effect of the body condition of ewes on the secretion of LH and FSH and the pituitary response to gonadotrophin-releasing hormone. *J. Endocrinol.*, 120: 497-502.
- Sachdeva, K.K., D.P.S. Sengar, S.M. Sing and I.L. Lindhl, 1973. Studies on goats. I. Effects on plane of nutrition on the reproductive performance of does. *J. Agric. Sci.*, 80: 375-379.
- Sibanda, L.M., L.R. Ndlovu and M.J. Bryant, 1999. Effects of low plane of nutrition during pregnancy and lactation on the performance of Matebele does and their kids. *Small Rumin. Res.*, 32: 243-250.
- Statistical Analysis Systems Institute. 1988. *SAS Users`guide*, Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Tanaka, T., N. Akaboshi, Y. Inoue, H. Kamomae and Y. Kaneda, 2002. Fasting-induced suppression of pulsatile luteinizing hormone secretion is related to body energy status in ovariectomized goats. *Anim. Repr. Sci.*, 72: 185-196.

Veerkamp, R.F., B. Beerda and T. VanderLende, 2003. Effects of genetic selection for milk yield on energy balance, levels of hormones, and metabolites in lactating cattle, and possible links to reduced fertility's. *Liv. Prod. Sci.*, 83: 257-275.

Table 1. Effect of lactation during the dry season concurrent with gestation, on reproductive performance and body weight and sternum measurements of goats under range conditions.

Item	Non-lactating	Lactating
Number of does mated	109	74
Percentage of does pregnant	92 (100/109)	60 (44/74)*
Percentage of does kidded	88 (96/106)	14 (10/74)*
Percentage of prenatal wastage	4.3 (4/92)	76.6 (46/60)*
BW at mating (x ± SD, kg)	35.1 ± 4.7	34.4 ± 4.9
BW ½ pregnancy (x ± SD, kg)	35.0 ± 4.8	32.8 ± 4.4
Diameter of sternum (x ± SD, cm)	4.7 ± 0.35	4.6 ± 0.43
Skin thickness in the sternum (x ± SD, cm)	0.52 ± 0.25	0.47 ± 0.29

\*P<0.01

Table 2. Effect of body weight at mating, middle of gestation and kidding, and lipid reserves in the sternum on doe reproductive efficiency.

Item	Does mated (no)	Does pregnant (%)	Does kidded (%)	Kids born/ does kidded	Litter weight (kg)	birth
Body weight at mating						
< 35 kg	57	93	85	1.46 ± 0.51 <sup>a</sup>	5.08 ± 0.97	
> 35 kg	48	92	89	1.65 ± 0.48 <sup>b</sup>	5.27 ± 0.81	
Body weight ½ preg.						
< 35 kg	56	92	84	1.45 ± 0.51 <sup>a</sup>	4.89 ± 0.87 <sup>A</sup>	
> 35 kg	49	92	89	1.65 ± 0.48 <sup>b</sup>	5.40 ± 0.83 <sup>B</sup>	
Body weight at kidding						
< 37 kg	52	—	83	1.44 ± 0.51	4.97 ± 0.91	
> 37 kg	53	—	92	1.62 ± 0.49	5.28 ± 0.86	
Diameter of sternum						
< 4.9 cm	50	90	82 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.51	5.25 ± 1.11	
> 4.9 cm	55	94	92 <sup>b</sup>	1.56 ± 0.50	5.28 ± 0.70	
Skin thickness sternum						
< 0.5 cm	58	90	83 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.50	5.15 ± 0.82	
> 0.5 cm	47	95	94 <sup>b</sup>	1.54 ± 0.51	5.22 ± 0.97	

<sup>A,B</sup> P=0.06; <sup>a,b</sup> P= 0.09

## Caprine Placental Traits In Pen-Fed Goats And Goats Kept On Rangeland

M. Mellado, L. Olivares, J.A. Villarreal, A. Rodríguez

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

(Enviado para su publicación en Journal of Applied Animal Reseach )

### ABSTRACT

To determine if rearing conditions (pen vs. extensive grazing) alters placental development, mixed-breed goats were kept either under intensive (n=31) or extensive (n= 40) condition in a desert rangeland. Does kept under pen conditions had higher ( $P<0.01$ ) serum glucose, urea, cholesterol, total proteins and phosphorus values than grazing goats. There was no effect of rearing conditions on kid birth weight, but placentas from nutrient-restricted mothers were 56% heavier ( $P<0.01$ ) than pen-fed does. Placentas from the grazing goats had less placentomes ( $50 \pm 11$  vs.  $68 \pm 19$ ;  $P<0.01$ ) and less feto-maternal contact area ( $264 \pm 72$  vs.  $359 \pm 112$  cm<sup>2</sup>;  $P<0.01$ ) compared to the pen-fed goats. Body condition score was significantly correlated with placental weight ( $r= -0.69$ ) and fetal to birth weight ratio ( $r= 0.74$ ). These results showed that live weight of offspring born from nutrient-restricted mothers was not

compromised, but chronic nutrient deprivation resulted in larger placentas with fewer placentomes.

## **Introduction**

In the arid zones of northern Mexico the majority of goat producers program the mating period in the dry season, in order to have births with the summer green-up. This normally implies a severe deficit of nutrients during the reproductive process (Mellado *et al.*, 1991), which usually results in a high rate of fetal losses (Mellado *et al.*, 2001). The placenta is the first organ to form during mammalian embryogenesis and its functional ability is important because it is the mean by which the fetus receives metabolic substrates for growth (Bell and Ehrhardt, 2002). Maternal nutrition during pregnancy plays a pivotal role in the regulation of fetal and placental development in small ruminants, and therefore has the potential to influence both short- and longer-term health outcomes. In sheep substantial information exists on dietary maternal intake on placenta development. In this species maternal undernutrition increases placental weight (Heasman *et al.*, 1998; Osgerby *et al.*, 2004) function (Perry *et al.*, 1999) and morphology (Steyn *et al.*, 2001). Few studies have addressed the effect of nutritional deprivation in pregnant goats on placenta traits. The aim of this study was to investigate whether placenta traits are altered by the rearing conditions of goats.

## Material and Methods

The study area is located in northeast Mexico (101° 20' W, 25° 30' N). Mean annual rainfall (322 mm) is erratically distributed throughout the year, although summer and autumn rainfall is higher and more reliable. Average maximum daily temperatures range from 28°C in January to 37.2°C in July.

Dominant grasses were *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. and *Aristida arizonica* Vasey). Herbaceous vegetation was dominated by *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) D. Don., *Tiquilia canescens* and *Solanum elaeagnifolium* Cav. The most commonly encountered shrub species were *Acacia greggii*, *Acacia farnesiana*, and *Dalea bicolor*.

The experiment was carried out during the parturition period (July, 2004) in two groups of goats. One group of 31 mixed-breed (meat type) goats with an average BW of  $41.5 \pm 6$  kg (first to sixth parturition) were housed permanently in a open shaded yard. Does were fed alfalfa hay ad libitum and 0 to 500 kg/head/day concentrate (12% CP) according to physiological stage. Water and salt licks were freely available. Does were not milked and were subjected to a sanitary program and veterinary assistance was provided when needed.

Forty mixed-breed goats in the other group grazed on open range year round driven by a herdsman for 8 h per day (from 1000 to 1800 h). Animals were penned at night without access to feed and water. No food supplements and salt mineral mix were provided to the goats throughout the year, and animals had access to water only once a day. Goats were not vaccinated against endemic diseases and were not treated against internal and external parasites.

Goats were milked during 6 months (average of 49 liters/lactation). Average BW at parturition was  $38.7 \pm 4.9$  kg.

Kid birth weight was registered immediately after parturition, before colostrums was ingested. Body weight (BW) and body condition score (BCS; 5-point scale; Santucci and Maestrini, 1985) of does were recorded at kidding.

The complete placenta was collected immediately after kidding. Placentas were weighed and the placentomes were counted and measured (length and width) with calipers, and feto-maternal contact area was determined. Blood samples were collected from all does the day of parturition by jugular venepuncture. All samples were analyzed for glucose, urea, cholesterol, total proteins, Ca, P, Cu and Zn. Serum metabolites were determined following protocols supplied by the kits manufacturers. Except for P, serum minerals were determined by atomic absorption spectrophotometry. Phosphorus was determined by the method of Fiske and Subbarow (1925).

Mean blood parameters and placental traits were compared between the study groups by Student's t-test.

## **Results and Discussion**

BCS, BW and changes in blood chemistry indicative of nutrition status are presented in Table 1. Decreased body mass of grazing goats was associated with some biochemical responses to food deprivation, such as reduced levels of serum glucose, blood urea nitrogen, cholesterol and total proteins ( $P < 0.05$ ) compared to pen-fed goats. Phosphorus exhibited a similar trend. No significant



difference was observed between the grazing and pen-fed does in serum levels of Ca, Mg and Cu, but serum Zn was two times higher ( $P < 0.01$ ) in does on rangeland than that in pen-fed does. The significant decrease in cholesterol and the marked increment in serum creatinine in the grazing goats as compared to pen-fed goats indicated that increased energy needed for fast fetal growth was met by the mobilisation of reserve fats and proteins.

Maternal nutrient restriction (grazing goats) had no effect on kid birth weight but was associated with increased placental weight and decreased number of placentomes (Table 2). These results are interpreted as a direct stimulation of placental growth induced by a chronic feed restriction. Similar observations have been made by McCrabb *et al.* (1991, 1992) and Heasman *et al.* (1998), who documented that maternal malnutrition during early to mid pregnancy increased placental size in ewes without affecting later fetal growth. Thus, the present study reinforces earlier observations which show that the fetus is adapted to respond to quite severe maternal nutrition deprivation (up to 50% of their recommended energy requirements; Heasman *et al.*, 1998), with little effect on fetal body mass.

Fetal and placental responses to maternal nutrition restriction are dependent on both the magnitude and timing of undernutrition. In the present study maternal malnutrition prevailed throughout pregnancy, which led to a 56% increase in placental mass at parturition. Even with a moderate nutrient restriction in adolescent ewes during the first trimester of gestation, increments of 77% in placental weight have been documented (Wallace *et al.*, 1999).

In the present study the reduction of placentome number recorded at term in does under range conditions was 27%. In other studies placentome number tended to be lower in ewes with moderate body condition score than ewes with high body energy reserves (Osgerby *et al.*, 2003), or were reduced (18 to 24%) in overfed ewes (Wallace *et al.* 1996,1999). Maternal dietary intake in ewes not only alters number of cotyledons but also produces changes in cotyledonary weight (Kalache *et al.*, 2001) and shape (Osgerby *et al.*, 2004), as well as placental morphology (Steyn *et al.*, 2001). In the present study placentome number was not correlated with birth weight, which suggests that reduction of one third of placentomes in feed-restricted does was compensated by placental growth, and possibly by enhanced caruncular vascularity, as it has been observed <sup>in</sup> conceptuses from nutrient-restricted ewes (Vonnahme *et al.*, 2003).

fetomaternal contact was lower ( $P<0.01$ ) in grazing goats than pen-fed goats (Table 2). kid birthweight was similar between groups of does, which suggests that reduction of fetomaternal contact in feed-restricted does was also compensated by placental growth.

BCS was highly related to placental mass (Fig.1). Under the present conditions of feed imbalance under range conditions, variation in placenta weight apparently compensated to ensure optimisation of kid birth weight. This mechanisms has also been observed in reed deer, where loss of mass of hinds (fat and lean) did not alter conceptus/foetal weights (Asher *et al.*, 2005). BCS was also positively related with fetal to birth weight ratio ( $r= 0.74$ ).

