



**Universidad Autónoma de Querétaro**

**Facultad de Ciencias Naturales**

**INFLUENCIA DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE CABRAS LECHERAS  
SOBRE SU METABOLISMO DE ENERGÍA**

**Tesis**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de**

**Maestro en Ciencias**

**Recursos Bióticos**

**Presenta**

**Ma. De Jesús Chávez López**

**Juriquilla Querétaro, Junio 2008**



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

Influencia del estado fisiológico de cabras lecheras sobre su metabolismo de energía

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Recursos Bióticos

**Presenta:**

Ma. De Jesús Chávez López

**Dirigido por:**

Dra. María Guadalupe Bernal Santos

**SINODALES**

Dra. María Guadalupe Bernal Santos  
Presidente

Dr. Marco Antonio Sánchez Ramos  
Secretario

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza  
Vocal

M.C. Araceli Aguilera Barreiro  
Suplente

Dr. Eulises Díaz Díaz  
Suplente

Bioh Jaime Angeles Angeles  
Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Junio de 2008  
México

## RESUMEN

Se evaluaron los cambios en el metabolismo de glucosa durante tres intervalos preparto (-6, -4 y -2 semanas) y tres posparto (+2, +4 y +6 semanas), en respuesta a dos desafíos metabólicos *in vivo* en seis cabras Nubia multíparas. Los desafíos consistieron en la administración intravenosa de glucosa (62.5g/cabra) y de epinefrina (0.7µg/kg de peso corporal). Se obtuvieron muestras de sangre vía cánula yugular de los 30 minutos pre-inyección hasta cuatro horas post-inyección. Las cabras recibieron una ración peletizada a base de maíz molido, heno de alfalfa y premezcla mineral (14% de proteína cruda durante gestación y 15% durante lactancia). Las variables de respuesta para el desafío de glucosa fueron la concentración de glucosa al tiempo cero ( $t_0$ ), la tasa de desaparición de glucosa ( $t^{1/2}$ ) y la concentración de insulina; para el desafío de epinefrina las respuestas integradas de producción de glucosa, AGL e insulina. Los resultados se analizaron conforme a un diseño de mediciones repetidas. Los consumos de materia seca ( $1.8 \pm 0.07$  kg/d) no fueron diferentes entre periodos ( $P > 0.1$ ). El promedio de producción de leche de  $649 \pm 69$  g/d fue similar entre periodos ( $P > 0.1$ ). Las concentraciones basales de glucosa e insulina fueron similares ( $P > 0.1$ ) entre la gestación y la lactancia con medias ( $\pm$ error estándar) de  $77.9 \pm 3.7$  mg/dl y  $0.264 \pm 0.034$  ng/dl respectivamente. Las concentraciones basales de AGL fueron mayores ( $P < 0.001$ ) durante las semanas 2 y 4 posparto ( $0.40 \pm 0.2$  y  $0.57 \pm 0.3$  mmol/l) y menores durante la gestación. Las respuestas al desafío de glucosa fueron similares entre los períodos evaluados, con una media para  $t_0$  de  $289 \pm 17$  mg/dl ( $P > 0.1$ ) y para  $t^{1/2}$  de  $9.4 \pm 1.6$  min ( $P > 0.1$ ). Las respuestas de insulina fueron similares en todos los períodos,  $63.3 \pm 8.2$  ngml<sup>-1</sup>min ( $P > 0.1$ ). El desafío de epinefrina no alteró la respuesta integrada de glucosa ( $3886.5 \pm 318$  mgml<sup>-1</sup>min) e insulina ( $21.6 \pm 7.7$  ngml<sup>-1</sup>min) ( $P > 0.1$ ), pero provocó un aumento significativo ( $P < 0.001$ ) en las concentraciones de AGL solamente durante las semanas 2 y 4 posparto ( $1.24 \pm 0.6$  y  $1.40 \pm 0.3$  nmoll<sup>-1</sup>min). La respuesta de las cabras lecheras a los desafíos metabólicos evaluados está influenciada por el inicio de la lactación.

Palabras clave: metabolismo energético, cabra lechera, desafío metabólico, glucosa, insulina, AGL

## ABSTRACT

Two *in vivo* metabolic challenges were conducted to assess the changes in glucose metabolism during three intervals prepartum (-6, -4, -2 weeks) and three postpartum (+2, +4, +6 weeks) in six multiparous pregnant Nubian goats. Challenges consisted of intravenous administration of 1) glucose (62.5 g/goat) and 2) epinephrine (0.7 µg/kg body weight). Blood samples were collected via jugular cannula from 30 min pre-injection (basal concentrations) to four hours post-injection, and analyzed for glucose, non-esterified fatty acids (NEFA) and insulin concentrations. Goats were offered a pelleted ration based on ground corn, alfalfa hay and mineral mix (14% CP during pregnancy, 15% CP during lactation); *ad libitum* feed intakes were monitored throughout the study. Response variables for glucose challenge were glucose concentration at zero time ( $t_0$ ) glucose disappearance rate ( $t_{1/2}$ ), and insulin concentration; for epinephrine challenge glucose, NEFA and insulin integrated responses were determined through the four hours of sampling. Data were analyzed according to a repeated-measures design blocking by goat. Dry matter intakes ( $1.8 \pm 0.07$  kg/d) were not different throughout the study ( $P > 0.1$ ). Average milk production ( $649 \pm 69$  g/d) was not different among periods ( $P > 0.1$ ). Basal glucose and insulin concentrations were not different ( $P > 0.1$ ) between pregnancy and lactation, with means ( $\pm$  standard error) of  $77.9 \pm 3.7$  mg/dl, and  $0.264 \pm 0.034$  ng/dl, respectively. Basal NEFA concentrations were greater ( $P < 0.001$ ) during the weeks 2 and 4 postpartum ( $0.40 \pm 0.2$  and  $0.57 \pm 0.3$  mmol/l) and lowest during prepartum periods. Responses to glucose challenge did not differ throughout periods evaluated, with a mean for  $t_0$  of  $289 \pm 17$  mg/dl ( $P > 0.1$ ) and for  $t_{1/2}$  of  $9.4 \pm 1.6$  min ( $P > 0.1$ ). Insulin responses were similar for all periods ( $P > 0.1$ ) with an overall mean of  $63.3 \pm 8.2$  ngml<sup>-1</sup>min. The epinephrine challenge resulted in similar changes in glucose and insulin integrated responses throughout the periods evaluated ( $P > 0.1$ ), with corresponding means for glucose of  $3886.5 \pm 318$  mgml<sup>-1</sup>min, and  $21.6 \pm 7.7$  ngml<sup>-1</sup>min, but elicited a significant ( $P < 0.001$ ) increase in plasma NEFA concentrations during weeks 2 and 4 postpartum ( $1.24 \pm 0.6$  and  $1.40 \pm 0.3$  nmoll<sup>-1</sup>min), but not during the prepartum periods. Responsiveness of dairy goats to metabolic challenges evaluated is markedly influenced with onset of lactation.

Key words: energy metabolism, dairy goat, metabolic challenge, glucose, insulin, NEFA.

## *DEDICATORIA*

*A mi familia con amor... a la memoria de mi madre... a mi papá gracias por su apoyo, por su paciencia y por su amor incondicionales... A mis hermanos con todo mi cariño...a Elvia, por ser la hermana que el destino me permitió conocer, gracias por estar en todo momento.*

*A Irma, por regalarme su amistad. A Lety, Migue y Claudia con mucho cariño.*

*A Juan Antonio, gracias por su ayuda, apoyo y amistad*

*A Marce, gracias por la lección de vida.*

*Gracias a Dios por llenarme de bendiciones...*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto

Al Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Querétaro

Al M.V.Z. Jorge Luis Olmos Velázquez y al personal del Proyecto Caprino del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo experimental

Al Instituto Nacional de la Nutrición “Salvador Zubirán”, especialmente al Dr. Eulises Díaz Díaz.

A mi Tutora Dra. María Guadalupe Bernal Santos

A los miembros del Comité Tutorial

Dr. Marco Antonio Sánchez Ramos

Dra. Tércia Cesárea Reis de Souza

M.C. Araceli Aguilera Barreiro

Dr. Eulises Díaz Díaz

A mis Maestros del Posgrado en Recursos Bióticos

Al Dr. Héctor Andrade Montemayor por su asesoría.

Al M.C. Konisgmar Mark por su colaboración y asesoría en laboratorio.

A Julio César Beltrán, Maximino Moreno y Claudia Betancourt por su apoyo.

## CONTENIDO

<b>Página</b>	
Resumen .....	i
Abstract .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Contenido .....	v
Índice de cuadros .....	vi
Índice de figuras .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
Situación de la caprinocultura .....	3
La producción y el metabolismo de los rumiantes .....	5
El metabolismo de la glucosa en los rumiantes .....	7
El metabolismo de lípidos en los rumiantes .....	8
Hormonas metabólicas involucradas .....	10
III. OBJETIVOS .....	13
IV. MATERIAL Y MÉTODOS .....	14
Localización del estudio .....	14
Animales experimentales .....	18
Desafíos metabólicos .....	18
Análisis de muestras sanguíneas .....	21
Estimación de parámetros metabólicos .....	21
Análisis estadístico .....	22
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
Parámetros productivos de los animales experimentales .....	23
Concentraciones basales de glucosa, insulina y ácidos grasos libres .....	26
Respuesta al desafío de glucosa .....	27
Respuesta al desafío de epinefrina .....	31
VI. CONCLUSIONES .....	38
VII. LITERATURA CITADA .....	39
Anexo 1 .....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Existencia Caprina anual y su producción de leche y carne en el mundo .....	1
2	Características de las cabras experimentales .....	15
3	Composición porcentual y química de las raciones ofrecidas a cabras Nubia en la gestación y la lactancia .....	17
4	Días en que se realizaron los desafíos metabólicos .....	19
5	Dosis administradas en las cabras para los desafíos metabólicos .....	19
6	Características productivas de las cabras Nubia en diferentes estados fisiológicos .....	24
7	Pesos al nacimiento y a las 6 semanas de edad de las crías de las cabras Nubia experimentales .....	25
8	Composición química de la leche de cabras Nubia durante las primeras seis semanas de lactación .....	26
9	Concentraciones basales de glucosa, insulina y ácidos grasos libres en plasma de cabras Nubia en diferentes períodos alrededor del parto ..	27
10	Respuesta en la concentración plasmática de glucosa, insulina y ácidos grasos libres al desafío de glucosa en cabras Nubia en diferentes períodos alrededor del parto .....	29
11	Respuesta en la concentración plasmática de glucosa, insulina y ácidos grasos libres al desafío de epinefrina en cabras Nubia en diferentes períodos alrededor del parto .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Localización del Campus de Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro .....	14
2	Corraletas experimentales para las cabras .....	16
3	Cajón de crianza de los cabritos .....	18
4	Canulación en la vena yugular de cabras Nubia .....	20
5	Muestreo sanguíneo relativo a la administración de cada desafío .....	21
6	Respuesta de la concentración de glucosa al desafío de glucosa .....	28
7	Respuesta de la concentración de insulina al desafío de glucosa .....	28
8	Respuesta de la concentración de ácidos grasos libres al desafío de glucosa .....	29
9	Respuesta de la concentración de glucosa al desafío de epinefrina .....	32
10	Respuesta de la concentración de insulina al desafío de epinefrina .....	33
11	Respuesta de la concentración de ácidos grasos libres al desafío de epinefrina .....	33

## I. INTRODUCCIÓN

La especie caprina contribuye en forma significativa a la producción de alimentos (leche y carne) y de otros satisfactores como pieles y pelo de alta calidad. La importancia de los caprinos radica en que su crianza es llevada a cabo principalmente por pequeños productores con extensiones limitadas de terreno y generalmente en combinación con la agricultura.

Durante los últimos años la población caprina en México se ha mantenido constante alrededor de 9 millones de cabezas (SIAP, 2008) y la producción de leche de cabra ha tenido un aumento paulatino de 131.2 millones de litros en el año 2000 a 160 millones en el 2005 (SAGARPA, 2006a). Este aumento en la producción de leche, sin un aumento significativo en el número de animales, podría indicar que la eficiencia en la producción ha mejorado. Sin embargo, no existen datos que permitan demostrarlo. El sistema extensivo sigue siendo el que predomina en México, pero la producción intensiva y semi-intensiva se ha incrementado debido a la demanda de los productos derivados de la leche de cabra, como quesos y dulces (Arbiza y de Lucas, 2001).

Para su alimentación las cabras dependen de los arbustos del agostadero los cuales llegan a representar hasta el 80% de su dieta y de la carga animal del potrero en donde pastorean, la cual casi siempre es excesiva (Mellado *et al.*, 1991; Ramírez, 1994). La producción de biomasa en el agostadero varía de acuerdo al tipo de suelo y de la precipitación pluvial. La suplementación de alimento en épocas críticas es mínima y consta de ingredientes de baja calidad nutritiva para alimentar a las cabras como nopales, rastrojo de maíz, maguey picado (*Helianthus* sp.), entre otros (Meza, 1987).

En el sistema de producción intensivo, el objetivo es obtener de los animales rendimientos de leche y carne más altos que en el sistema extensivo y esto solo puede lograrse utilizando raciones integrales con niveles altos de concentrado, que aporten los nutrimentos necesarios para conseguirlo. El suministro de estas raciones sin una

supervisión constante puede ocasionar problemas que impactarán su vida productiva, tal es el caso de enfermedades de tipo metabólico como la cetosis o la hipocalcemia (Bell y Bauman, 1997).

Una manera de poder prevenir estos problemas metabólicos, que generalmente ocurren al final de la gestación y al inicio de la lactancia, sería el de poder definir el momento en que se llevan a cabo los cambios que desencadenan su presentación, para de esta manera establecer estrategias alimenticias que permitan al animal mantener su productividad sin detrimento de su salud. Existe poca información sobre aspectos metabólicos de las cabras que permita establecer programas de manejo nutricional durante períodos críticos de su vida productiva (como lo son la gestación y lactancia) con los cuales se pueda establecer una alimentación acorde a las necesidades nutrimentales del animal y al sistema de producción. Este tipo de sistema de alimentación por “fases productivas” se ha establecido en las vacas lecheras con excelentes resultados desde hace varios años (Drackley, 1999).

Por lo tanto, el poder definir en qué etapa de su ciclo productivo su metabolismo energético es más vulnerable a sufrir desbalances en la repartición de nutrimentos, permitirá que la cabra lechera reciba un apoyo nutricional de manera oportuna con el consecuente beneficio para el animal, para el productor y su medio ambiente.

Con base en lo anterior, se diseñó el presente estudio en condiciones de estabulación para minimizar los factores de variación y con el objetivo de dilucidar algunos cambios en el metabolismo energético de la cabra lechera, en términos de concentración sanguínea de glucosa, de ácidos grasos libres (no esterificados) y de la hormona insulina en respuesta a dos desafíos metabólicos *in vivo* (que consistirán en la aplicación exógena de glucosa y de epinefrina) efectuados durante los periodos preparto y posparto.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Situación de la Caprinocultura

Los principales países criadores de cabras se ubican dentro de los económicamente más pobres y casi todos situados en regiones tropicales, áridas o semiáridas, tal como se muestra en el Cuadro 1. La contribución de la leche caprina a la alimentación humana apenas sobrepasa el 2%, pero va en aumento (Arbiza y de Lucas, 2001).

Cuadro 1. Existencia caprina anual y su producción de leche y carne en el mundo<sup>1</sup>

Continentes	Países	Cabras	Leche	Carne
		miles	Toneladas	
África		205 639 454		
	Sudán	37 500	1 152 000	116 350
	Nigeria	24 300		154 305
	Etiopía	16 950	94 200	63 400
	Somalia	12 000	360 000	31 200
	Tanzania	9 900	95 200	24 960
	Mali	8 524	175 320	32 270
Asía		446 626 070		
	China	141 956	222 912	1 068 054
	India	122 530	3 180 000	466 000
	Pakistán	49 700	818 000	537 000
	Bangladesh	33 500	1 280 000	126 000
	Irán	25 757	396 000	104 000
	Indonesia	15 197	232 000	47 000
	Turquía	8 376	233 000	57 000
Europa		17 952 566		
	Grecia	5 520	460 000	46 000
	Italia	2 600	317 000	17 000
	España	1 365	130 640	3 400
	Francia	1 198	482 800	8 000
América		38 970 760		
	Brasil	12 600	141 000	43 000
	<b>México</b>	<b>8 800</b>	<b>133 337</b>	<b>38 158</b>
	Argentina	3 428		7 260
	Venezuela	4 000	19 000	7 000
	Perú	2 068		6 861
<b>Total Mundial</b>		<b>709,933,699</b>	<b>12,160,802</b>	<b>3,820,651</b>

<sup>1</sup>FAO, 1999.

El consumo de leche natural es común en África y Asia donde se concentra el 92% de la población caprina mundial (FAO, 2001), la leche de cabra se industrializa como queso en Francia, España, Grecia e Italia, se utiliza para la fabricación de subproductos como cajeta y dulces en México y como leche ácida y fermentada en Irán. El queso ha adquirido cada vez más popularidad y de acuerdo a la FAO en 1997 se produjeron 315 mil toneladas en el mundo. El consumo de leche de cabra se está extendiendo a los niños con reacciones alérgicas a la leche de vaca y en adultos con problemas gastroentéricos, debido a sus propiedades hipoadérgicas (Arbiza y de Lucas, 2001).

En México las mayores concentraciones de caprinos se observan en Oaxaca, Puebla y Guerrero; al norte de Zacatecas y Saltillo, sur de Coahuila y San Luís Potosí. Para ello existen razones tales como la buena adaptación de la especie a esas zonas ecológicas (determinada por su etología), factores socio-culturales y político-económicos (Arbiza y de Lucas, 2001).

La caprinocultura extensiva, en general se caracteriza por una limitada aplicación de tecnología, lo cual ha generado un mal manejo de los agostaderos y con la consecuente sobrecarga de animales que ha degradado el tapiz vegetal, haciendo que hoy predominen arbustos y hierbas de bajo valor alimenticio. Las preferencias de consumo de los caprinos varía según las especies vegetales predominantes en el área de explotación, algunos de buen valor nutritivo como la *Acacia* sp. (*rigidula*, *farnesiana*, etc.), *Prosopis* sp., *Opuntia* sp., gramíneas del tipo *Bouteloa* sp. (*hirsuta*, *gracilis*, etc.) y algunas otras menos valiosas (Mellado *et al.*, 1991; Ramírez, 1994). La relación entre los herbívoros y las plantas no siempre se considera dañina y las cabras como algunos otros herbívoros mantienen un equilibrio demográfico en las plantas que utilizan, estas interacciones regulan el tamaño de las poblaciones e influyen en el control biológico de malezas, manteniendo un equilibrio en el ecosistema. La presencia de otros herbívoros, la competencia entre las especies de plantas, la disponibilidad de recursos y la variabilidad climática determinan la composición del pastizal y la supervivencia de las especies que se encuentran en él (Soberón, 2002).

En consecuencia es posible que en ciertas épocas del año y en ciertos tipos de vegetación, la cabra (principalmente la lactante) gaste mas energía en sus caminatas (pastoreo de 6 a 10 horas por día) que la que puede consumir durante las mismas. En general en el agostadero son bajos los niveles de ingestión de energía (Ramírez *et al.*, 1993), mientras que los de proteína, que se mantienen con valores más constantes durante todo el año, gracias a que el consumo de los animales consiste principalmente del ramoneo en arbustos leguminosos.

Un nicho particular y tradicional de las cabras en el país lo constituye la región del Bajío, entre los estados de Querétaro y Guanajuato, donde se conjugan áreas de semiárido y tierras agrícolas muy ricas, lo que ha permitido el desarrollo de una caprinocultura más tecnificada. Esta región junto con la comarca Lagunera abastece a la industria quesera y de dulces de leche, así como de animales para pie de cría y cabritos para abasto. Esta región ostenta el mejor desarrollo caprino, con objetivos claros de producción (más de 800 kg. de leche por hembra anuales), con razas definidas (tipo Alpino, Toggenburg, Sannen y Anglo Nubia) y con sistemas cada vez más eficientes (Arbiza y de Lucas, 2001).

## **La producción y el metabolismo de los rumiantes**

El sistema de producción intensiva tiene como objetivo lograr que los animales expresen su potencial máximo de producción de los animales, sin que ello ponga en riesgo su salud o bienestar. Esto no podrá conseguirse si se desconocen los requerimientos nutricionales y los períodos en los que la suplementación adicional se hace necesaria.

La cabra lechera al igual que otros mamíferos inicia su ciclo productivo con la lactación, que es el resultado de un parto y este a su vez de una preñez que incluye eventos como la ovulación, supervivencia embrionaria y desarrollo del tejido secretor en la glándula mamaria (Landau, 2007). Todos estos eventos dependen en los rumiantes de la energía provista por los ácidos grasos volátiles (AGV), productos finales de la fermentación ruminal y principales fuentes de energía para los rumiantes, así como de la proteína de la dieta, la proteína microbiana y la energía proveniente de toda la materia seca ingerida. En los últimos 20 años el desarrollo de la nutrición ha llevado al estudio de la eficiencia de

diferentes combinaciones de AGV para mantenimiento y producción, la disponibilidad de nutrientes para absorción intestinal y finalmente a la formulación de dietas con cantidades de carbohidratos y proteína ruminal degradables en sincronía (Bas *et al.*, 1994).