These data indicate that nutrient restriction in the pregnant goat under range conditions did not affect fetal growth, suggesting that placental adaptation

was successful in maintaining fetal development. Thus, placental adaptations in the goat, including changes in gross morphology and size, may preserve fetal growth if maternal undernutrition is not severe.

## REFERENCES

Asher, G.W., Mulley, R.C., O'Neill, K.T., Scott, I.C. Jopson, N.B. and Littlejohn, R.P. 2005. Influence of level of nutrition during late pregnancy on reproductive productivity of red deer. I. Adult and primiparous hinds gestating red deer calves *Anim. Reprod. Sci.* 86: 261-283

Bell, A.W. and Ehrhardt, R.A. 2002. Regulation of placental nutrient transport and implications for fetal growth. *Nutr. Res. Rev.* 15: 211-230.

Fiske, C.H. and Subbarow, Y. 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.* 66: 371-375.

Heasman, L. Clarke, L., Firth, K., Stephenson, T. and Symonds, M.E. 1998. Influence of restricted maternal nutrition in early to mid gestation on placental and fetal development at term in sheep. *Pediatric Res.* 44: 546-551.

Kalache, K.D., Ojutiku, D, Nishina, H., Green, L.R. and Hanson, M.A. 2001. Mild maternal undernutrition in the first half of ovine pregnancy influences

placental morphology but not fetal Doppler flow velocity waveforms and fetal heart size. *J. Perinat. Med.* 29: 286-92.

McCrabb, G.J., Egan, A.R. and Hosking, B.J. 1991. Maternal undernutrition during mid-pregnancy in sheep. Placental size and its relationship to calcium transfer during late pregnancy. *Br. J. Nutr.* 65: 157-68.

McCrabb, G.J., Egan, A.R. and Hosking B.J. 1992. Maternal undernutrition during mid-pregnancy in sheep: variable effects on placental growth. *J. Agr. Sci. (Cambr.)* 118: 127-132.

Mellado, M., González, H. and García, J.E. 2001. Body traits, parity and number of fetuses as risk factors for abortion in range goats. *Agrociencia* 35: 124-128.

Osgerby, J.C., Gadd, T.S. and Wathes, D.C. 2003. The effects of maternal nutrition and body condition on placental and foetal growth in the ewe. *Placenta* 24: 236-247.

Osgerby, J.C., Wathes, D.C., Howard, D. and Gadd, T.S. 2004. The effect of maternal undernutrition on the placental growth trajectory and the uterine insulin-like growth factor axis in the pregnant ewe. *J. Endocrinol.* 182: 89-103.

- Perry, V.E.A., Norman, S.T., Owen, J.A., Daniel, R.C.W., Phillips, N. 1999. Low dietary protein during early pregnancy alters bovine placental development. *Anim. Reprod. Sci.* 55: 13-21.
- Santucci, P.M. and Maestrini, O. 1985. Body condition of dairy goats in extensive systems of production: method of estimation. *Ann. Zootech.* 34: 473-474.
- Steyn, C., Hawkins, P., Saito, T., Noakes, D.E., John, C.P., Kingdom, J.C.P and Hanson, M.A. 2001. Undernutrition during the first half of gestation increases the predominance of fetal tissue in late-gestation ovine placentomes. *European J. Obst. Gynecol. Reprod. Biol.* 98: 165-170.
- Vonnahme, K.A., Hess, B.W., Hansen, T.R., McCormick, R.J., Rule, D.C., Moss, G.E., Murdoch, W.J., Nijland, M.J., Skinner, D.C., Nathanielsz, P.W. and Ford, S.P. 2003. Maternal undernutrition from early- to mid-gestation leads to growth retardation, cardiac ventricular hypertrophy, and increased liver weight in the fetal sheep. *Biol. Reprod.* 69: 133-140.
- Wallace, J.M., Aitken, R.P. and Cheyne, M.A. 1996. Nutrient partitioning and fetal growth in rapidly growing adolescent ewes. *J. Reprod. Fert.* 107: 183-190.

Wallace, J.M., Bourke, D.A., R.P. Aitken, P. and Cruickshank, M.A. 1999.  
Switching maternal dietary intake at the end of the first trimester has  
profound effects on placental development and fetal growth in adolescent  
ewes carrying singleton fetuses. *Biol. Reprod.* 61: 101-110.

Table1. Mean  $\pm$  S.E. of blood parameters measured in goats kept in intensive or extensive conditions in a desert rangeland.

Parameters	Pen (n=31)	Rangeland (n=40)
Glucose (mg/dl)	59 $\pm$ 16	50 $\pm$ 14 *
Urea (mg/dl)	10.0 $\pm$ 2.3	8.8 $\pm$ 1.4 *
Creatinine (mg/dl)	2.0 $\pm$ 1.1	4.2 $\pm$ 1.5 *
Cholesterol (mg/dl)	109.0 $\pm$ 21.6	95.4 $\pm$ 21.4 *
Total proteins (mg/dl)	8.0 $\pm$ 0.7	7.3 $\pm$ 1.1 *
Phosphorus (mg/dl)	6.3 $\pm$ 0.9	5.0 $\pm$ 1.2 *
Calcium (mg/dl)	10.2 $\pm$ 1.2	10.4 $\pm$ 1.0
Magnesium (mg/dl)	1.8 $\pm$ 0.2	1.8 $\pm$ 0.3
Copper (mg/dl)	0.7 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.4
Zinc (mg/dl)	0.21 $\pm$ 0.12	0.45 $\pm$ 0.11 *

\*P<0.01

Table 2. Mean  $\pm$  S.E. of placental parameters measured in goats kept in intensive or extensive conditions in a desert rangeland.

Parameters	Pen (n=31)	Rangeland (n=40)
Placental weight (g)	261 $\pm$ 0.06	408 $\pm$ 0.06 *
Number of placentomes	68 $\pm$ 19	50 $\pm$ 11 *
Feto-maternal contact area (cm <sup>2</sup> )	359 $\pm$ 112	264 $\pm$ 72 *
Kid weight/placental weight	9.5 $\pm$ 1.8	5.9 $\pm$ 1.1 *
Kid birth weight	2.5 $\pm$ 0.6	2.4 $\pm$ 0.4

\*P<0.01

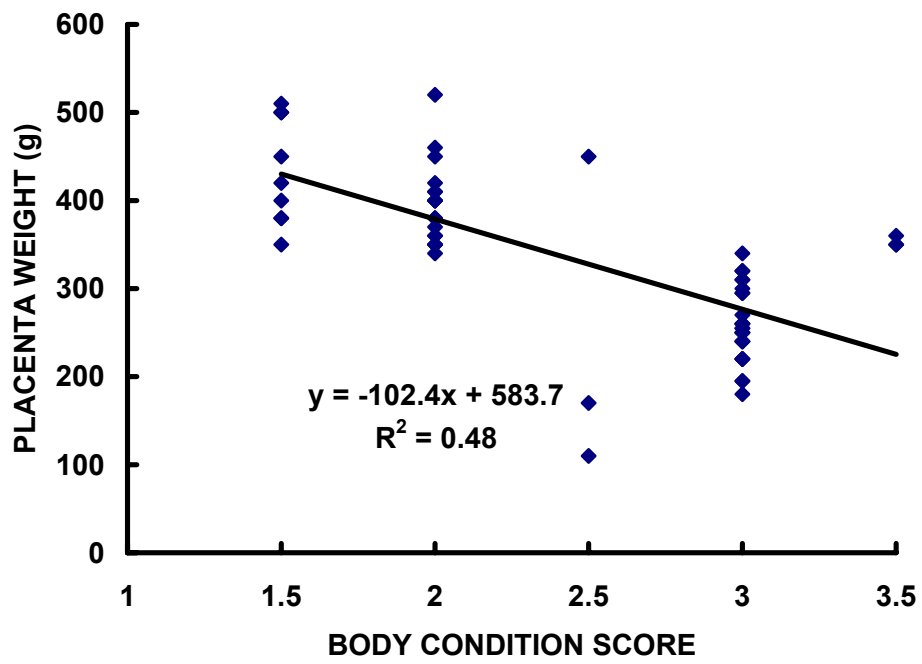


Fig. 1. Relationship between placental weight and BCS of does,



## Relation among blood profiles and goat diets on rangeland

M. Mellado, L. Olivares, A. Rodríguez, J. Mellado

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

(Enviado para su publicación en Journal of Applied Animal Research)

### Abstract

In this study the hypotheses that botanical composition of goat diets are related to metabolites and minerals levels in blood serum was tested. Diet composition (microhistological analysis of fecal samples) was investigated among adult mixed-breeds goats grazing on rangeland during the dry (n=20) and wet (n=20) period. In the dry period levels of serum creatinine decreased with increasing proportions of *Acacia farnesiana* ( $r = -0.41$ ;  $P < 0.05$ ) in goat diets. Serum levels of urea increased with the consumption of *Parthenium incanum* ( $r = 0.35$ ;  $P < 0.05$ ), while goats consuming high levels of *Larrea tridentata* had decreased serum cholesterol level ( $r = -0.53$ ;  $P < 0.05$ ). Serum phosphorus showed a positive correlation with *Atriplex canescens* but a negative association with *Buddleja scordioides*. In the rainy season ascending levels of *Croton dioicus* in the diet were related to higher serum urea ( $r = 0.53$ ;  $P < 0.05$ ), Cu ( $r = 0.47$ ;  $P < 0.05$ ) and Mg ( $r = 0.55$ ;  $P < 0.05$ ). Higher levels of

*Buddleja scordioides* in the goat diets depressed fecal P ( $r = -0.62$ ;  $P < 0.01$ ). Increased consumption of *Buchloe dactyloides* was positively related to serum urea and creatinine. These results suggest that both under nutritional stress or abundance of forage in this landscape, some serum metabolites were sensitive to increasing amounts of high-quality forages and plants with chemical anti-herbivory features in the goat diets.

**Keywords:** Botanical composition; Serum metabolites, Serum minerals, Fecal phosphorus

## **1. Introduction**

In extensive farming systems in the arid zones, goats experience nutritional imbalances in certain periods of the year. In such conditions metabolic profiles give an immediate indication of nutritional status (Pambugollah et al., 2000). By establishing the association among levels of certain forages in the goat diets and blood metabolites, it would be possible to detect metabolic imbalances through analysis of fecal material, before the reproductive and productive capacity of the goat are negatively affected. A key aspect of nutritional ecology is to understand the interactive effects of plants and herbivores, and the information of the present study would contribute to a better understanding of what forages in a resource-limited environment may be of potential concern relative to nutritional status of goats. The objective of this

study was to test the hypotheses that botanical composition of the goat diets are related to metabolites and minerals levels in blood serum, because divergent diets between individuals under range conditions affect the nutrition and health of ruminants (Francis et al., 2002; Min et al., 2003).

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Study site description**

The study was conducted on natural rangelands in the Chihuahuan desert biome of northeast Mexico (101° 20' W, 25° 30' N). Precipitation averaged 32.1 cm from 1990-2002, with 75% falling from June to October. Average maximum daily temperatures range from 28°C in January to 37.2°C in July. Average minimum daily temperatures range from -0.7°C in January to 12.3°C in July. The most commonly encountered shrub species were *Larrea tridentata* (DC.) Cov., *Agave lechuguilla* Torr., and *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Primary grasses included *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. and *Aristida arizonica* Vasey. The most commonly encountered forb species were *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) D. Don and *Croton dioicus* Cav. Browse species (70% of the total ground cover) provided the major portion of forage for goats over the two periods of the trial. On the other hand, grasses comprised less than 10% of the total vegetation cover.