En los mamíferos, la gestación y la lactancia representan dos estados fisiológicos durante los cuales diferentes tejidos experimentan una serie de adaptaciones metabólicas para poder cubrir la demanda de nutrimentos que ellos originan. En general el metabolismo del animal tiene que adaptarse de tal manera que los tejidos involucrados, el feto (durante la gestación) y la glándula mamaria (durante la lactación) reciban los nutrimentos necesarios para poder llevar a cabo sus respectivas funciones. Si en dichas adaptaciones los nutrimentos aportados por la dieta no son suficientes para cubrir los requerimientos nutricionales necesarios para el desarrollo del feto o para la síntesis de leche, el animal tendrá que hacer uso de sus reservas corporales, el comportamiento del animal puede entonces verse afectado y suscitarse desórdenes metabólicos como toxemia de la preñez o cetosis (Bauman y Currie, 1980; Bell y Bauman, 1997).

En la vaca lechera, al igual que en la mayoría de los mamíferos el desarrollo del feto bovino es muy lento durante los primeros dos tercios de gestación (siete meses), alcanzando solamente un 40% de su peso final (Bauman y Currie, 1980). Durante el último tercio (los dos últimos meses de gestación) es cuando ocurre el crecimiento más rápido y por lo tanto los tejidos maternos tienen que adaptarse metabólicamente para poder sostener la gran demanda del feto en crecimiento. Esta etapa de desarrollo fetal coincide con el inicio del desarrollo de la glándula mamaria y por lo tanto, se establece una competencia por los nutrimentos entre el feto y dicha glándula. Posteriormente, una vez iniciada la lactación, la demanda de energía para síntesis de leche excede el consumo de la misma, creándose con esto la necesidad de movilizar las reservas corporales, principalmente de lípidos y de aminoácidos (Bauman y Currie, 1980; Bernal, 1982).

La evidencia que demuestra los cambios metabólicos que ocurren para mantener la gestación y la lactancia en rumiantes, está basada principalmente en estudios realizados en vacas lecheras sobre la variación en las concentraciones sanguíneas de algunos metabolitos

y hormonas (Bauman y Currie, 1980). Sin embargo, es difícil determinar si dichas variaciones representan una alteración en las tasas de producción o en las de utilización del metabolito en cuestión (Bernal, 1982). Los metabolitos y hormonas relacionados con el metabolismo energético más comúnmente evaluados incluyen la glucosa, los ácidos grasos no esterificados o ácidos grasos libres (AGL), los triglicéridos, el glicerol, la insulina, el glucagón, la hormona del crecimiento (GH), la prolactina, los glucocorticoides y las catecolaminas (epinefrina y norepinefrina), entre otros (Khan y Ludri, 2002a).

### **El metabolismo de la glucosa en los rumiantes**

El rumiante depende de una gluconeogénesis hepática constante para cubrir sus requerimientos de glucosa, ya que la absorción intestinal de glucosa proveniente de la dieta es casi nula, debido a su fermentación en el rumen. Por lo tanto, es importante que se absorban suficientes precursores de glucosa a través del tubo digestivo. Estos precursores incluyen al ácido propiónico, algunos aminoácidos, el glicerol, los ácidos láctico, valérico e isobutírico (Van Soest, 1994; Sasaki, 2002). En la circulación sanguínea estos compuestos químicos van a ser distribuidos a los tejidos corporales para ser utilizados por el animal conforme el estado fisiológico lo determine. Este proceso está coordinado por el sistema endocrino obedeciendo las mismas señales homeostáticas que en los animales no rumiantes. Por esta razón, en estudios del metabolismo de la mayoría de las especies animales, se determinan las concentraciones plasmáticas de glucosa, ácidos grasos no esterificados, cuerpos cetónicos, glicerol, triglicéridos y hormonas metabólicas (insulina, glucagón, prolactina, hormona del crecimiento, glucocorticoides, catecolaminas, tiroideas, entre otras) (Bernal, 1982; Sasaki, 2002).

La entrada de glucosa a la circulación en cualquier especie, depende del consumo, del tipo de dieta y principalmente del estado fisiológico del animal. Durante la gestación, dicha tasa de entrada está determinada por el consumo de alimento y por la utilización por parte del feto, y durante la lactancia por la utilización de la glándula mamaria para la síntesis de lactosa (Sandabe, *et al.*, 2004). El feto puede utilizar hasta el 40% de la glucosa, y en ovejas durante la lactación la glándula mamaria puede llegar a tomar hasta el 60% (Bergman y Nogue, 1967; Leng, 1970; Van der Walt *et al.*, 1980; citados por Bernal, 1982;

Hove y Blom, 1976).

Durante la lactación las concentraciones de glucosa sanguínea se reducen ligeramente, aun cuando el recambio de glucosa es mayor que durante la preñez; esta disminución puede sugerir que otros tejidos periféricos de la vaca también aumentaron la utilización de glucosa (Bell y Bauman, 1997). Bennink *et al.* (1972) demostraron en vacas lecheras que durante el intervalo de 30 días antes y 30 días después del parto, la tasa de entrada de glucosa sanguínea aumentó de 1.5 kg/día a 2.6 kg/día, mientras que el porcentaje de glucosa oxidada a CO<sub>2</sub> (bióxido de carbono) disminuyó de 35.3% a 11%. El aumento en la demanda de glucosa que se establece durante el último tercio de la gestación puede explicarse, ya que en la oveja por ejemplo, se considera que el feto consume del 40 al 70% de la glucosa metabolizada por su madre (Khan y Ludri, 2002b; Prosser, 1996), al inicio de la lactancia la gran demanda de glucosa para la síntesis de leche ocasiona un aumento en la tasa de gluconeogénesis. Si la absorción a través del tracto digestivo de precursores de glucosa es insuficiente, éstos tendrán que ser obtenidos de manera endógena (Sandabe *et al.*, 2004). Es aquí cuando la coordinación de la partición de nutrimentos puede fallar, produciéndose así desórdenes metabólicos.

## **El metabolismo de lípidos en los rumiantes**

Los ácidos grasos en el rumiante se sintetizan a partir del ácido acético proveniente de la fermentación ruminal de las paredes celulares de los forrajes. También se pueden utilizar el ácido butírico, el ácido β-hidroxibutírico, el ácido láctico y el pirúvico (Van Soest, 1994). Cuando existe un exceso de energía en la dieta, ésta es almacenada en el tejido adiposo en forma de triglicéridos. En caso de que se genere un requerimiento de energía superior a su consumo, el animal tiene que movilizar sus reservas corporales (Harvey *et al.*, 2005). Estas reservas incluyen el glucógeno y a los triglicéridos, siendo estos últimos los de más importancia en el rumiante, porque sus reservas de glucógeno son limitadas (Bell y Bauman, 1997). La utilización de los AGL depende principalmente del estado fisiológico del animal, como se ha visto en casos de ayuno prolongado, gestación y lactancia en el rumiante (Bernal, 1982; Dunshea *et al.*, 1989).

Durante el inicio de la lactación, cuando la vaca se encuentra en balance negativo de energía, la movilización de AGL del tejido adiposo aumenta drásticamente (Bell y Bauman, 1997). La actividad de la lipasa lipoproteica y la tasa de síntesis de triglicéridos en la glándula mamaria se incrementan hasta 94 veces en vacas gestantes y solamente 16 veces durante la lactación, mientras que en el tejido adiposo estas actividades están disminuidas (Shirley *et al.*, 1973 citado por Bernal, 1982). Si esta movilización es excesiva, la alta tasa de oxidación de los ácidos grasos puede ocasionar una elevada producción de cuerpos cetónicos (CC) en el hígado, produciendo al animal un estado patológico de cetosis (Harvey *et al.*, 2005). El tejido adiposo es en el que ocurren los cambios más importantes para cubrir la gran demanda de energía impuesta por el desarrollo del feto en la gestación y la síntesis de leche durante la lactación (Bauman y Currie, 1980; Danfaer *et al.*, 1995; Bell y Bauman, 1997; Khan y Ludri, 2002a).

Las cabras también son propensas a desórdenes metabólicos como la cetosis durante la gestación. Cuando la cabra tiene más de un producto, la cetosis es más frecuente. La tasa de producción de glucosa (gluconeogénesis) se incrementa durante la gestación tardía, pero este incremento puede ser insuficiente para la cabra (Khan y Ludri, 2002a), debido a que la demanda fetal de nutrientes es alta, y su consumo disminuye hacia el final de la gestación debido a el espacio que ocupan en la cavidad abdominal el feto, liquido y membranas fetales. La demanda energética se incrementa previa al parto por lo menos en un 20% (Arbiza y de Lucas, 2001; Sauvant *et al.*, 2001). Sin embargo, se ha observado que las concentraciones de CC y AGL en plasma de cabras entre la tercera y sexta semana de lactación son mayores que en animales gestantes o después de 16 semanas de lactancia (Ríos *et al.*, 2006), se menciona además que los requerimientos energéticos se pueden llegar a triplicar en el pico de la lactancia (Arbiza y de Lucas, 2001).

Por otro lado, un exceso de energía durante las primeras fases de la preñez puede ser deletéreo para los embriones. Considerando que la escasez de energía comience después de los 30 días de preñez, puede tolerarse y debe compensarse al final de la misma. La privación severa de energía durante el tercer mes de gestación está asociada a un incremento en la pérdida de embriones (Mani *et al.*, 1992). De acuerdo a la magnitud de la

lipólisis al final de la preñez, la cabra puede tener una mejor producción de leche, ganar peso y lograr mayor supervivencia embrionaria. La extrapolación de resultados de estudios realizados en otras especies a las cabras debe hacerse con cuidado, debido a las diferencias que existen en la partición de nutrientes entre las especies de rumiantes e incluso dentro de genotipos de cabras (Landau *et al.*, 2007).

### **Hormonas metabólicas involucradas**

Existen algunos estudios en rumiantes que han permitido conocer su patrón normal respecto a las concentraciones de las hormonas metabólicas a través de diferentes estados fisiológicos, bajo diferentes condiciones ambientales y con diferentes patrones de alimentación (Bernal, 1982; Sasaki, 2002). Las hormonas que más participan en la regulación del metabolismo energético de los rumiantes son la insulina, el glucagón, la hormona del crecimiento (GH), la prolactina, los glucocorticoides y las catecolaminas (Balikci *et al.*, 2007; Danfaer, 1995; Ganong, 2000; Guyton, 2001).

La insulina juega un papel importante en la homeostasis de la glucosa en los mamíferos, incluyendo a los rumiantes. Aunque en éstos últimos el efecto de la insulina sobre la utilización de la glucosa es menos marcado que en los no rumiantes, esto sugiere que la disminución en los niveles circulantes de insulina reduce la actividad sintética de los tejidos periféricos del rumiante (Bernal, 1982), sin embargo, se considera que existe una relación estrecha entre la concentración de insulina en plasma y la tasa de recambio de glucosa que demuestra que la insulina es un importante regulador de la utilización de la glucosa en el metabolismo anabólico (Bernal y Bauman, 1982). Se ha observado que la insulina estimula en los rumiantes la síntesis de lípidos a partir de glucosa y acetato, pero no se ha establecido de manera clara que la insulina inhiba la lipólisis (Bell y Bauman, 1997).

En el hígado, el glucagón estimula la glucogenólisis al activar la adenilato-ciclase e incrementar el monofosfato cíclico de adenosina (cAMP) intracelular y de esta manera se aumenta la degradación de glucógeno hepático aumentando la glucosa plasmática. Sin embargo, no se produce este efecto en el músculo. El glucagón incrementa la

gluconeogénesis a partir de los aminoácidos disponibles en el hígado. El glucagón también estimula la secreción de la hormona del crecimiento e inhibe la secreción de insulina (Ganong, 2000; Lehninger, 2001; McCutcheon y Bauman, 1986; Sechen *et al.*, 1990).

La hormona del crecimiento (GH) incrementa la salida de glucosa hepática y ejerce un efecto antiinsulínico en el músculo e incrementa la lipólisis aumentando los AGL circulantes en plasma, que pueden proporcionar energía a los tejidos durante la hipoglucemia y como respuesta a los estímulos estresantes. La GH, no estimula de manera directa a las células  $\beta$  del páncreas, pero aumenta su capacidad para responder a los estímulos insulinogénicos como la glucosa, a través del factor de crecimiento similar a la insulina tipo I (IGF-I). La GH, la prolactina y los glucocorticoides se relacionan con el desarrollo y proliferación del tejido mamario (Ganong, 2000; Guyton, 2001).

La epinefrina (adrenalina) y la norepinefrina (noradrenalina), además de sus funciones en el sistema cardiovascular y nervioso, tienen varios efectos sobre el metabolismo: aumentan la concentración de glucosa en plasma estimulando la glucogenólisis en el hígado y en el músculo mediante la activación de la enzima adenilato-ciclasa (Ganong, 2000; Harvey *et al.*, 2005). También son lipolíticas y el efecto de la noradrenalina se ha evaluado en tejido adiposo de bovino y se ha encontrado que la respuesta lipolítica de la norepinefrina aumenta progresivamente durante el intervalo de 20 días antes a 28 días después del parto, siendo en general la respuesta hasta 10 veces mayor en los animales lactantes que en los animales gestantes. Se ha encontrado que después de una inyección de noradrenalina, la concentración sanguínea de AGL y glicerol se incrementó de una manera considerable en vacas lactantes en comparación con vacas gestantes (Bernal y Bauman, 1982).

Los aumentos en las concentraciones de CC y AGL se han relacionado con un déficit en el consumo de energía de las cabras o una elevada producción de leche (Khan y Ludri, 2002b). Esto indica que se realizan cambios metabólicos considerables en el animal, sin embargo, no se ha identificado a qué nivel o en qué momento se inician. Por lo tanto, es de suma importancia conocer el estado fisiológico y saber en qué momento el animal

requiere de un mayor aporte de nutrimentos.

En la cabra existe poca información que permita conocer cuál es su situación metabólica en el período alrededor del parto, el cual se sabe que determinará la productividad del animal una vez establecida la lactancia (Drackley, 1999). Estudios sobre el control del metabolismo de energía en la vaca lechera en el periodo alrededor del parto, han sentado las bases para establecer programas de alimentación y manejo que previenen y disminuyen la presentación de desórdenes metabólicos al momento del parto y reditúan en una buena producción de leche (Drackley, 1999). Por otro lado, la eficiencia con que se aprovechan los nutrimentos que se les proporcionan a los rumiantes tiene como consecuencia una disminución en la excreción de elementos que son contaminantes para el medio ambiente, como el caso del exceso de nitrógeno en forma de amoníaco en la orina, resultado de la transaminación que ocurre cuando existe una deficiencia de energía o de exceso de emisiones de metano a la atmósfera, debido a un patrón de fermentación ruminal deficiente (Twardock, 1977, Weimer *et al.*, 1999).

### **III. OBJETIVOS**

Objetivo general:

Conocer algunos de los cambios relacionados con la homeostasis energética de la cabra lechera durante el intervalo de 6 semanas preparto hasta 6 semanas posparto, mediante la respuesta a dos desafíos metabólicos *in vivo*.

Objetivos particulares:

Evaluar la tolerancia a la glucosa aplicada vía intravenosa de la cabra lechera (desafío de glucosa) y su efecto sobre la concentración plasmática de glucosa, ácidos grasos libres y de insulina.

Evaluar el efecto de una inyección vía intravenosa de L-epinefrina (desafío de epinefrina) en la concentración plasmática de glucosa, ácidos grasos libres y de insulina.

## IV. MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización del estudio

El experimento se realizó en las instalaciones de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Ciencias Naturales, en el Campus de Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, que se encuentra ubicado al norte del poblado de Amazcala en la delegación Emiliano Zapata con asentamiento en La Griega, en el municipio de El Marqués, Querétaro (Figura 1).

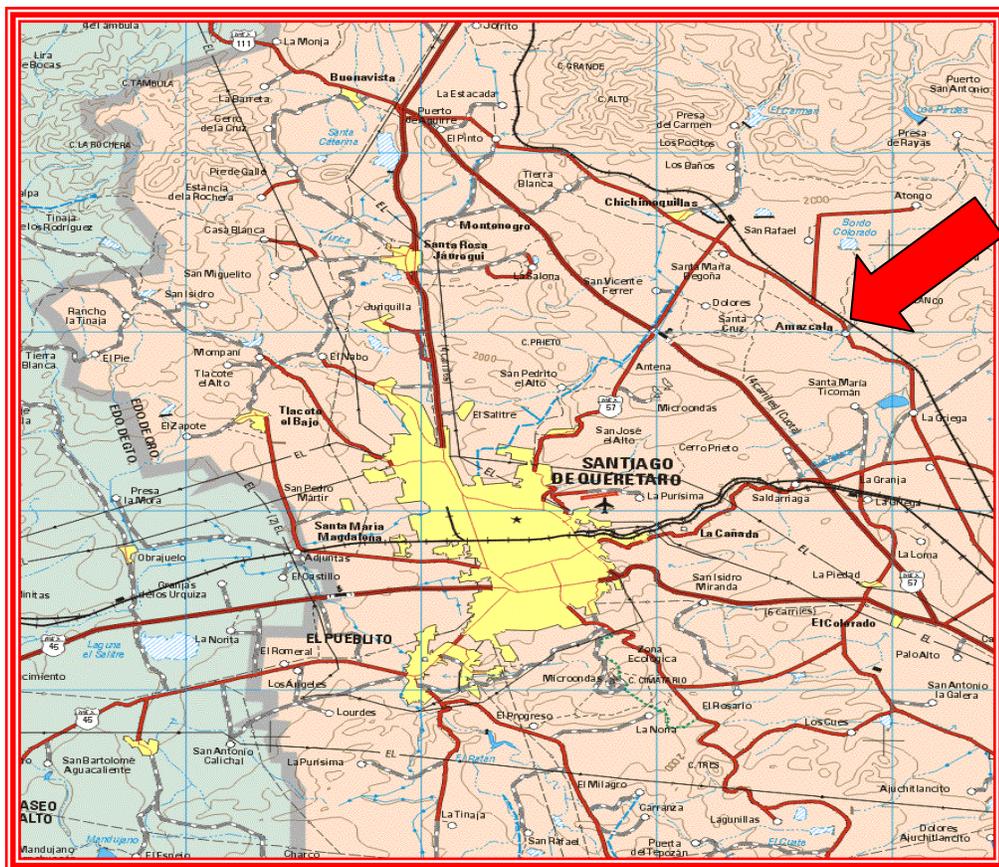


Figura 1. Localización del Campus de Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro

Se encuentra a una altitud de 1820 metros a nivel del mar y a  $20^{\circ} 35'48''$  latitud norte y  $100^{\circ} 24'48''$  longitud oeste. En esta locación predomina el clima correspondiente a Bek 444 con clima seco templado BS1kw y seco semiárido Bsoh. Teniendo una

precipitación pluvial anual de 400 a 500 mm, con temperaturas en el rango de 16 a 20°C (Pueblosamerica, 2008).

### Animales experimentales

Se emplearon seis cabras adultas multíparas de la raza Nubia propiedad de la Universidad Autónoma de Querétaro, con un promedio de 2 lactancias y 1.68 crías por parto, en partos previos. También se incluyó un grupo de 2 cabras no-gestantes y no-lactantes para comparar este estado fisiológico con los animales en gestación y lactantes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de las cabras experimentales.

No. de cabra	Edad (meses)	No. de lactación	Promedio de crías por parto
17	51	2	2
668	-	2	1.5
801	45	2	2
802	30	2	1
803	33	2	2
804	29	2	2
-----			
No gestantes-no lactantes			
11	45	2	1
614	30	2	2

Las cabras fueron sincronizadas para presentar estro utilizando esponjas intravaginales de 45 mg de acetato de fluorogestona (Chronogest®, Intervet) siguiendo el protocolo recomendado por el laboratorio Intervet, que consiste en retirar las esponjas a los 12 días seguida por la aplicación intramuscular de 250 UI de gonadotropina sérica (Folligon®, Intervet). Veinticuatro horas posteriores a esta inyección, los animales se expusieron a la monta natural (3 montas) previa detección del celo. El diagnóstico de gestación se realizó por medio de ultrasonido (RENKO®) a los 60 días postservicio y se reconfirmó por palpación abdominal a los 85 días.

Durante los primeros 92 días de gestación los animales pastorearon con el resto del rebaño. Seis semanas previas a la fecha calculada como probable de parto, los animales se separaron del rebaño y fueron estabulados en corraletas techadas con piso de tierra,

provistos con bebedero automático y comedero de cemento (Figura 2), se trataron contra parásitos internos y externos (1 ml de Ivermectina por cada 50 kg. de peso vivo, aplicando dos dosis con un intervalo de 15 días entre ambas) y se inició el período experimental relativo a la administración de los desafíos. Durante este período de gestación y ya estabulados, los animales recibieron una ración integral a base de heno de alfalfa, pata de sorgo, pasta de soya, maíz molido, melaza y premezcla mineral, con un 15 % de proteína cruda y 2.6 Mcal/kg de energía bruta para cubrir sus necesidades nutricionales conforme a lo estipulado por el National Research Council (1981). En el Cuadro 3 se presenta la composición porcentual y química de esta ración. Después del parto las cabras se alojaron individualmente con sus crías y recibieron una ración integral para el periodo de lactación Cuadro 3. Ambas raciones fueron extrudidas (CIATEQ, A.C). Durante todo el experimento el alimento se ofreció a libertad una vez al día (a las 07:00 horas), registrándose diariamente el consumo individual.