## 2.2. Animals and management

Forty pluriparous mixed-breed does, typical of the farming systems of the arid zones of northern Mexico, were used in this study. Does had a mean live weight of 38.1 kg (SD= 4.3). In the dry season (February), 20 non-pregnant and non-lactating does were used, and during the rainy season (July), 20 lactating does were used. Goats grazed on open range year round driven by a herdsman for 8 h per day (from 1000 to 1800 h).

## 2.3. Diet and blood analysis

For assessment of the diet selected, feces samples (approximately 10 pellets per animal) were collected from the rectum of goats during the dry and rainy season. During the sampling period 5 samples were collected from each goat on 5 successive days. The samples were dried at 50°C in an oven for 72 hours. Feces were then ground in a Willey mill with a 1-mm mesh screen. The 5 samples were bulked, thoroughly mixed and a subsample taken from the mixture. Botanical composition of goat diets was determined using the microhistological technique described by Sparks and Malechek (1968). Five slides from each sample were analyzed with a compound, phase-contrast microscope until 100 fragments were identified.

Blood samples (5 ml) were also collected from all does from the jugular vein the last day of fecal collection, in non-heparinized tubes and centrifuged at room temperature at 3000 x g for 15 minutes. Serum samples were stored at –

20°C until analysis. Concentrations of cholesterol, glucose, creatinine, urea and total proteins were determined with a Coleman Junior II spectrophotometer following protocols supplied by the kits manufacturers. Calcium, magnesium, copper and zinc were determined by atomic absorption spectrophotometry. Phosphorus was determined by the method of Fiske and Subbarow (1925). In The rainy season fecal P was also determined.

#### **2.4. Statistical analysis**

The relationships between main components of the diet and serum metabolites and mineral levels were assessed by simple correlation and regression analyses (SAS, 1990).

### **3. Results**

During the dry season, regression analyses showed significant ( $P < 0.05$ ) negative association between levels of *Acacia farnesiana* in goat diets and serum creatinine (Figure. 1). Significant negative associations were also found between proportions of *Agave striata*, *Buddleja scordioides*, *Larrea tridentata* and *Parthenium incanum* in the goats diet and serum proteins, phosphorus, cholesterol and creatinine, respectively. Higher levels of *Agave lechuguilla* were significantly associated with higher levels of serum copper, while higher consumption of *Atriplex canescens* increased serum phosphorus. Serum urea increased as the percentage of *Parthenium incanum* increased in the goat diets.

None of the plants in the goat diets was significantly associated with serum glucose.

The relationships between the levels of important forage species in feces and serum metabolites and nutrients in feces during the rainy season are presented in Fig. 2. At the beginning of lactation the highest negative correlation was found between the proportion of *Buddleja scordioides* in feces and fecal P ( $P < 0.01$ ). Also, significant correlation coefficients were found between the levels of *Croton dioicus* in feces and serum urea, serum Cu and serum Mg. Serum creatinine and urea were also positively related to increased levels of *Buchloe dacyloides* in the goat diets.

#### **4. Discussion**

In the present study a significant positive correlation was observed between levels of *Atriplex canescens* in goat diets and serum phosphorus concentrations. Similar responses of ewes to diets containing high levels of this halophytic plant have been observed under confinement conditions (Alazzeah and Abu-Zanat, 2004). Although scarce in this plant community, this shrub provides valuable fodder to goats during long dry seasons and droughts in this plant community. This association is not clear, because *Atriplex canescens* accumulates sodium and potassium, but not phosphorous (Garza and Fulbright, 1988). In fact, data of ElShatnawi and Turuk (2002) show that saltbush (*Atriplex halimus*) phosphorus content did not meet nutritional requirements of ewes. It could be that the high protein levels (Garza and

Fulbright, 1988) and digestibility (Nuñez-Hernandez et al., 1989) of this forage in the dry season increased food intake, and consequently goats ingested higher amounts of phosphorus from other forages.

Concentrations of *Parthenium incanum* in goat diets, were related positively to serum urea. It is presumed that greater serum urea concentrations were related to higher protein intake, because serum creatinine levels were inversely related to the proportion of *Parthenium incanum* in the goat diets. The high quality of this plant is reflected in the high consumption of this shrub by goats (the most important forage consumed by goats throughout the year in this plant community; Mellado et al., 1991, 2003, 2004b).

Serum levels of creatinine (creatinine increased in underfed animals, Ditchkoff and Servello, 2002) were negatively associated with ingestion of *Acacia farnesiana*, which indicate that during the dry season, catabolism of proteins did not meet a significant proportion of maintenance energy demands in those goats with high consumption of this high-quality forage. The reduction of serum creatinine levels in goats with high consumption of this leguminous tree is explained by the high nutrient content and palatability of this forage, and its low levels of tannins (Ramirez et al., 1999).

Goats consuming diets with high proportions of *Larrea tridentata* presented lower serum cholesterol levels than those goats with reduced utilization of this resinous shrub. It is presumed that some of the allelochemicals of this plant (phenols, condensed tannins and nordihydroguaiaretic acid; Hyder et al., 2002) had a role in inducing low levels of this metabolite, because some

phytotoxins such as saponins and steroid glycosides have hypocholesterolemic properties (Oakenfull and Sidhu, 1989, Marquet et al., 1997).

Higher proportions *Agave lechuguilla* in the does diet was also associated with increased serum copper levels. The capability of Agavaceae to accumulate high amounts copper ions in their biomass has been documented (Kartosentono et al., 2002). Thus, *Agave lechuguilla* utilization apparently is effective at increasing Cu status in goats.

One of the most interesting results regards the negative association between *Buddleja scordioides* and serum phosphorus. This highly preferred forage by goats in this plant community (Mellado et al., 2004a) possesses a broad array of allelochemicals (Triterpenoid saponins, and several glycosides; Avila and Romo de Vivar, 2002) which possibly causes an inefficient use of P by goats. Phosphorous in blood is under homeostatic control, thus, this element is maintained within narrow limits, but apparently the ingestion of *Buddleja scordioides* operated against this equilibrium. During the rainy season the negative correlation between levels of *Buddleja scordioides* in feces and fecal P was remarkably high, which confirms the antagonistic effect of this shrub on P utilization by goats.

Our results showed that serum urea, Cu and Mg increased with increasing levels of *Croton dioicus* in the goat diets. Blood urea levels are positively related to crude protein ingestion when diets containing sufficient energy are fed (Rowlands, 1980). The concentration of nutrients in most forbs of the Chihuahuan desert vegetation exceeds the nutritional requirements of ungulates (Nelson et al. 1970, Soltero-Gardea et al., 1994), thus high



consumption of *Croton dioicus* (up to 15% of diets) apparently provided high levels of nitrogen and microelements.

High ingestion of *Buchloe dactyloides* was related to increased levels of serum creatinine and urea. High concentration of both serum urea and creatinine would indicate liver and kidney alterations from phytotoxins ingestion (Wisloff et al., 2002). However, toxic compounds have not been documented in this grass. High serum urea concentrations can also be induced by low energy diets (Oldham, 1984; Sinclair et al., 1994). In the present study goats were initiating their lactation, thus, the high serum urea levels induced by increased ingestion *Buchloe dactyloides* could be the result of a nutritional deficit, and the high urea serum concentrations possible arose from amino acid from body stores catabolized in order to spare glucose oxidation.

## **Conclusions**

Our data suggest that in the Chihuahuan desert range, higher proportions of *Parthenium incanum* and *Croton dioicus* in the goat diets during the dry period, two staple forages for goats in this ecosystem, were reflected in better biomarkers of nutritional status of goats. This study also indicates that the increased consumption *Buddleja scordioides* antagonized with levels of serum and fecal P. Additionally, *Larrea tridentata* showed cholesterol-lowering properties.

## Literature cited

- Alazzeah, A.Y., Abu-Zanat, M.M., 2004. Impact of feeding saltbush (*Atriplex* sp.) on some mineral concentrations in the blood serum of lactating Awassi ewes. *Small Ruminant Research* 54, 81-88.
- Avila, J.G., Romo de Vivar, A., 2002. Triterpenoid saponins and other glycosides from *Buddleja scordioides*. *Biochemical Systematics and Ecology* 30, 1003-1005.
- Ditchkoff, S.S., Servello, F.A., 2002. Patterns in winter nutritional status of white-tailed deer *Odocoileus virginianus* populations in Maine, USA. *Wildlife Biology* 8, 131-143.
- ElShatnawi, M.K.J., Turuk, M., 2002. Dry matter accumulation and chemical content of saltbush (*Atriplex halimus*) grown in Mediterranean desert shrublands. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45, 139-144.
- Fiske, C.H., Subbarow, Y., 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry* 66, 371-375.

- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition* 88, 587-605.
- Garza, A., Fulbright, T.E., 1988. Comparative chemical composition of armed saltbush and fourwing saltbush. *Journal of Range Management* 41, 401-403.
- Hyder, P.W., Fredrickson, E.L., Estell, R.E., Tellez, M., Gibbens, R.P., 2002. Distribution and concentration of total phenolics, condensed tannins, and nordihydroguaiaretic acid (NDGA) in creosotebush (*Larrea tridentata*). *Biochemical Systematics and Ecology* 30, 905-912.
- Kartosentono, S., Indrayanto, G., Zaini, N.C., 2002. The uptake of copper ions by cell suspension cultures of *Agave amaniensis*, and its effect on the growth, amino acids and hecogenin content. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 68, 287-292.
- Marquet, F., ElFadil, F.A., Boubia, B., Guffroy, C., Pansu, D., DescroixVagne, M., 1997. Selection of cholesterol absorption inhibitors devoid of secondary intestinal effects. *Reproduction Nutrition and Development* 37, 691-707.
- Mellado, M., Foote, R.H., Rodríguez, A., Zarate, P., 1991. Botanical composition and nutrient content of diet selected by goat grazing on desert grassland in northern Mexico. *Small Ruminant Research* 6, 141-150.

- Mellado, M., Olvera, A., Dueñez, J., Rodríguez, A., 2004a. Effect of continuous or rotational grazing on goat diets in a desert rangeland. *Journal of Applied Animal Research* 26, 93-100.
- Mellado, M., Rodríguez, A., Olvera, A., López, R., 2004b. Age and body condition score effects on diets of grazing goats. *Journal of Range Management* 57, 517-523.
- Mellado, M., Rodríguez, A., Villarreal, J.A., Olvera, A., 2005. The effect of pregnancy and lactation on diet composition and dietary preference of goats in a desert rangeland. *Small Ruminant Research* 58, 79-85.
- Mellado, M., Valdez, R., Lara, L.M., Lopez, R., 2003. Stocking rate effects on goats: A research observation. *Journal of Range Management* 56, 167-173.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effects of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106, 3-19.
- Nelson, A.B., Herbel, C.B., Jackson, H.M., 1970. Chemical composition of forage species selected by cattle on an arid New Mexico range. *New Mexico Agricultural Experimental Bulletin* 561.

- Nuñez-Hernandez, G., Holechek, J.L., Wallace, J.D., Galyean, M.L., Tembo, A., Valdez, R., Cardenas, M., 1989. Influence of native shrubs on nutritional status of goats: nitrogen retention. *Journal of Range Management* 42, 228-232.
- Oakenfull, D., Sidhu, G.S., 1989. Saponins. pp. 97-142. In: P.R. Cheeke (ed.) *Toxicants of plant origin. Vol II. Glycosides.* CRC Press Inc. Boca Raton, Fla.
- Oldham, J.D., 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 67, 1090-1114.
- 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. *South African Journal of Animal Science* 30, 115-120.
- Ramirez, R.G., Gonzalez-Rodriguez, H., Gomez-Meza, M.V., Perez-Rodriguez, M.A., 1999. Feed value of foliage from *Acacia rigidula*, *Acacia berlandieri* and *Acacia farnesiana*. *Journal of Applied Animal Research* 16, 23-32.
- Rowlands, G.J. 1980. A review of variations in the concentrations of metabolites in the blood of beef and dairy cattle associated with physiology,

nutrition and disease, with particular reference to the interpretation of metabolic profiles. *Wildlife Review of Nutrition and Dietetics* 35, 172-235.