Figura 2. Corraletas experimentales para las cabras

Cuadro 3. Composición porcentual y química de las raciones ofrecidas a cabras Nubia en la gestación y la lactancia.

INGREDIENTE (%)	GESTACIÓN	LACTANCIA
Alfalfa	37	30
Pata sorgo	25	10
Pasta soya	10	10
Maíz molido	17	37
Melaza	8	10
Minerales	3	3
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>		
Materia seca (%) <sup>1</sup>	94	94.9
Proteína cruda (%) <sup>1</sup>	14.9	15.3
Energía bruta (Mcal/kg) <sup>1</sup>	2.6	2.8
Fibra detergente neutro (%) <sup>2</sup>	55.8	53
Fibra detergente ácido (%) <sup>2</sup>	28.6	22.9

<sup>1</sup>AOAC, 2001.

<sup>2</sup>Robertson y Van Soest, 1981.

Las dos cabras no gestantes y no lactantes recibieron el mismo manejo que los animales experimentales durante el periodo de gestación y se mantuvieron estabuladas solamente durante las dos ocasiones en que se realizaron los desafíos.

El día posterior al parto todos los animales se pesaron individualmente y los cabritos se identificaron por medio de un collar con el número correspondiente al manejo del hato. Durante el periodo de lactación las cabras se ordeñaron mecánicamente con una ordeñadora portátil Flaco® de un punto con dos unidades de tipo pendular, una vez a las 06:00 horas diariamente, se registró la producción individual de leche y cada semana se obtuvieron muestras individuales de leche de los animales durante los desafíos. Posteriormente se registró la producción semanal hasta el día 130 posparto. Las crías permanecieron con sus madres durante el día para alimentarse y se les retiraban a las 15:00 horas, colocándose en cajones de crianza para protegerlas de los cambios del medio ambiente y para que no se alimentaran de la madre (Figura 3), lo cual representa el manejo general del rebaño en el Campus Amazcala. Las muestras de leche se tomaron en viales de 20 ml, se les agregó un conservador (Bromopol) y se congelaron a -20 °C. Posteriormente se determinó su concentración de proteína total y grasa de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (2000), en el laboratorio del Centro de Salud Animal “Ángel Usabiaga

Villanueva” dependiente de la Unión Ganadera Regional de Guanajuato localizado en Celaya, Gto.



Figura 3. Cajón de crianza de los cabritos

### **Desafíos metabólicos**

Se comparó la respuesta a los dos desafíos metabólicos durante dos estados fisiológicos: último tercio de la gestación y las primeras 6 semanas de la lactancia. Dentro de cada estado fisiológico, se evaluaron tres períodos: -6, -4 y -2 semanas preparto y 2, 4 y 6 semanas posparto. Tres de las cabras abortaron 2 semanas antes de la fecha programada de parto, por lo que no presentan valores para el periodo -6 preparto. Los días en que se realizaron los desafíos se muestran en el Cuadro 4.

Los desafíos metabólicos que se administraron durante dos días consecutivos en cada uno de los períodos preparto y posparto, consistieron en una inyección intravenosa (IV) de 250 ml de una solución de glucosa al 25% (62.5 g de glucosa total) el primer día y una inyección IV de L-epinefrina (0.7  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ . de peso) el segundo día, las dosis para cada animal se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Días en que se realizaron los desafíos metabólicos.

CABRAS	PERIODOS					
	PREPARTO			POSPARTO		
	-6	-4	-2	2	4	6
17	-44	-37	-16	+14	+28	+42
668	-44	-37	-16	+14	+28	+42
803	-44	-37	-16	+14	+28	+42
801	--	-18	-4	+10	+24	+38
802	--	-17	-3	+11	+25	+39
804	--	-20	-6	+15	+29	+43
-----						
No gestantes-no lactantes						
11	--	--	--	+15	+22	--
614	--	--	--	+15	+22	--

Cuadro 5. Dosis administradas en las cabras para los desafíos metabólicos.

CABRAS	PREPARTO			POSPARTO		
	Peso corporal (kg)	Glucosa <sup>1</sup> (g)	L-epinefrina <sup>2</sup> (µg)	Peso corporal (kg)	Glucosa <sup>1</sup> (g)	L-epinefrina <sup>3</sup> (µg)
17	50.55	62.5	35.39	41.00	62.5	28.70
668	60.70	62.5	42.49	58.00	62.5	40.60
801	45.50	62.5	31.85	41.60	62.5	29.12
802	53.20	62.5	37.24	50.95	62.5	35.67
803	57.35	62.5	40.15	58.00	62.5	40.60
804	59.55	62.5	41.69	56.45	62.5	39.52
-----						
No gestantes-no lactantes						
11	53.95	62.5	37.77			
614	54.90	62.5	38.43			

<sup>1</sup> La dosis de glucosa se determinó al iniciar el proyecto y fue la misma para todos los animales durante todo el experimento<sup>2</sup> Dosis utilizadas para los períodos preparto calculadas con el peso inicial de los animales (0,7 µg / kg de peso corporal)<sup>3</sup> Dosis utilizadas para los períodos posparto calculadas con el peso posparto de los animales (0,7 µg / kg de peso corporal)

Los desafíos se administraron durante 2 días consecutivos en cada uno de los periodos, siguiendo la secuencia de glucosa (día 1) y epinefrina (día 2).

Para facilitar la administración de los desafíos así como la toma de muestras sanguíneas, al inicio de cada periodo experimental se colocaron cánulas (Subclavicat radiopaco catéter central cal 18G x 30.5) en la vena yugular de los animales (Figura 4), las cuales se mantuvieron funcionales entre cada toma de muestra mediante el uso de una solución anticoagulante de EDTA al 1% en solución salina fisiológica.



Figura 4. Canulación en la vena yugular de cabras Nubia

Se obtuvieron 10 muestras de sangre durante el día en que se efectuó cada uno de los desafíos, tomándose a los 30, 15 y 0 minutos antes de la inyección y subsecuentemente a los 5, 10, 30, 60, 90, 120 y 240 minutos después de la inyección, tal como se muestra en la Figura 5. Las muestras fueron colectadas con jeringas hipodérmicas directamente de la cánula y transferidas a tubos conteniendo EDTA al 1%, se centrifugaron a 5000 rpm y el plasma obtenido se congeló en microtubos a  $-20^{\circ}\text{C}$  para su análisis posterior.

La muestra tomada inmediatamente antes de la inyección se consideró como la número cero. Se establecieron como criterios de respuesta a los desafíos metabólicos los cambios en las concentraciones plasmáticas de glucosa, AGL e insulina.

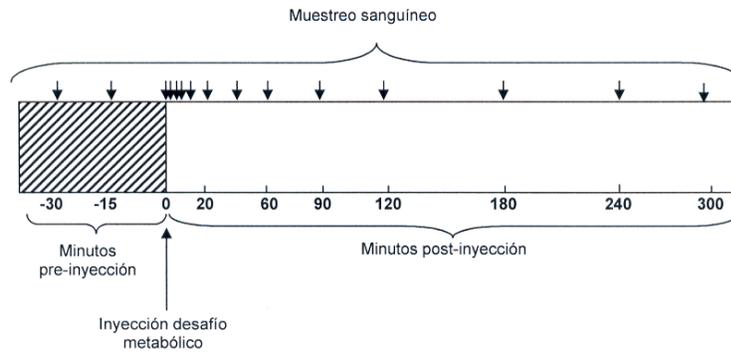


Figura 5. Muestreo sanguíneo relativo a la administración de cada desafío. Las flechas indican el momento de la toma de muestra; las tres muestras pre-inyección representan los valores basales de cada metabolito u hormona.

### **Análisis de muestras sanguíneas**

La concentración de glucosa en plasma se determinó por el método enzimático de la Glucosa-Oxidasa, utilizando los paquetes comerciales HYCEL® (No. 70478 Thermo Trace laboratories) y RANDOX® (Randox Laboratories). La concentración de AGL se determinó con el método enzimático RANDOX® NEFA-C (Randox Laboratories). Todas las mediciones espectrofotométricas se realizaron empleando el equipo Agilent® 8453. La concentración plasmática de insulina se determinó mediante el método de radioinmunoanálisis heterólogo de doble anticuerpo, con un estuche desarrollado para fines de investigación en animales de laboratorio y de interés pecuario (Estuche de radioinmunoanálisis para la cuantificación multiespecie de insulina desarrollado por el Dr. Eulises Díaz Díaz y col., en el Instituto Nacional de la Nutrición “Salvador Zubirán”, México, D.F.).

### **Estimación de parámetros metabólicos**

La respuesta de la glucosa plasmática al desafío de glucosa se analizó comparando la tasa de utilización de la glucosa expresada como  $t_{1/2}$  y la concentración al tiempo cero ( $t_0$ ) durante todos los periodos. Para estimar  $t_{1/2}$ , expresada como minutos, se calculó la curva de regresión entre los valores obtenidos después de la inyección transformados a logaritmos (ajustados de acuerdo a la concentración basal de glucosa  $t_0$ ) y el tiempo de muestreo

sanguíneo. La pendiente (k) de la regresión (tasa de desaparición) se utilizó para calcular  $t_{1/2}$  de acuerdo a la ecuación propuesta por Twardock (1977):  $t_{1/2} = \ln 2/k$ . La concentración instantánea al tiempo cero ( $t_0$ ) expresada como mg/dl de glucosa, se obtuvo calculando el antilogaritmo del intercepto “a” en el eje de la "y" de la misma ecuación de regresión (se muestra un ejemplo de los cálculos en el Anexo 1). Las concentraciones plasmáticas de AGL e insulina se graficaron contra el tiempo de muestreo y se calcularon las áreas bajo la curva utilizando el programa Easy Plot (Easy Plot Spiral Software & MIT Versión 4.0.5 Free Trial, 2005), expresándose para insulina en  $\text{ngml}^{-1} \text{ min}$  y para AGL en  $\text{mmol l}^{-1} \text{ min}$ .

Para el desafío de epinefrina se evaluaron los cambios en las concentraciones de glucosa, ácidos grasos libres y de insulina siguiendo la misma metodología que para el desafío de glucosa.