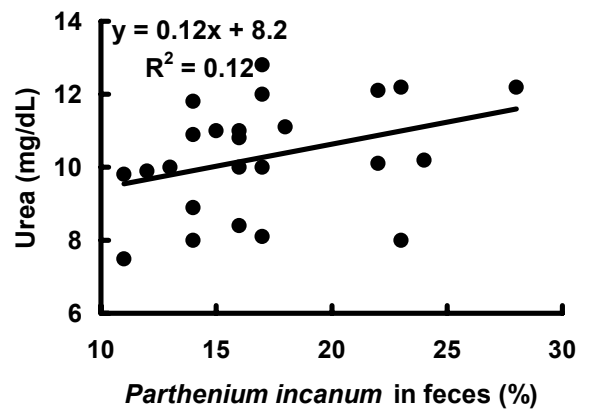
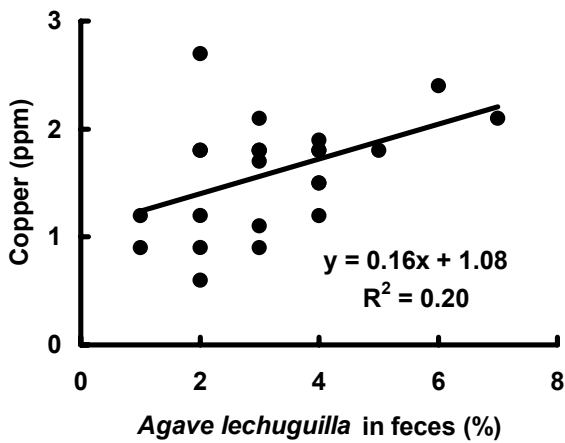
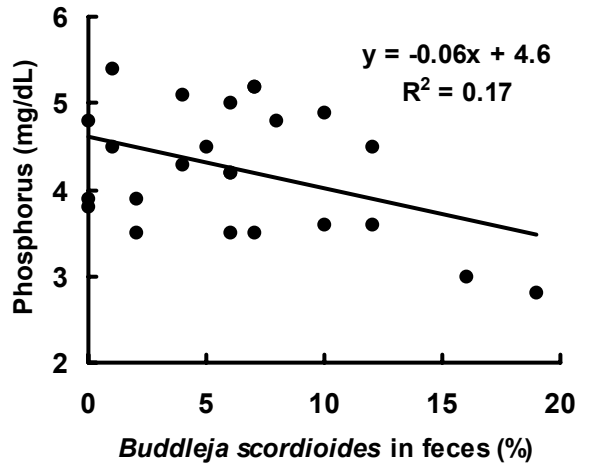
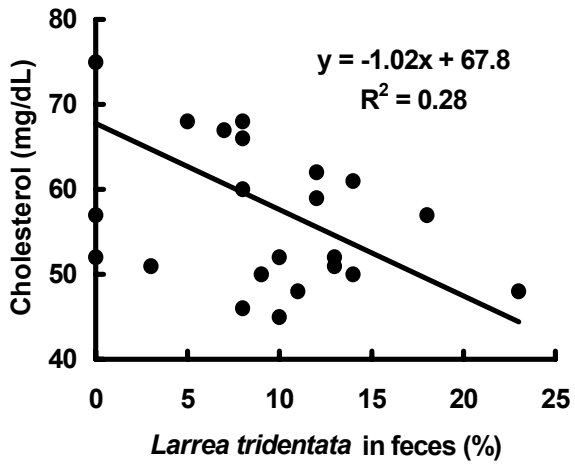
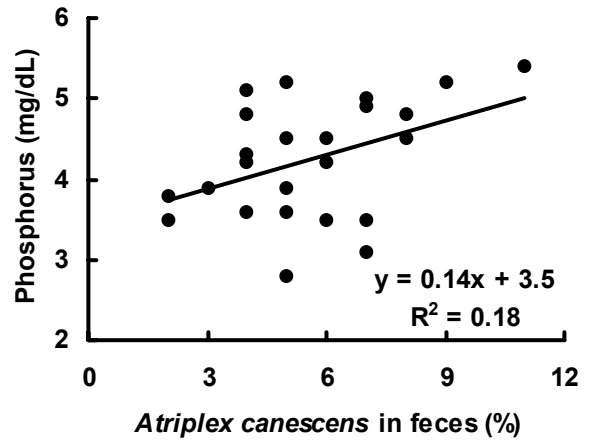
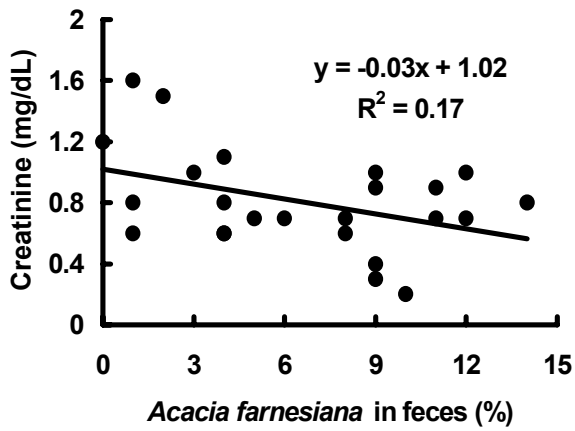
SAS. 1990. SAS procedure users guide version 6. Third edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sinclair, K.D., Broadbent, P.J., Hutchinson, J.S.M., 1994. The effect of pre-and post-partum energy and protein supply on the blood metabolites and reproductive performance of single- and twin-suckling beef cows. *Animal Production* 59, 391-400.

Soltero-Gardea, S., Ortega, I.M., Bryant, F.C., 1994. Nutrient content of important deer forage plants in the Texas coastal Bend. *Texas Journal of Science* 46, 133-142.

Sparks, D.L., Malechek, J.C., 1968. Estimating percentage dry weight in diets using a microscopic technique. *Journal of Range Management* 21, 264-265.

Wisloff, H., A.L. Wilkins, E. Scheie, and A. Flaoyen. 2002. Accumulation of sapogenin conjugates and histological changes in the liver and kidneys of lambs suffering from alveld, a hepatogenous photosensitization disease of sheep grazing *Natrthecium ossifragum*. *Veterinary Research Communications* 26, 381-396.



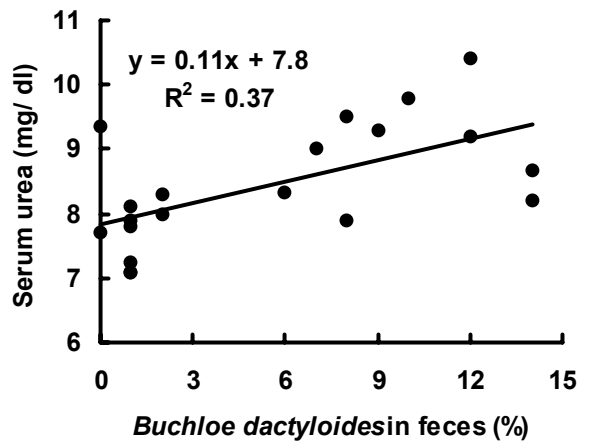
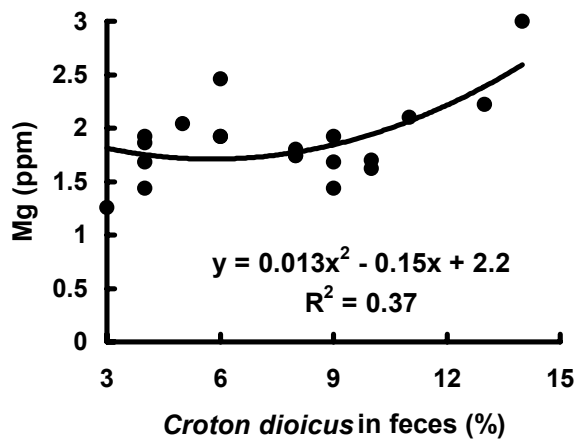
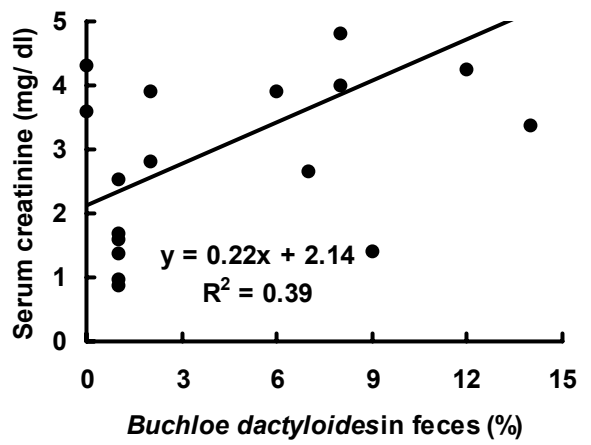
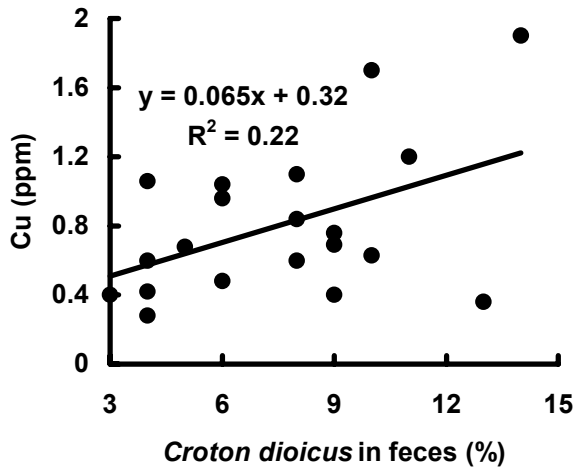
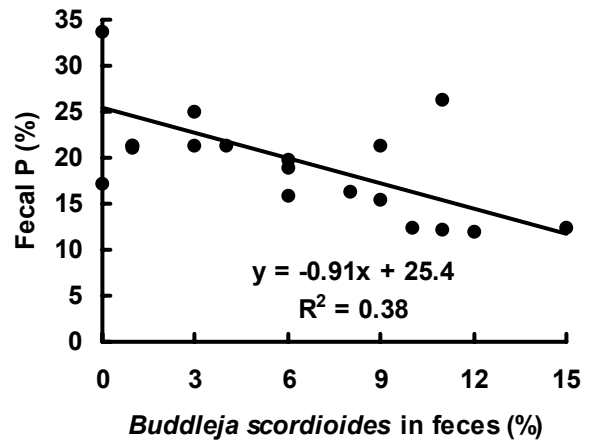
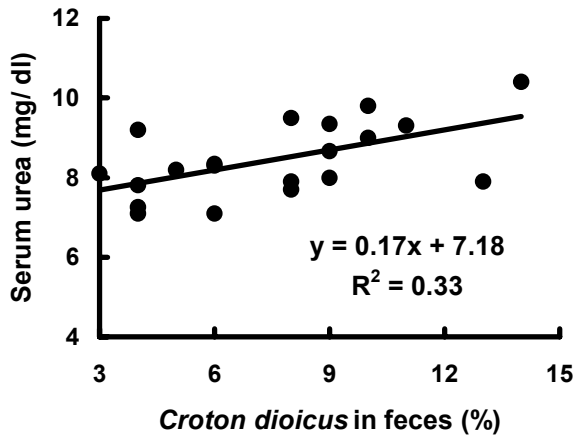




Figure 1. Association between main components of mixed-breed goat diets during the dry season and some serum metabolites and minerals.