### **Análisis Estadístico**

Los resultados de los parámetros evaluados se sometieron a un análisis de varianza para un diseño de mediciones repetidas (Daniel, 2006) de acuerdo al modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + t_j + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = población

$\mu$  = constante desconocida o media

$\beta_i$  = representa el efecto del bloque o individuos

$t_j$  = representa el efecto de un tratamiento

$e_{ij}$  = representa el error o todas las fuentes de variación que no son tratamientos ni bloques.

Donde se detectaron diferencias estadísticas, se compararon las medias empleando la prueba de Duncan (Daniel, 2006). Se utilizaron los procedimientos GLM y DUNCAN del paquete estadístico SAS (2001).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros productivos de los animales experimentales

Los parámetros productivos de los animales se presentan en el Cuadro 6, los valores representan las medias  $\pm$  su desviación estándar (DE). Tres de las cabras abortaron 2 semanas previas a la fecha calculada para el parto, por lo que no presentan valores para el periodo -6 semanas preparto. El peso corporal de las cabras fue diferente a través de los periodos experimentales, empezando a perder peso a partir del inicio de la lactancia. Los pesos promedio a las 6 semanas preparto y un día después del parto fueron similares,  $54.5 \pm 5.8$  kg y  $51.0 \pm 7.9$  kg, respectivamente, pero diferentes al de las 6 semanas posparto ( $43.8 \pm 6.9$  kg), observándose una diferencia significativa en este periodo ( $P < 0.01$ ). Esta pérdida de peso puede atribuirse esencialmente a la producción de leche, considerando también que el consumo de materia seca disminuye hacia el final de la gestación, debido principalmente a la compresión que el feto ejerce sobre el rumen. Después del parto desaparece este efecto, y la capacidad de consumo es influenciada por la distensión paulatina del rumen (Sandabe *et al.*, 2004), por lo que la cabra no alcanza a cubrir sus requerimientos de materia seca y por ende de los demás nutrimentos en las primeras semanas posparto. Además existe un incremento en la demanda energética debido al inicio de la producción de leche que puede llegar a triplicarse en el pico de la lactancia (Arbiza y de Lucas, 2001; Sauviant *et al.*, 2001). Estos factores en conjunto pueden explicar la pérdida de peso observada en los animales (Cuadro 6).

Los consumos de materia seca no fueron diferentes entre los estados fisiológicos evaluados ( $P > 0.1$ ), siendo las medias correspondientes ( $\pm$ DE) de  $1.48 \pm 0.4$ ,  $1.78 \pm 0.4$ ,  $1.87 \pm 0.3$ ,  $1.71 \pm 0.4$ ,  $1.79 \pm 0.5$  y  $2.0 \pm 0.3$  kg, para las -6, -4, -2, +2, +4 y +6 semanas relativas al parto (Cuadro 6). Estos consumos para las cabras lactantes estuvieron por debajo del nivel recomendado por el NRC (1981), el cual indica que en cabras con un nivel de actividad bajo y una producción diaria de 2.5 l en promedio, el consumo debe ser entre el 4 y el 5% del peso corporal, lo que para los animales del presente estudio correspondería para los periodos de +2 y +4 semanas posparto a 2.18 y 2.04 kg de MS, respectivamente. En las cabras lecheras el pico de producción de leche y el consumo

máximo de materia seca se alcanzan alrededor de 8 a 12 semanas posparto (Arbiza y de Lucas, 2001). El presente estudio se condujo solamente hasta las 6 semanas posparto, por lo que todavía los animales no alcanzaban su pico de producción de leche ni su máximo consumo de materia seca. Los consumos por cabra por periodo se muestran en el Anexo1.

Cuadro 6. Características productivas de cabras Nubia en diferentes estados fisiológicos.

Periodos <sup>1</sup>	Peso cabras	Consumo MS/día	Producción de leche <sup>2</sup>
Preparto	Kg		
<b>-6</b>	54.5 ± 5.8	1.48 ± 0.4	-
<b>-4</b>	-	1.78 ± 0.4	-
<b>-2</b>	-	1.87 ± 0.3	-
Posparto	51.0 ± 7.9	-	-
<b>+2</b>	-	1.71 ± 0.4	1.27 ± 0.8
<b>+4</b>	-	1.79 ± 0.5	1.26 ± 0.6
<b>+6</b>	43.8 ± 6.9	2.00 ± 0.3	1.22 ± 0.5
No gestantes-no lactantes	53.9	-	-
	54.9	-	-

<sup>1</sup> Semanas relativas al parto, los valores representan la media ± su desviación estándar.

<sup>2</sup> Promedio de la producción obtenida durante la ordeña, todas las cabras.

Valores en la misma columna con distinta literal son estadísticamente diferentes (P<0.01)

En el Cuadro 6 se presenta la producción de leche obtenida durante la ordeña la cual no representa la producción total, debido a que las crías eran alimentadas por sus madres a partir de su regreso de la sala de ordeño y hasta las 3 de la tarde, cuando eran separadas en corraletas de crianza de acuerdo al manejo general del hato. La producción de leche ordeñada fue disminuyendo cada semana un 3%, las medias ( $\pm$ DE) para los periodos +2, +4 y +6 semanas posparto fueron de  $1.27 \pm 0.8$ ,  $1.26 \pm 0.6$  y  $1.22 \pm 0.5$  kg/día respectivamente, no encontrándose diferencias en la producción en la ordeña entre los periodos evaluados. Sin embargo, para las cabras que llegaron al término de la gestación, su producción fue mayor ya que cada una amamantó a sus crías y éstas lograron ganancias de peso en promedio de 5.41 kg durante el experimento. El número de crías promedio por cabra fue de  $2.33 \pm 0.7$ , con pesos promedio al nacimiento de  $2.86 \pm 0.33$  kg para las hembras y  $3.20 \pm 0.25$  para los machos y pesos finales al término del estudio (41 días posparto) de  $8.08 \pm 0.33$  y  $8.80 \pm 0.98$  kg respectivamente (Cuadro 7). Estos incrementos

de peso de las crías son un reflejo de la capacidad productiva de sus madres.

Cuadro 7. Pesos al nacimiento y a las 6 semanas de edad de las crías de las cabras Nubia experimentales.

Cabra	Peso al nacer		Peso final	
	Hembra Kg	Macho Kg	Hembra Kg	Macho Kg
17	--	3.07	--	8.00
17	--	3.03	--	8.50
668	2.63	--	8.10	--
668	2.72	--	7.75	--
668	Muerta	--	--	--
803	3.25	--	8.40	--
803	--	3.49	--	9.90
<b>Media<sup>1</sup></b>	<b>2.86 ± 0.33</b>	<b>3.20 ± 0.25</b>	<b>8.08 ± 0.33</b>	<b>8.80 ± 0.98</b>

<sup>1</sup>Desviación estándar ±

Las lactancias reportadas para la raza Nubia bajo condiciones de estabulación y sin presencia de la cría alcanzan hasta 752 kg por lactancia de 305 días (Arbiza y de Lucas, 2001). Si se considera que la media general de producción de leche durante la ordeña en el presente estudio fue de  $1.2 \pm 0.6$  kg y que un cabrito al amamantarse consume alrededor de 1.5 kg por día en promedio, la producción diaria aproximada promedio en las cabras experimentales podría calcularse en alrededor de los 4.8 kg/día como máximo, encontrándose este valor sobre el promedio para la raza Nubia bajo este sistema.

La composición química de la leche a las +2, +4 y +6 semanas de lactancia se muestra en el Cuadro 8. Durante la segunda semana de la lactancia la composición de la leche es muy parecida a la esperada para la raza Nubia, la cual tiene valores promedio para grasa de 4.1, proteína 3.4, lactosa 4.5 y sólidos de 12.2 %. Para los periodos de +4 y +6 semanas posparto, los valores de grasa de la leche de las cabras del presente estudio de 2.9 y 2.0 % respectivamente, estuvieron por debajo de lo esperado, probablemente debido a la congelación y homogeneización de la muestra, ya que los valores de proteína y lactosa se mantuvieron con valores normales (Cuadro 8).

La cuenta de células somáticas (CCS) en la leche es un indicador de la salud de la glándula mamaria, en el presente estudio el CCS fue disminuyendo conforme avanzó la

lactancia. Lo cual pudo deberse a que las crías se alimentaron de su madre favoreciendo el vaciado de la cisterna del pezón y disminuyendo las posibilidades de infecciones en la glándula mamaria (Pacheco y González, 1991; Ganong, 2000; Arbiza y de Lucas, 2001).

Cuadro 8. Composición química de la leche de cabras Nubia durante las primeras seis semanas de lactación<sup>1</sup>

Periodo	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales	CCS
Semanas posparto	%			Miles/ml	
+1	4.0 ± 1.9	4.1 ± 0.7	4.1 ± 1.0	15.6 ± 2.7	1099.3 ± 452.6
+2	4.0 ± 2.1	4.1 ± 0.4	4.8 ± 0.5	14.0 ± 2.2	661.9 ± 522.1
+3	2.6 ± 2.0	4.3 ± 0.2	5.0 ± 0.3	13.1 ± 2.0	271.8 ± 120.5
+4	2.9 ± 1.2	3.8 ± 0.2	4.9 ± 0.2	12.7 ± 1.6	360.0 ± 111.9
+5	3.0 ± 2.2	3.8 ± 0.1	4.9 ± 0.4	12.8 ± 1.8	297.3 ± 86.9
+6	2.0 ± 0.6	3.6 ± 0.2	4.9 ± 0.3	11.6 ± 1.0	283.7 ± 60.5

<sup>1</sup>Los valores representan la media ± su desviación estándar.

La determinación se realizó utilizando un equipo Fossomatic 5000®. CCS = Conteo celular somático

### Concentraciones basales de glucosa, insulina y ácidos grasos libres en plasma

En el Cuadro 9 se presentan las concentraciones basales de glucosa, insulina y ácidos grasos libres de las cabras durante las semanas relativas al parto en que se aplicaron los desafíos metabólicos. Las concentraciones basales de glucosa e insulina, no presentaron diferencias entre los periodos evaluados ( $P > 0.1$ ), siendo también similares a los de las cabras no gestantes- no lactantes. Sin embargo, para AGL las concentraciones basales fueron mayores ( $P < 0.001$ ) durante las semanas 2 y 4 posparto ( $0.40 \pm 0.2$  y  $0.57 \pm 0.3$  mmol/l). Esto puede ser indicativo de una movilización mayor de tejido adiposo relacionada con un incremento en la demanda de energía para la producción de leche, probablemente porque el consumo de MS no fue suficiente para aportar los nutrimentos necesarios para estas etapas de producción. Los valores que se muestran en el Cuadro 9, concuerdan con los reportados por Turner *et al.* (2005) para glucosa de 66.3 mg/dl para la raza Nubia. Para otras razas como Boer, se han presentado concentraciones de glucosa 59.5 mg/dl con dietas basadas en alfalfa (Turner *et al.*, 2005), en la cruce de Alpina x Beetal

valores de glucosa de  $51.10 \pm 0.85$  y  $62.30 \pm 2.28$  mg/dl, insulina de  $0.7 \pm 0.13$  y  $0.59 \pm 0.06$  ng/ml (estos valores son más altos que los obtenidos en este estudio, pero mas bajos que los reportados para la raza Alpina de 1.3 ng/ml por Fernández *et al.*, en 1997) y AGL de  $0.22 \pm 0.02$  y  $0.19 \pm 0.01$  mmol/l valores para animales gestantes y no gestantes respectivamente (Khan y Ludri, 2002b); para la raza Sahel, glucosa de  $63.35 \pm 7.70$  mg/dl y AGL  $0.38 \pm 0.002$  mmol/l para animales gestantes (Sandabe *et al.*,2004). Para Sannen glucosa de  $59 \pm 5$  mg/dl y AGL de  $1.05 \pm 0.08$  mmol/l en un estudio realizado para evaluar estos parámetros (Chang y Young, 1992), en la raza Gwenbe los valores para glucosa fueron de 65.1 a 67.8 mg/dl y dependieron del tipo de dieta que les fue proporcionada a base de cacahuete o soya (Aregheore, 2001) y en la raza Alpina los valores fueron de 74.1 mg/dl para glucosa, AGL 0.127 mmol/l e insulina 1.3 ng/ml (Fernández *et al.*,1997).

Cuadro 9. Concentraciones basales de glucosa, insulina y ácidos grasos libres en plasma de cabras Nubia en diferentes periodos alrededor del parto.<sup>1</sup>

Periodo	Semanas relativas al parto	N	Glucosa <sup>2</sup> mg/dl	Insulina <sup>2</sup> ng/ml	Ácidos grasos libres <sup>2</sup> mmol/ l
Preparto	-6	3	$93.2 \pm 35.7$	$0.22 \pm 0.1$	$0.13^c \pm 0.1$
	-4	6	$70.3 \pm 23.9$	$0.25 \pm 0.2$	$0.20^{bc} \pm 0.2$
	-2	6	$70.1 \pm 22.1$	$0.24 \pm 0.2$	$0.17^{bc} \pm 0.1$
Posparto	+2	6	$88.4 \pm 42.3$	$0.33 \pm 0.4$	$0.40^{ab} \pm 0.2$
	+4	6	$71.2 \pm 23.6$	$0.25 \pm 0.4$	$0.57^a \pm 0.3$
	+6	6	$82.2 \pm 29.4$	$0.28 \pm 0.3$	$0.17^{bc} \pm 0.1$
No gestantes-no lactantes		2	$76.1 \pm 13$ $73.1 \pm 6$	$0.33 \pm 0.1$ $0.31 \pm 0.1$	$0.61 \pm 0.1$ $0.40 \pm 0.2$

<sup>1</sup>Los valores describen las medias  $\pm$  la desviación estándar

<sup>2</sup>Valores promedio de las tres muestras pre-inyección de cada uno de los desafíos.

<sup>a b c</sup>Valores en la misma columna con distinta literal son estadísticamente diferentes (P<0.001)

## Respuesta al desafío de glucosa

En el Cuadro 10 se presenta la respuesta de glucosa, insulina y ácidos grasos libres para el desafío de 62.5 g de glucosa, no habiéndose encontrado diferencias entre los periodos experimentales para glucosa e insulina (P 0.1), pero encontrando diferencias significativas para la concentración de los AGL (P<0.001).

De manera gráfica, en las Figuras 6, 7 y 8 se muestran los promedios de todas las cabras (ajustados a sus concentraciones basales) de las concentraciones de glucosa, insulina y ácidos grasos libres en plasma, respectivamente, en respuesta al desafío de glucosa a través de los 240 minutos post-inyección para los períodos preparto y posparto.

Cuadro 10. Respuesta en la concentración plasmática de glucosa, insulina y ácidos grasos libres al desafío de glucosa en cabras Nubia en diferentes periodos alrededor del parto.

Periodo	Semanas relativas al parto	N	Glucosa <sup>1</sup>		Área integral <sup>2</sup>	
			t <sub>0</sub> mg/dl	t <sub>1/2</sub> min	Insulina ngml <sup>-1</sup> min	Ácidos grasos libres mmol/l <sup>-1</sup> min
Preparto	-6	3	370.2 ± 204.1	10.1 ± 15.4	54.6 ± 75	0.20 <sup>b</sup> ± 0.16
	-4	6	314.1 ± 126.1	6.3 ± 5.6	94.5 ± 19	0.16 <sup>b</sup> ± 0.10
	-2	6	269.1 ± 66.6	4.4 ± 1.7	75.8 ± 26	0.27 <sup>b</sup> ± 0.17
Posparto	+2	6	256.2 ± 77.4	8.0 ± 6.6	84.2 ± 33	0.69 <sup>ab</sup> ± 0.55
	+4	6	290.2 ± 87.2	9.5 ± 7.1	73.4 ± 29	1.01 <sup>a</sup> ± 0.70
	+6	6	279.3 ± 77.3	16.3 ± 11.3	63.7 ± 39	0.43 <sup>b</sup> ± 0.23
No gestantes-no lactantes <sup>3</sup>		2	211.6 ± 8	10.8 ± 3	225.3 ± 156	-2.3
			229.0 ± 62	18.1 ± 19	98.1 ± 56	-1.5

<sup>1</sup>La dosis de glucosa inyectada vía cánula yugular fue de 62.5 g/kg de peso corporal en todos los periodos evaluados

<sup>2</sup>Respuesta calculada con base en la determinación del área debajo de la curva (Easy Plot Spiral Software®).

<sup>3</sup>Solamente se analizaron las concentraciones de un desafío por animal para AGL

<sup>a b c</sup> Valores en la misma columna con distinta literal son estadísticamente diferentes (P<0.001)

En la Figura 6 se aprecia que durante la gestación la concentración de glucosa se incrementó en respuesta a la inyección de glucosa de manera diferente que durante la lactancia, aunque esta diferencia no fue estadística (Cuadro 10).

La respuesta a la inyección de glucosa al tiempo cero (t<sub>0</sub>), considerada como el máximo incremento de glucosa posterior al desafío, no presentó diferencias entre los periodos ni entre todos los animales, incluyendo los no gestantes-no lactantes, aunque los valores de estos animales fueron ligeramente menores. El tiempo que tarda la mitad de la glucosa (glucosa inyectada) en ser utilizada expresada como t<sub>1/2</sub> en minutos y posteriormente en llegar nuevamente a su nivel basal, no fue diferente estadísticamente (P>0.1) entre los periodos evaluados (Cuadro 10). Una tasa alta de desaparición de glucosa

puede indicar un aumento en la tasa de utilización por parte de los tejidos, que en el caso de los periodos preparto fueron el feto y la glándula mamaria y en los periodos posparto solamente la glándula mamaria, pero también puede representar una disminución en la tasa de producción (gluconeogénesis y glucogenólisis hepáticas) o tal vez ambos procesos pueden estar contribuyendo a elevar la tasa de utilización de la glucosa (Bell y Bauman, 1997; Danfaer *et al.*,1995).

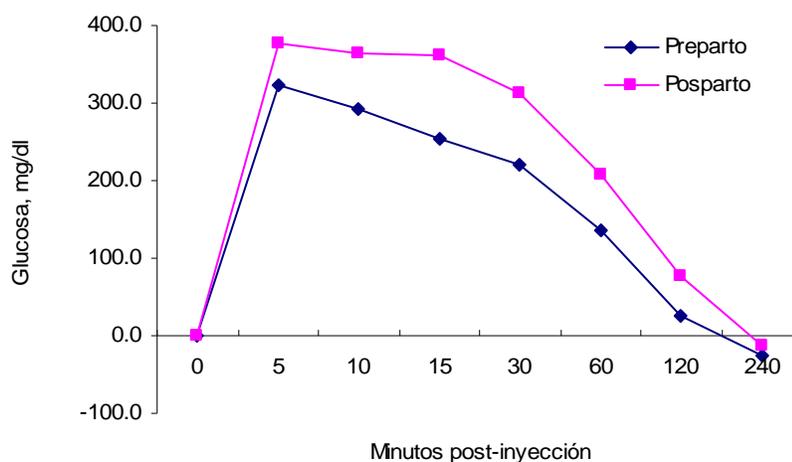


Figura 6. Respuesta en la concentración de glucosa al desafío de glucosa

Sin embargo, en el presente estudio las tasas de utilización o movilización de la glucosa fueron más rápidas en las dos semanas antes y después del parto, mientras que en los otros periodos evaluados la  $t_{1/2}$  fue más lenta (Cuadro 10). Es difícil poder dar una explicación sobre estos resultados, en virtud de la variación que se observó entre los animales, ya que las desviaciones estándar de las medias correspondientes fueron muy grandes.

Con el inicio de la lactación la demanda de glucosa es mayor debido al requerimiento de ésta para la síntesis de lactosa (Chang y Young, 1992), siendo la glándula mamaria la responsable de utilizar de un 60 a un 80% del recambio total de glucosa (Bernal y Bauman, 1982). En vacas lecheras la  $t_{1/2}$  estimada en respuesta a una inyección intravenosa de 125 gr de glucosa fue más rápida cuando los animales iniciaron la lactancia

que durante la gestación (18 vs. 40 min, respectivamente) (Bernal y Bauman, 1982). Esto significa que la glándula mamaria en producción, junto con el sistema nervioso central, tiene preferencia en el uso de la glucosa antes que cualquier otro tejido. En ganado caprino no existen estudios que presenten valores de  $t_0$  y  $t_{1/2}$  que permitan comparar los resultados obtenidos en el presente estudio.

De manera similar, en la Figura 7 se aprecia que la respuesta en la concentración de insulina de los animales gestantes fue ligeramente menor que la de los animales lactantes y ambos grupos regresaron a su concentración basal a los 240 minutos posteriores a la inyección de glucosa. Esta diferencia tampoco fue estadísticamente significativa (Cuadro 10).