Figure 2. Association between main components of mixed-breed goat diets during the rainy season and some serum metabolites, minerals and fecal P.

# Relationship between oral morphology and feed selection of goats on rangeland

M. Mellado, L. Olivares, H. Díaz, R. López, J.A. Villarreal

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

(Enviado para su publicación a Small Ruminant Research)

## Abstract

The morphometrics of mandible and teeth of mixed-breed goats on rangeland were analyzed to investigate the association between the masticatory apparatus and diet type. Canonical relationship between sets of mandible measurements (seven) and main plants ingested (17) indicated that, overall, oral characteristics tended to modify ingestive behavior (canonical correlation= 0.81). In general, incisor length had a greater effect (absolute value of standardized coefficient: AVSC= 0.56) on ingestion of *Nolina cespitifera* than did other mandible variables. Incisor width influenced the ingestion of *Parthenium incanum* (AVSC= 0.47) and *Flourensia cernua* (AVSC= 0.43). Distance between the bases of the last most lateral incisors (I<sub>4</sub> or corners) was associated with the ingestion of *Atriplex canescens* (AVSC= 0.53) and *Flourensia cernua* (AVSC= 0.69). Incisor breadth was important for the consumption of *Larrea tridentata* (AVSC= 0.69) and *Cowania plicata* (AVSC= 0.50). The ingestion of *Agave lechuguilla* (AVSC=

0.49) and *Sphaeralcea angustifolia* (AVSC= 0.43) were influenced principally by muzzle width. Distance between first molars was the variable most closely associated to the ingestion of *Setaria leucopila* (AVSC= 0.63) and *Buchloe dacyloides* (AVSC= 0.63). Mandible length had a greater effect on the ingestion of *Flourensia cernua* and *Atriplex canescens* than did other oral traits. Variation in the masticatory apparatus did not affect percentage of grasses, forbs and shrubs of goat diets. Fecal nitrogen, fecal phosphorous and number of species consumed were not related to oral traits. These results suggest that different dimensions in the masticatory apparatus of grazing goats leads to divergent selection of range plants, without altering the quality of their diet.

Key words Diet, grazing, mandible, jaw, incisor breath, molar teeth

## **1. Introduction**

Goats in the large communal grazing systems in the arid zones of Mexico are heterozygous and consequently dimorphic. This dimorphism arises from the indiscriminate crossbreeding of native (small animals of Spanish origin) and European dairy goats practiced in goat production systems in these xeric ecosystems. Growth patterns and body structures such as oral morphology are expected to differ among does with marked dimorphism, and these differences in trophic structures are likely to be manifested in the acquisition of forage (Spencer, 1995; Pérez-Barbería and Gordon, 1999; Brashares et al., 2000). Differences in the morphology of the mandible and teeth in goats may result in

differences in foraging behavior. Data of Mellado et al. (2005) indicate that goats with worn teeth under range conditions adopt a diet which is most suited to the state of their dentition. Also, the intake and selection of feed by ruminants have been closely linked to muzzle width (Bell, 1999), width of the first incisor (Janis and Ehrhardt, 1988) incisor breadth (Gordon et al., 1996) and incisor-arcade shape (Gordon and Illius, 1988).

Little is known about how feeding morphology relates to diet and/or foraging mode in grazing goats. This study tested the hypothesis that jaw architecture and teeth characteristics are related to diet preference of goats on rangeland.

## **2. Materials and methods**

### *2.1 Study area*

The study was conducted in a rural community of northeast Mexico (101° 20' W, 25° 30' N) at an elevation of 1270-1330 m. Topography of the grazing area is relatively flat. Historical mean annual rainfall is 322 mm. Mean maximum ambient temperatures range from 28°C in January to 37.2°C in July. Average minimum daily temperatures range from -0.7°C in January to 12.3°C in July. The most commonly encountered shrub species were *Acacia greggii* Gray, *Acacia farnesiana* (L.) Willd., and *Dalea bicolor* H. & B. Dominant grasses were *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. and *Aristida arizonica* Vasey. The most commonly encountered forb species were *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) D.

Don. and *Solanum elaeagnifolium* Cav. The rangeland has been heavily grazed by goats, sheep, cattle and equines for several decades. It is estimated that forage utilization is generally greater than 80%.

## 2.2 Goat management and sampling procedure

Fifty-seven pluriparous non-pregnant and non-lactating mixed-breed does were selected from a large commercial goat herd under extensive conditions. Average live weight of does was  $39.8 \pm 5.1$  kg. Goats grazed on open range year round driven by a herdsman for 8 h per day (from 1000 to 1800 h). Animals were penned near the household at night without access to feed and water. No food supplements and salt mineral mix were provided to the goats throughout the year. During winter, approximately 10 fecal pellets from each of 57 goats were collected from the rectum, during 5 consecutive days. Each sampling day, the fecal samples were separated into 2 sub-samples; one was used for botanical and one for chemical analysis.

The morphological oral traits used in this study were: incisor length (average of the 2 first incisors), incisors width (average of 2 first incisors), distance between the base of the last most lateral incisors ( $I_4$  or corners), incisor breath, measured as the distance between the outermost points of the incisiform canines of each ramus, muzzle width, distance between the exterior faces of first molars, and mandible length (Fig. 1). This last measurement was made externally, on the skin, considering the distance between the most oral-medial point at the socket of the first incisor and the most posterior point at *processus*

*angularis*. Mandibular and teeth measurement were taken with a flexible tape to the nearest 0.1 mm, with goats firmly restrained.

### *2.3 Laboratory methods*

Fecal material were dried at 60°C for 48 h and ground through a Wiley mill (1-mm screen) to ensure thorough mixing. Collections from each day made up 1 composite sample, for a total of 57 composite samples. Two tablespoons of ground samples were soaked in hot water for 10 minutes to soften cell tissues, drained and rinsed in a 200 mesh tyler standard screen. Next, pigments were removed with chlorine bleach (5 minutes soaking). Samples were then spread on microscopic slides and mounted using Hoyer solution (Baumgartner and Martin, 1939). Five slides were prepared from each composed sample and 20 microscopic fields per slide were systematically viewed using 100x magnifications. Epidermal fragments were identified to species level using fecal microhistological procedures (Sparks and Malechek, 1968). Test slides were prepared for all plants species present in the grazing area, in order to properly and consistently identify plant fragments. The Kjeldahl method was utilized to determine nitrogen content of feces (AOAC, 1984). Fecal P was determined by the method of Fiske and Subbarow (1925).

### *2.4 Data analysis*

Based upon abundance and consistency of forages in the goat diets, the following species were included in the statistical analysis: *Agave lechuguilla*, *Atriplex canescens*, *Bouteloua gracilis*, *Buddleja scordioides*, *Bouteloua curtipendula*, *Buchloe dactyloides*, *Croton dioicus*, *Cowania plicata*, *Dalea bicolor*, *Dasilirium palmeri*, *Erioneurum avenaceum*, *Flourensia cernua*, *Larrea tridentata*, *Nolina cespitifera*, *Opuntia rastrera*, *Parthenium incanum*, *Setaria leucopila* and *Sphaeralcea angustifolia*.

To examine the interrelationship among the seven oral measurements with respect to the amount of forages (17 main species) consumed by goats, canonical correlation analysis was performed using SAS (PROC CANCORR; SAS, 1989). Canonical discriminant analysis (PROC CANDISC; SAS, 1989) was performed to relate oral morphological characters variation to amount of grasses, forbs and shrubs in goat diets, and fecal N and P. The same analysis was performed to assess the association between traits of the masticatory apparatus and diversity of plants ingested.

### **3. Results**

During the study, goats used 53 plant species, most of which were not consistent in the diet of all animals, thus, only the 17 species most commonly found in goat feces were selected for statistical analysis. The canonical correlation between the sets of buccal measurements and plants ingested by goats accounted for only 0.40 of the total association, but the correlation (0.81;  $P= 0.07$ ) for the two set of variables was substantially larger than any simple

correlation between individual plants and individual oral traits (Table 1). Canonical discriminant analysis for the association between characteristics of the masticatory apparatus and percentages of total grasses, forbs and shrubs indicated that, despite the fact that the first canonical explained 79, 69 and 73% of the total variation among oral traits for each plant group, respectively, these associations were not significant. The same was true for the association between buccal measurements and fecal N and P.

Based upon absolute values of the standardized coefficients (Table 2), incisor length had a greater effect on ingestion of *Nolina cespitifera* and *Setaria leucopila*, than consumption of other range plants. Incisor width influenced the ingestion of *Parthenium incanum*, *Dalea bicolor* and *Flourensia cernua*. Distance between the base of the last most lateral incisors ( $I_4$  or corners) was associated with the ingestion of *Atriplex canescens* and *Flourensia cernua*. Incisor breadth, on the other hand, was important for the consumption of *Larrea tridentata* and *Cowania plicata*. Muzzle width had relevance for the ingestion of *Agave lechuguilla* and *Sphaeralcea angustifolia*. Distance between first molars was the variable most closely associated to the ingestion of *Croton dioicus*, *Setaria leucopila* and *Buchloe dactyloides*. Finally, mandible length was related to the ingestion of *Flourensia cernua* and *Atriplex canescens*. Neither Fecal N and P, nor amount of species consumed by goats were related to the dimensions of the buccal apparatus.

#### **4. Discussion**



Incisor length was related to the consumption of one of the coarsest forages in this site, *Nolina cespitifera* (this plant is used to make brooms and rustic furniture in northern Mexico). In goats, the act of forage severance entails the incisors closing against the dental pad to grip each mouthful of forage before fracture of plant tissue. The structural arrangement of parallel venation in *Nolina cespitifera*, and its coarseness lead to a little fracture sensitivity of this plant. Thus, apparently goats with larger incisors were better able to concentrate stress at the point of incisor insertion to fracture the leave tips of this forage. Increasing tensile strength of foliage tends to reduce bite size by reducing the bite area that may be cropped (Prache and Peyraud, 1997). This explains the fact that only the tips of the blade linear leaves of this plant are used by goats. Incisor length was also important for the ingestion of *Setaria leucopila*, a species also with high structural strength, which corroborates that incisor integrity in goats constitutes an efficient cropping/biting mechanism which plays a vital role to severing grasses, because goats with eroded incisors avoid this type of forages (Mellado et al., 2005).

Incisor width had the greatest effect on consumption of *Parthenium incanum*. This small shrub possesses tender and small leaves which can not be severed simultaneously within a bite, but rather in close succession. Thus, slender incisors in goats seem to be advantageous for exploiting this particular high-quality forage, which is one of the most abundant forage in the goat diets throughout the year in this plant community (Mellado et al., 1991, 2004). The distance between the base of the last most lateral incisors was an important variable related to the ingestion of *Flourenicia cernua*. This abundant shrub in

this landscape is ingested in limited amounts by goats (Mellado et al., 2006), because of its low palatability (Estell et al., 1994; King et al., 1996). It could be that distance between incisors was important in choosing specific leaves of this plant with lower than average amount of the leaf surface terpenes (Estell et al., 1998).

Incisor breath was associated most closely to the ingestion of *Larrea tridentata*, one of the most abundant plants in this zone. This evergreen shrub constitute an important forage resource for goats in winter (Mellado et al., 2003, 2004), despite its complex array of allelochemicals (Hyder et al., 2002). Again, incisor breath seems to play a role in an adaptive behavioral mechanisms that limit phytotoxins and increase nutrient ingested. Moreover, breath of the incisor arcade may affect the ability of goats to forage selectively on individual leaders of browse, or to concentrate their foraging on new regrowth, as it has been observed in moose by Molvar et al. (1993).

Muzzle width was the variable most closely associated with the consumption of *Agave lechuguilla*, an extremely fibrous plant exploited by peasants for its fiber. Goats made a moderate use of this fibrous shrub in this ecosystem (Mellado et al., 1991) due to the marginal edible material obtained from this plant, the extreme difficulty to collect it, and the reduced bite mass by the impediment of stripping motions and separating leaves, which forces goats to crop leaves individually. The thick, curved leaves of this agavaceae arise from the base of the plant, and end in a sharp spine. Thus, goats must develop skills to remove the stout, sharp terminal spine of the blades in order to pluck the less fibrous fraction (located under the blades' terminal spine) on the tip of this plant.

Narrow-muzzled goats seem to have the ability to maneuver among thorns to have access to small discrete high-energy portions of this spiny and stiff plant. In polygynous ungulate females, due to being smaller than males, have narrower muzzles which enables them to be better able to exploit micropatches of richer forages than animals with ampler muzzle (Pérez-Barbería and Gordon, 1998).

Distance between first molars was a variable closely associated with the ingestion of *Setaria leucopila* and *Buchloe dactyloides*, which suggests that goats with ampler mouth cavity are better able to ingest graminoids. A wider masticatory apparatus probably enable goats to use a higher proportion of grasses, which possess higher mechanical resistance for the process of severance than forbs and some shrubs, due to its skeleton of lignin and silica (Ramirez et al., 2004); or possibly have higher comminution effectiveness, which would enable them to effectively chew more fibrous material. Grazing species would have evolved a larger mastication surface area and higher-crowned molars in order to grind down the fibrous and more abrasive material in grasses (Fortelius, 1985; PérezBarbería and Gordon, 2001). In this landscape grasses are distributed in a more homogeneous fashion than forbs and shrubs, therefore a wider mandible is adaptative because it increases the amount of grass that can be ingested with each bite, because these forages are distributed in a single plain (Sinclair, 1983).

In the present study the ingestion of *Atrilex canescens* and *Flourensia cernua* was closely associated with mandibular length. Both shrubs possess tender and small leaves, which can not be severed simultaneously within a bite, but rather in close succession. Animals with shorter jaws can chew faster than

those with longer jaws (Pérez-Barbería and Gordon, 1998), and the physical advantage of faster chewing in animals with shorter jaws have been demonstrated (Druzinsky, 1993). Gordon and Illius (1988) have suggested that ungulates with longer “noses”, and consequently longer mandibles are more selective when foraging on browse. Thus, possibly goats with shorter jaws are better able to exploit efficiently high rewarded but small and scattered foliage of shrubs within a resource-poor environment. On the other hand, whilst mandibular length does scale with body mass, there is not compensation between mandibular length and masseter muscle mass in ruminants (Griffiths and Gordon, 2003), and goats does not fully exploit their mandibular force to sever forages (Hughes 1990; Fraser and Gordon 1997), which suggests that larger mandibles in goats are no necessarily advantageous for selecting tougher forages such as grasses.

Concentrations of nitrogen (Holechek et al., 1982; Blanchard et al., 2003) and phosphorus (Holecheck et al., 1985; Hakkila et al., 1988) in feces are related to the nutritional status of grazing ruminants. In the present study, Fecal N and P were not related to oral morphology, which suggests that goats with divergent diets somehow overcompensated by consuming forages suitable to adjust for adequate nutritional returns.

## **Conclusions**

Mandibular architecture tended to affect the degree to which the goat can be selective for plant species in a heterogeneous mosaic of plant

material. Overall, incisor length and distance between first molars had a more dominant effect on the consumption of grasses and coarse shrubs, than other mandibular variables. Incisor breadth, muzzle width and jaw length were more closely associated with the ingestion of spiny and unpalatable shrubs. Selective foraging by goats with different dimensions in their buccal apparatus did not lead to divergence in diet quality.

## **References**

AOAC., 1984. Official methods of analysis (14<sup>th</sup> ed.). Assoc. Analy. Chem. Washington, D.C.

Baumgartner, L.L., Martin, A.C., 1939. Plant histology as an aid in squirrel food habitat studies. *J. Wildl. Manage.* 3, 266-268.

Bell, R.H.V., 1999. The use of herbaceous layer by grazing ungulates in the Serengeti National Park, Tanzania. PhD thesis, Univ. of Manchester, UK.

Blanchard, P., Festa-Bianchet, M., Gaillard, J.M., Jorgenson, J.T., 2003. A test of long-term fecal nitrogen monitoring to evaluate nutritional status in bighorn sheep. *J. Wildl. Manage.* 67, 477-484.

Brashares, J.S., Garland Jr, T., Arcese, P., 2000. Phylogenetic analysis of coadaptation in behavior, diet and body size in the African antelope. *Behav. Ecol.* 11, 452-463

Druzinsky, R.E., 1993. The time allometry of mammalian chewing movements: chewing frequency scale with body-mass in mammals. *J. Theor. Biol.* 160, 427-440.

Estell, R.E., Fredrickson, E.L., Anderson, D.M., Havstad, K.M., Remmenga, M.D., 1998. Relationship of tarbush leaf surface terpene profile with livestock herbivory. *J. Chem. Ecol.* 24, 1-12.

Estell, R.E., Fredrickson, E.L., Anderson, D.M., Muller, W.F., Remmenga, M.D., 1994. Relationship of tarbush leaf surface secondary chemistry to livestock herbivory. *J. Range Manage.* 47, 424-428.

Fiske, C.H., Subbarow, Y., 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.* 66, 371-375.

Fortelius, M., 1985. Ungulate cheek teeth: developmental functional and evolutionary interrelations. *Acta Zool. Fenn.* 180, 1-76.

- Fraser, M.D., Gordon, I.J., 1997. The diet of goats, red deer and South American camelids feeding on three contrasting Scottish upland vegetation communities. *J. Appl. Ecol.* 34, 668-686.
- Gordon, I.J., Illius, A.W., 1988. Incisor arcade structure and diet selection in ruminants. *Funct. Ecol.* 2, 15-22
- Gordon, I.J., Illius, A.W., Milne, J.D., 1996. Sources of variation in the foraging efficiency of grazing ruminants. *Funct. Ecol.* 10, 219-226.
- Griffiths, W.M., Gordon, I.J., 2003. Sward structural resistance and biting effort in grazing ruminants. *Anim. Res.* 52, 145-160.
- Hakkila, J.L., Wallace, J.D., Anderson, D.M., Cardenas, M., 1988. Fecal indicators of cattle protein status on desert grassland range. *Nutr. Repr. Int.* 37, 137-147.
- Holecheck, J.L., Galyean, M.L., Wallace, J.D., Woffard, H., 1985. Evaluation of faecal indices for predicting phosphorus status of cattle. *Grass Forage Sci.* 40, 489-492.
- Hughes, T.P., 1990. Sward structure and intake of ruminants. Ph.D Thesis. Lincoln University, New Zealand.

- Hyder, P.W., Fredrickson, E.L., Estell, R.E., Tellez, M., Gibbens, R.P., 2002. Distribution and concentration of total phenolics, condensed tannins, and nordihydroguaiaretic acid (NDGA) in creosotebush (*Larrea tridentata*). *Bioch. Syst. Ecol.* 30, 905-912.
- Janis, C.M., Ehrhardt, D., 1988. Correlation of relative muzzle width and relative incisor width with dietary preference in ungulates. *Zool. J. Linn. Soc. Lond.* 92, 267-284.
- King, D.W., Fredrickson, E.L., Estell, R.E., Havstad, K.M., Wallace, J.D., Murray, L.W., 1996. Effects of *Flourensia cernua* ingestion on nitrogen balance of sheep consuming tobosa. *J. Range Manage.* 49, 331-335.
- Mellado, M., Estrada, R., Olivares, L., Pastor, F., Mellado, J., 2006. Diet selection among goats of different milk production potential on rangeland. *J. Arid Env.* (in press)
- Mellado, M., Foote, R.H., Rodríguez, A., Zarate, P., 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in northern Mexico. *Small Rumin. Res.* 6, 141-150.
- Mellado, M., Olvera, A., Dueñez, J., Rodríguez, A., 2004. Effect of continuous or rotational grazing on goat diets in a desert rangeland. *J. Appl. Anim. Res.* 26, 93-100.



- Mellado, M., Rodríguez, A., Vilarreal, J.A., Rodríguez, R., Salinas J., Lopez, R., 2005. Gender and tooth wear effects on diets of grazing goats. *Small Rumin. Res.* 57, 105-114.
- Mellado, M., Valdez, R., Lara, L.M., Lopez, R., 2003. Stocking rate effects on goats: A research observation. *J. Range Manage.* 56, 167-173.
- Molvar, E.M., Bowyer, R.T., Van Ballenberghe, V., 1993. Moose herbivory, browse quality, and nutrient cycling in an Alaskan treeline community. *Oecologia* 94, 472-479.
- PérezBarbería, F.J., Gordon, I.J., 1998. The influence of sexual dimorphism in body size and mouth morphology on diet selection and sexual segregation in cervids. *Acta Vet. Hung.* 46, 357-367.
- PérezBarbería, F.J., Gordon, I.J., 1999. The functional relationship between feeding type and jaw and cranial morphology in ungulates. *Oecologia* 118, 157-165.
- Pérez-Barbería, F.J., Gordon, I.J., 2001. Relationships between oral morphology and feeding style in the ungulata: a phylogenetically controlled evaluation. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268, 1021-1030.

- Prache, S., Peyraud, J.L., 1997. Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins. *INRA Prod. Anim.* 10, 377-390.
- 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.
- Sinclair, A.R.E., 1983. The adaptation of African ungulates and their effects on community function. In: *Tropical savannas.* (Ed. F. Bourliere). Elsevier Scientific Publ. New York. 567 p.
- Sparks, D.R., Malechek, J.C., 1968. Estimating percentage dry weight in diets using a microscope technique. *J. Range. Manage.* 21, 264-265.
- Spencer, L.M., 1995. Morphological correlates of dietary resources partitioning in the African bovidae. *J. Mammal.* 76, 448-471.

Table 1.

Simple correlations between seven oral measurements and selected forages ingested by goats

Variables	Cr di	Da pa	Fl ce	La tr	No ce	Pa in	Sp an	Se le
Incisor length	-0.04	0.07	-0.24	-0.01	0.18	0.18	0.03	-0.15
Incisor width	-0.12	0.04	-0.01	-0.13	0.29*	0.23	-0.00	-0.11
Base of incisors	-0.05	-0.27*	0.04	-0.07	-0.07	0.14	-0.11	-0.04
Incisor breath	0.14	0.13	-0.06	0.09	0.11	0.15	0.07	-0.23
Muzzle width	0.34*	-0.01	0.01	-0.06	-0.23	-0.26*	0.36*	-0.40*
Distance molars	0.15	-0.14	0.10	0.32*	-0.20	-0.13	0.17	0.06
Mandible length	0.01	0.14	0.36*	-0.18	0.13	-0.08	0.07	-0.26

\* $P < 0.05$

Cr di= *Croton dioicus*; Da pa= *Dasilirium palmeri*, Fl ce= *Florensia cernua*; La tr= *Larrea tridentata*; No ce= *Nolina cespitifera*; Pa in= *Parthenium incanum*; Sp an= *Sphaeralcea angustifolia*; Se lu= *Setaria leucopila*

Table 2.

Standardized canonical coefficients of the set of plant consumed by goats and oral morphology. The absolute values of the standardized coefficients determine the importance of the mandible variables affecting the ingestion of different forages

Forages	Inc len	Inc width	Base inc	Inc breath	Muzzle	Dis mol	Man len
Ag le	-0.13	0.03	-0.04	-0.31	0.51	-0.21	-0.09
At ca	0.20	-0.07	0.54	0.14	0.06	0.47	-0.56
Bo gr	-0.28	0.02	-0.01	-0.36	-0.28	0.30	0.32
Bu da	0.28	-0.03	0.43	-0.40	0.02	-0.51	-0.04
Bu sc	-0.49	0.02	0.19	0.10	0.16	0.01	-0.21
Co pl	0.10	-0.14	-0.15	-0.50	0.19	0.01	0.35
Cr di	0.41	0.40	-0.13	0.06	0.01	0.62	-0.21
Da bi	0.15	0.42	-0.12	0.06	-0.19	-0.25	0.38
Da pa	0.20	-0.31	0.34	0.13	-0.20	-0.25	-0.18
Er av	-0.15	-0.02	-0.23	0.32	-0.32	-0.32	-0.08
Fl ce	-0.28	0.43	0.69	0.01	0.16	-0.16	0.52
La tr	-0.17	0.08	-0.49	0.68	0.18	-0.29	0.26
No ce	0.56	-0.39	0.29	0.16	-0.09	0.06	-0.05
Op ra	-0.45	0.20	0.19	-0.37	0.11	0.29	-0.12
Pa in	-0.21	-0.47	0.15	0.16	0.39	0.24	0.23
Se le	0.16	0.38	0.32	-0.07	0.43	-0.02	-0.29
Sp an	0.16	0.38	0.32	-0.07	0.43	-0.03	-0.30

Ag le= *Agave lechuguilla*, At ca= *Atriplex canescens*, Bo cu= *Bouteloua curtipendula*, Bo gr= *Bouteloua gracilis*, Bu da= *Buchloe dactyloides*, Bu sc= *Budejja scordioides*, Co pl= *Cowania plicata*, Cr di= *Croton dioicus*, Da bi= *Dalea bicolor*, Da pa= *Dasilirium palmeri*, Er av= *Erioneurum avenaceum*, Fl ce= *Florensia cernua*, La tr= *Larrea tridentata*, No ce= *Nolina cespitifera*, Op ra= *Opuntia rastrera*, Pa in= *Parthenium incanum*, Se lu= *Setaria leucopila*, Sp an= *Sphaeralcea angustifolia*.

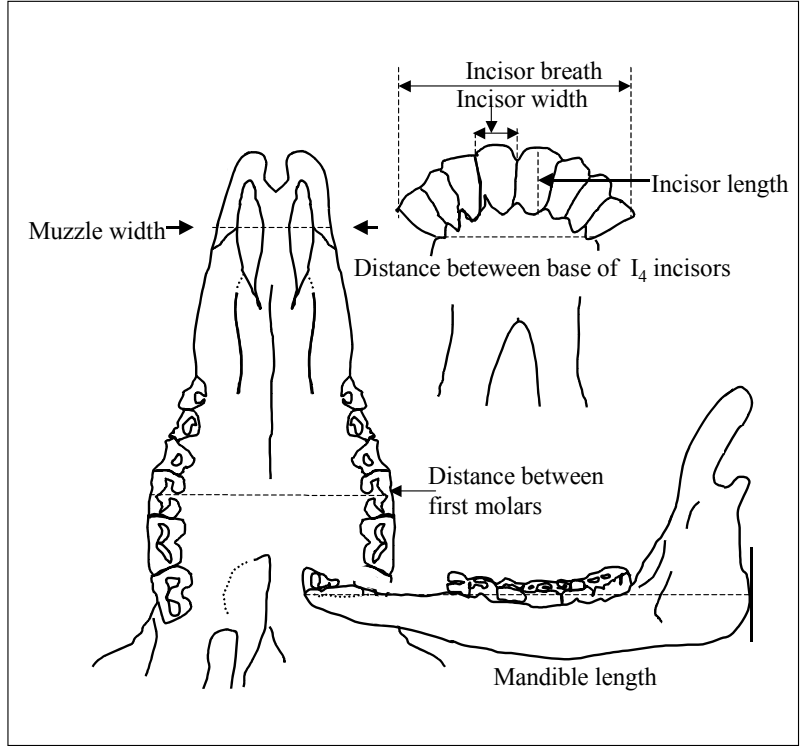


Fig. 1. Oral traits used in this study.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados del primer estudio indican que la lactancia en conjunción con la preñez durante el periodo de sequía es uno de los principales factores limitantes para el éxito reproductivo de cabras en agostadero. Además, el tamaño y peso de la camada tendieron a ser influenciadas por los pesos de las cabras a la fecundación, pero no por las reservas corporales de energía de las cabras. Entonces, para lograr altas tasas de pariciones en cabras en agostadero fecundadas al inicio del año, se debe evitar la lactancia en el invierno.

En el segundo estudio, La falta de nutrientes para las cabras durante la gestación y bajo condiciones de pastoreo, afectan en forma importante el desarrollo de la gestación y las características de la placenta, generando de esta manera importantes cambios metabólicos en la cabra, las cuales intentan compensar incrementando el tamaño de la placenta para mantener la gestación.

En el tercer estudio, los datos sugieren que en el matorral inerme parvifolio, mayores proporción de *Parthenium incanum* y *Croton dioicus* en la dieta de las cabras, dos forrajes importantes para las cabras en este ecosistema, se reflejaron en niveles más elevados de biomarcadores del estatus nutricional de las cabras. Este estudio indica también que la ingestión

de mayores cantidades de *Buddleja scordioides* fue antagonista a los niveles de P fecal y sanguíneo. Adicionalmente, *Larrea tridentata* mostró propiedades para reducir el colesterol sanguíneo.

En el cuarto estudio la arquitectura mandibular tendió a influenciar la selección de la dieta de cabras en agostadero. En general, la altura de los primeros incisivos y la distancia entre los primeros molares tuvieron un efecto más dominante sobre la ingestión de gramíneas, en comparación con otras variables del aparato bucal. Por otra parte, la distancia entre los cuartos incisivos, la amplitud del morro y la longitud de la quijada mostraron las asociaciones más cercanas con la ingestión de arbustivas espinosas y de baja palatabilidad. A pesar de la diferencia en la ingestión de forrajes por las cabras, la calidad nutricional de la dieta no se vio afectada.

## 5. LITERATURA CITADA

- Adalsteinsson, S. 1979. Independent effects of live weight and body condition on fecundity and productivity of icelandic ewes. *Animal Production*. 28, 13-23.
- Adams, R.S., Stout, W.L., Kradel, D.C., Guss, S.B., Moser, B.L. and Jung, G.A. 1978. Use and limitations of profiles in assessing health or nutritional status of dairy herd. *Journal Dairy Science*. 61:1671.
- Bell, A.W. 1984. Factors controlling placental and foetal growth and their effects on future production. in reproduction in sheep. Ed. Cambridge University Press. U. K. pp. 144-152.
- Bernal, M.G. 1990. Técnicas para evaluar el perfil metabólico. En Manual de técnicas de investigación en ruminología. 1ra edición, Consultores en Producción Animal, S.C. México, D. F.
- Bhatt, H., Brunet, L. and Steward, C.L. 1991. Uterine expression of leukaemia inhibitory factor (LIF) coincides with the onset of blastocyst implantation. *Proceedings of National Academy Science*. USA 88, 11 408-412.
- Black, J.L. 1989. Crecimiento y desarrollo de corderos. En Producción Ovina. A. G. T. Editor S. A., 3ra Edición., México D. F., pp. 23-62.
- Boland, P.M., and Lonergan, P. 2003. Effects of nutrition on fertility in dairy cows. *Advances in Dairy Technology*. 15, 19-33.
- Bocquier, F., Leboeuf, B., Guedon, L., Chilliard, Y. 1996. Reproductive performances of artificially inseminated prepubertal goat: effects of feeding level and body weight. 33emes rencontres autour des rech. Sur les Rum. Paris, France. pp 187-190.
- Bramley, P.S., Denehy, H.L. and Newton, J.E. 1976. The effect of different planes of nutrition before mating on the reproductive performance of Masham ewes. *Veterinary Record*. 99 :294-296.
- Branca, A. and Casu, S., 1987. Variation of body condition score during a year and its relationship with body reserves in Sarda goats, p. 221-236. In : Flamant J. C and Morand-Fehr (Eds). Symposium Philoekios, Fonte Boa (Portugal) sep. 23-25.
- Cissé. M., M'Baye, M., Sane, I., Corrêa, A. and N'Diaye, I. 2001. Seasonal changes in body condition of the Senegalese Sahel goat: Relationship to reproductive performance.



<http://www.fao.org/wairdoes/ilri/x5472b/x5472bOy.htm> Verificado 2-Abril-04.

- Contreras, A. P. y Phil, M. 1998. Síndrome de movilización de grasa en vacas lecheras al inicio de la lactancia y sus efectos en salud y producción de los rebaños. Archivos de Medicina Veterinaria 30, 2: 17-27.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Bonnet, M., Rouel, J. and Bocquier, F. 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. Proceedings of the Nutrition Society. 59, 127-134.
- Chilliard. Y., and Bocquier, F. 2000. Direct effects of photoperiod on lipid metabolims, leptin synthesis and milk secretion in adult sheep. In: Ruminant physiology digestion, metabolism, growth and reproduction. Ed. P. B. Cronjé. CABI Publishing, U.K.
- Chupin, D., Pelot, J., Alonso de Miguel, M. and Thimonier, J. (1976). Progesterone assay for study of ovarian activity during postpartum anoestrus in the cow. Proceedings 8<sup>th</sup>. International Congress. Animal Reproduction & Artificial Insemination. Krakow, Poland, 3, 346.
- Daza. A. A. 1997. Reproducción y sistemas de explotación del ganado ovino. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- DeChiaria, T.M., Efstratiadis, A. And Roberson, B.J. 1990. A growth deficiency phenotype in heterozygous mice carrying an insuline-like growth factor II gene disrrupter by targeting. Nature. 345, 78-80.
- Downing, J.A., Jos, J., Connell, P. and Scaramuzzi, R.J. 1995. Ovulation rate and concentrations of gonadotophic and metabolic hormones in ewes fed lupin grain. Journal of Reproduction and Fertility. 103, 137-145.
- Doxey, D.L. 1977. Haematology of the ox . Comparative clinical haematology. 1<sup>st</sup> Edition. R.K. Archer and L.B. Jeffcott, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London Edinburgh, Melbourne, Chapter 6, p.265.
- Ducker, M.J. and Boyd, J.S 1977. The effect of body size and body condition on the ovulation rate of ewes. Animal Production. 24 : 377-385.
- Edey, T.N. 1976. Nutrition and embryo survival in the ewe. Proceedings of the New Zeland Society of Animal Production 36, 231-239.
- Faichney, G.J. 1981. Aminoacid utilization by the foetal lamb. Proceedings of the Nutrition Society of Australia. 6, 48-53.

- Fowden, A.L. 1995. Endocrine regulation of fetal growth. *Reproduction Fertility Development*. 7, 351-363.
- Fowden, A.L. and Silver, M. 1995. The effect of thyroid hormones on oxygen and glucose metabolism in the sheep fetus during late gestation. *Journal Physiology*. (London) 482, 203-213.
- Fowden, A.L., Hughes, P. and Comline, R.S. 1989. The effect of insulin on the growth rate of the sheep fetus during late gestation. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*. 74, 703-714.
- Friggens, N.C. 2003. Body lipid reserves and the reproductive cycle: Toward a better understanding. *Livestock Production Science*. 83, 219-236.
- Gadd, T.S., Aitken, R.P., Wallace, J.M. and Wathes, D.C. 2000. Effect of a high maternal dietary intake during mid-gestation on components of the utero-placental insulin-like growth factor (IGF) system in adolescent sheep with retarded placental development. *Journal Reproduction and Fertility*. 118, 407-416.
- Gilmour, R.S., Li, J., Saunders, J.C., Fowden, A.L. and Silver, M. 1994. Molecular mechanisms involved in the IGF-II/IGF-I switch in the perinatal sheep. *Growth Reg*. 4, 45A (Abstr).
- Gordon, I.J. and Illius, A.W. 1988. Incisor arcade structure and diet selection in ruminants. *Functional Ecology*. 2, 15-22.
- Gordon, I.J., Illius, A.W. and Milne, J.D. 1996. Sources of variation in the foraging efficiency of grazing ruminants. *Functional Ecology*. 10, 219-226.
- Goonewardene, L.A., Whitmore, W., Jaeger, S., Borchert, T., Okine, E., Ashmawy, S. and Emond, S. 1997. Effect of prebreeding maintenance diet on subsequent reproduction by artificial insemination in Alpine and Saanen goats. *Theriogenology*, 48: 151-159.
- Grummer, R.R. 1993. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *Journal Dairy Science* 76: 3882-3888.
- Gunn, R.G., Doney, J.M. and Russel, J.S. 1969. Fertility in scottish Blackface ewes as influenced by nutrition and body condition at mating. *Agric. Sci. Camb*. 73, 289-294.
- Haig, D. and Graham, C. 1991. Genomic imprinting and the strange case of the insulin-like growth factor II receptor. *Cell* 64, 1045-1046.

- Han, V. and Hill, D.J. 1994. Growth factors in fetal growth. In "Textbook of fetal physiology" (Eds. G.D. Thorburn and R. Harding) pp. 48-69. (Oxford University Press: Oxford.)
- Harding, J.E., Liu, L., Evans, P.C. and Gluckman, P.D. 1994. Insuline-like growth factor-I alters feto placental protein and carbohidrate metabolism in fetal sheep. *Endocrinology*. 134, 1509-1514.
- Harding, J.E. and Johnston B.M. 1995. Nutrition and fetal growth. *Reproduction, Fertility Development*. 7, 539-547.
- Herd, T.H. 1988. Fatty liver in dairy cows. *Veterinary Clinic N.A. Food Animal Practice* 4: 213-231.
- Hurley. L. W. 2000. Introduction to lactation biology. En : [www.classes.aces.iuuc.edu/AnSci308/intro.html](http://www.classes.aces.iuuc.edu/AnSci308/intro.html) Verificado 2-Sep-2005
- Jainudeen, M.R., and Hafez, E.S.E. 1984. Fracasos reproductivos en las hembras. En: *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales*. Ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D.F.
- Kaye, P.L., Bell, K.B., Beebe, F.F.S., Dunglison, G.D., Gardner, H.G., and Harvey, M.B. 1992. Insulin and IGFs in preimplantation development. *Reproduction Fertility Development*. 4, 373-386.
- Landau. S., Morand-Fehr, P., Bas, P., Schmidely, P. and Giger-Reverdin, P. 1997. In *Recent Advances in Goat Research*. (Cahiers Option Mediterraneennes; Vol. 25. 6th International Conference on Goats. Beijin, China. p.133.
- Lee, A. J., Twardock, A.R., Bubar, R.H., Hall, J.E. and Davis, C.L. 1978. Blood metabolic profiles: Their use and relation to nutritional status of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 61, 1625.
- Li, J., Saunders, J.C., Gilmour, R.S., Silver, M. and Fowden, A.L. 1993. Insuline-like growth factor-II messenger ribonucleic acid expression in fetal tissues of the sheep during late gestation: Effects of cortisol. *Endocrinology* 132, 2083-2089.
- Linzell, J.L. 1973. Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goats. *Journal of Physiology*. 230, 225-233.
- Liu, L., Harding, J.E., Evans, P.C. and Gluckman, P.D. 1994. Maternal insulin-like growth factor-I infusion alters feto-placental carbohidrate and protein metabolism in pregnant sheep. *Endocrinology*. 135: 895-900.

- Lucas, J. T. 1986. Reproducción. En: Producción de caprinos. Ed. AGT . México, D.F.
- Mani, A.U., McKelvey, W.A.C. and Watson, E.D. 1992. The effects of low level of feeding on response to synchronization of estrus, ovulation rate and embryo loss in goats. *Theriogenology*. 38, 1013-1022.
- Mbayahaga, J., Mandiki, S.N.M., Bister, J.L. and Paquay, R. 1998. Body weight, oestrus and ovarian activity in local Burundian ewes and goats after parturition in the dry season. *Animal Reproduction Science.*, 51:289-300.
- McCraab, G.J., Hosking, B.J. and Egan, A.R. 1992. Changes in the maternal body and feto-placental growth following various lengths of feed restriction during mid pregnancy in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*. 43, 1429-1440.
- McNamara. J.P. 2000. Integrating the effects of genotype and nutrition on utilization of body reserves during lactation of dairy cattle. In: *Ruminant physiology digestion, metabolism, growth and reproduction*. Ed., P.B. Cronjé. CABI Publishing, U.K.
- McNeill, D.M., Kelly, R.W. and Williams, I.H. 1999. The partition of nutrients in ewes maintained in a moderate compared with a lean body condition in late pregnancy. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48, 743-752.
- Mellado M., Vera, A., Loera, H. 1994. Reproductive performance of crossbred goats in good or poor body condition exposed to bucks before breeding. *Small Ruminant Research*. 14, 45-48.
- Mellor, D.J. 1983. Nutritional and placental determinants of foetal growth rate in sheep and consequences for the newborn lamb. *British Veterinary Journal*. 139, 307-324.
- Newton J.E., Betts, J.L. and Wilde, R. 1980. The effect of body condition and time of mating on reproductive performance of Masham ewes. *Animal Production* 30, 253-260.
- Osgerby, J.C., Wathes, D.C., Howard, D. and Gadd, T.S. 2002. The effect of maternal undernutrition on ovine fetal growth. *Journal of Endocrinology*. 173, 131-141.
- Osgerby, J.C., Gadd, T.S. and Wathes, D.C. 2003. The effects of maternal nutrition and body condition on placental and foetal growth in the ewe. *Placenta*. 24 (2-3), 236-247.
- Parra, O., Ojeda, A., Conbellas, J., Gabaldon, L., Escobar, A., Martinez, N. and Benezra, M. 1999. Blood metabolites and their relationship with production

- variables in dual purpose cows in Venezuela. *Preventive Veterinary Medicine*. 38, 133-145.
- Payne, J.M., Sally, M., Dew, Manston, R. and Faulks, M. 1970. The use a metabolic profile test in dairy herds. *Veterinary Record*. 87, 150.
- Pérez-Barbería, J. and Gordon, I.J. 1999. The functional relationship between feeding type and jaw and cranial morphology in ungulates. *Oecologia*. 118, 157-165.
- Pérez-Barbería, J. and Gordon, I.J. 1998. Factors affecting food comminution during mastication in herbivorous mammals: a review. *Biological Journal of the Linnean Society*. 63, 233-256.
- Pérez-Barbería, J. and Gordon, I.J. 2001. Relationship between oral morphology and feeding style in the ungulata: A phylogenetically controlled evaluation. *Proceedings of Royal Society. London B*. 268, 1021-1030.
- Rhind, S.M., 1992. Nutrition: Its effects on reproductive performance and its hormonal control in female sheep and goats. In *Progress in sheep and goat research*. Edit. CAB International Wallingford, Oxon OX10 8DE; U. K.
- Robinson, J., Chidzanja, S., Kind, K., Lok, F., Owens, P. and Owens, J. 1995. Placental control of fetal growth. *Reproduction, Fertility Development* 7, 333-334.
- Santucci, P.M., Branca, A., Napoleone, M., Bouche, R., Amount, G., Poisot, F. and Alexandre, G. 1991. Body condition scoring of goats in extensive conditions. p. 240-255. In: *Goat Nutrition*. Morand Fehr (Editor) Wageningen Pudoc. Netherlands.
- Schillo, K.K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *Journal of Animal Science*. 70: 1271-1282.
- Schultz, G.A., Hahnel, A., Arcellana-Panlilio, M., Wang, L., Goubau, S., Watson, A. and Harvey, M. 1993. Expression of IGF ligand and receptor genes during preimplantation mammalian development. *Molecular Reproduction Development*. 35, 414-420.
- Sibanda, L.M., Ndlovu, L.R., Bryant, M.J. 1999. Effects of low plane of nutrition during pregnancy and lactation on the performance of Matebele does and their kids. *Small Ruminant Research*. 32, 243-250.
- Smith, R.J., Petersen, C.E. and Gipe, D.P. 1983. Size and shape of the mandibular condyle in primates. *Journal Morphology*. 177, 59-68.

- Smith, J.F. 1988. Influence of nutrition on ovulation rate in the ewe. *Australian Journal of Biological Sciences* 41, 27-36.
- Solounias, N., Fortelius, M. and Freeman P. 1994. Molar wear rates in ruminants- a new approach. *Annales Zoology Fenn.* 31, 219-227.
- Spaeth, D.F., Hundertmark, K.J., Bowyer, R.T., Barbosa, P.S., Stephenson, T.R. and Peterson, O.R. 2001. Incisor arcades of alaskan moose: Is dimorphism related to sexual segregation. *Alces* 37, 217-226.
- Tabibzadeh, S. 1994. Role of cytokines in indometrin and at the maternal interface. *Reproduction Medical Review.* 3, 11-28.
- Thomas, D.L., Thomford, P.J., Grickman, J.G., Cobb, A.R. and Dziuk, P.J. 1987. Effects of plane of nutrition and phenobarbital during the pre-mating period on reproduction in ewes fed differentially during summer and mated in the fall. *Journal of Animal Science.* 4, 1144-1152.
- Thompson, J.K., McDonald, D.C. and Warren, R.W. 1978. Multiple blood analyses of dairy cows as a management aid. *The Scotland College of Agricultural.* Report January. pp.18-25.
- Tracey, S., Reynolds, K., Stevenson, R. and Wathes, C. 1997. Pregnancy-specific alterations in the expression of the insuline-like growth factor system during early placental development in the ewe. *Endocrinology.* 138:886-897.
- Vernon, R.G. 1986. The growth and metabolism of adipocytes. In *Control and Manipulation of Animal Growth.* Ed. Butterworths. London, U. K. First Publishing, pp. 67-83.
- Wallace, J.M., Bourque, D.A., Aitken, R.P. and Cruickshank, M.A. 1999. Switching maternal dietary intake at the end of the first trimester has profound effects on placental development and growth in adolescent ewes carrying singleton fetuses. *Biology of Reproduction.* 61, 101-110.
- Wathes, D.C., Reynolds, T.S., Robinson, R. S. and Stevenson, K. R. 1998. Role of insulin-like growth factor system in uterine function and placental development in ruminants. *Journal of Dairy Science.* 81, 1778-1789.
- Zarazaga, L.A., Guzmán, J.L., Domínguez, C., Perez, M.C., Prieto, R. 2005. Effect of plane of nutrition on seasonality of reproduction in Spanish Payoya goats. *Animal Reproduction Science.* 87, 253-267.
- Zhang, W. Ch., Nakao, T., Kida, K., Moriyoshi, M. and Nakada, K. 2002. Effect of nutrition during pregnancy on calf birth weights and viability and fetal

menbrane expulsion in dairy cattle. Journal of Reproduction and Development. 48, 415-422.