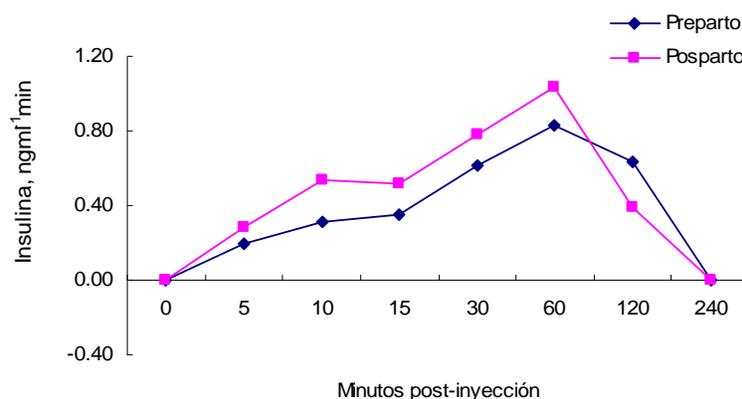


Figura 7. Respuesta en la concentración de insulina al desafío de glucosa

La administración de la glucosa ocasionó un aumento por arriba de las concentraciones basales de insulina durante todos los periodos (Cuadro 10), sin observarse diferencias significativas ( $P > 0.1$ ) en ninguno de ellos, incluyendo a los animales no gestantes-no lactantes. Al igual que en la tasa de utilización de la glucosa ( $t_{1/2}$ ), la variación en la respuesta de insulina de los animales a este desafío fue muy alta, evitando el poder detectar diferencias significativas entre los periodos de estudio. La sensibilidad de los tejidos a la insulina durante los diferentes periodos puede variar. Chang y Young (1992) demostraron que con la aplicación de 4 UI /kg de peso vivo de insulina a cabras Sannen durante las semanas 1 a 3 posparto, se deprimen los niveles de glucosa significativamente

( $P < 0.05$ ) y con una infusión de 50 g de glucosa en solución al 20% con suero salino, aplicada vía endovenosa en la yugular, también se obtuvieron niveles de ácidos grasos libres significativamente menores en los mismos periodos ( $P < 0.05$ ). Esto probablemente muestra que la lactancia tiene un efecto importante sobre la sensibilidad de los tejidos para que respondan a estímulos externos como los desafíos metabólicos empleados en el presente estudio. El desafío de glucosa provocó un incremento en la secreción de insulina por arriba de las concentraciones basales, aunque no en la magnitud que se hubiera esperado acorde con el incremento en la concentración de glucosa observado.

Las concentraciones de ácidos grasos libres se modificaron en respuesta a la inyección de glucosa y de manera diferente entre los periodos evaluados ( $P < 0.001$ ). En la Figura 8, se aprecia como la respuesta de los ácidos grasos libres en plasma a la inyección de glucosa fue diferente tanto en magnitud como en el patrón de liberación entre el preparto y el posparto. En promedio, durante los tres periodos preparto, la producción de AGL fue de  $0.21 \text{ mmol/l}^{-1}\text{min}$ , mientras que en los tres periodos posparto fue de  $0.71 \text{ mmol/l}^{-1}\text{min}$  (Cuadro 10). Esta respuesta al desafío de glucosa no es la que se esperaba puesto que un incremento en la concentración de glucosa debería deprimir la concentración de AGL circulantes, debido al efecto antiglucofítico de la insulina.

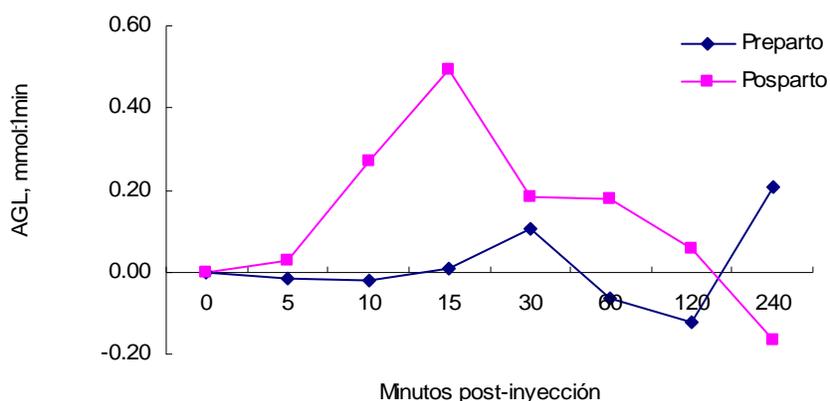


Figura 8. Respuesta en la concentración de ácidos grasos libres (AGL) al desafío de glucosa

Sin embargo, como se aprecia en el Cuadro 10, la menor concentración de insulina

no coincide con la mayor concentración de AGL. Esto podría explicarse si la glucosa exógena administrada durante las 4 semanas posparto hubiera sido captada por la glándula mamaria, sin permitir que la insulina respondiera estimulando la actividad de sus receptores en los tejidos periféricos, ya que en este periodo también se observó una tasa alta de utilización de glucosa ( $t_{1/2}$  de 9.5 min).

### **Respuesta al desafío de epinefrina**

Los niveles de glucosa, insulina y ácidos grasos libres para el desafío de epinefrina se muestran en el Cuadro 11. Asimismo, en las Figuras 9 y 10, se presentan estas respuestas de acuerdo a los minutos post-inyección para los períodos preparto y posparto. Los valores que se utilizaron son los promedios de todas las cabras por tiempo (valores obtenidos por arriba de los niveles basales).

La producción de glucosa en respuesta a la inyección de L-epinefrina ( $7\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal) fue la misma en todos los periodos ( $P>0.1$ ), con una media de  $3886.5 \pm 382 \text{ mgdl}^{-1}\text{min}$ . (Cuadro 11), la cual representa el incremento sobre la concentración basal, indicando que la epinefrina exógena probablemente estimuló tanto glucogenólisis como gluconeogénesis hepática en todos los estados fisiológicos, aunque aparentemente el estado no influenció la magnitud del incremento. Por otro lado, el incremento en la concentración de glucosa también pudo deberse a una reducción momentánea en su utilización por parte de tejidos periféricos por el efecto vasoconstrictor que ejerce la epinefrina. También se aprecia que la variación en la respuesta en los animales en producción fue similar a la que se encontró en los animales no gestantes-no lactantes.

La producción de glucosa durante las 2 y 4 semanas posparto fue ligeramente menor, aunque no significativa, lo cual coincide con lo publicado por Khan y Ludri (2002b), quienes demuestran en cabras de raza Alpina x Beetal y Sannen x Beetal, una reducción significativa en la concentración basal de glucosa al momento del parto y no se recuperaron sino hasta después de 20 días posparto; estos autores solamente presentan las respuestas de manera gráfica y no calcularon el efecto de algún estímulo exógeno. Otros autores también demuestran el efecto del inicio de la lactancia sobre la disminución de la

glucosa plasmática (Dunshea *et al.*, 1989).

Cuadro 11. Respuesta en concentración plasmática de glucosa, insulina y ácidos grasos libres al desafío de epinefrina en cabras Nubia en diferentes periodos alrededor del parto.<sup>1</sup>

Periodo	N	Área integral <sup>2</sup>		
		Glucosa mg/dl	Insulina ngml <sup>-1</sup> min	Ácidos grasos libres mmol/l <sup>-1</sup> min
Preparto				
-6	3	3404.5 ± 1363.9	13.0 ± 11.5	0.45 <sup>c</sup> ± 0.1
-4	6	4177.6 ± 1332.8	9.8 ± 9.6	0.54 <sup>c</sup> ± 0.3
-2	6	4270.8 ± 1323.8	10.4 ± 8.7	0.64 <sup>c</sup> ± 0.2
Posparto				
+2	6	3559.4 ± 2516.5	20.1 ± 10.7	1.24 <sup>ab</sup> ± 0.6
+4	6	3361.2 ± 1290.9	10.6 ± 10.5	1.40 <sup>a</sup> ± 0.3
+6	6	4304.6 ± 2845.1	19.1 ± 4.8	0.72 <sup>b</sup> ± 0.3
-----				
No gestantes-no lactantes <sup>3</sup>				
	2	4814 ± 906	31.6 ± 15	-0.24
		4920 ± 165	39.8 ± 1	0.07

<sup>1</sup> Las dosis de L-epinefrina (Laboratorios Pisa®) inyectada vía cánula yugular en todos los periodos evaluados fue de 0.7 µg/kg de peso corporal.

<sup>2</sup> Respuesta calculada en base a la determinación del área debajo de la curva (Easy Plot Spiral Software®).

<sup>3</sup> Solamente se analizaron las concentraciones de un desafío por animal para AGL

<sup>a b c</sup> Valores en la misma columna con distinta literal son estadísticamente diferentes (P<0.001)

En la Figura 9 se puede observar que la inyección de epinefrina elevó la concentración de la glucosa circulante en los animales tanto en el preparto como en el posparto y que en ambos periodos la concentración basal de glucosa se alcanzó nuevamente alrededor de los 200 minutos post-inyección.

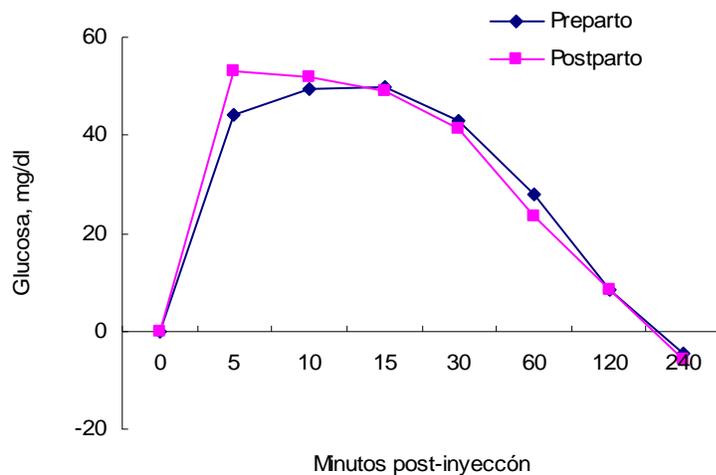


Figura 9. Respuesta en la concentración de glucosa al desafío de epinefrina

El aumento en la producción de glucosa provocado por la inyección de L-epinefrina, incrementó la producción de insulina en todos los períodos evaluados aunque fue menor que con el desafío de glucosa, pero esta respuesta no fue diferente estadísticamente ( $P > 0.1$ ). En la Figura 10 se aprecia como se disminuyó la concentración de insulina por debajo de la concentración basal en los animales durante la gestación a través de los 240 minutos post-inyección, mientras que en durante la gestación los animales respondieron por arriba de la concentración basal, pero no de manera significativa (Cuadro 11). El promedio de producción de insulina fue de  $14.1 \pm 1.9 \text{ ngml}^{-1}\text{min}$  para los animales en producción a través de los 240 minutos de muestreo, siendo este valor menor que el encontrado en los animales no gestantes-no lactantes ( $35.7 \pm 10.4 \text{ ngml}^{-1}\text{min}$ ), lo cual coincide con el menor efecto hiperglicemiante que la epinefrina generó en los animales en producción comparada con la de los no gestantes-no lactantes (Cuadro 11).

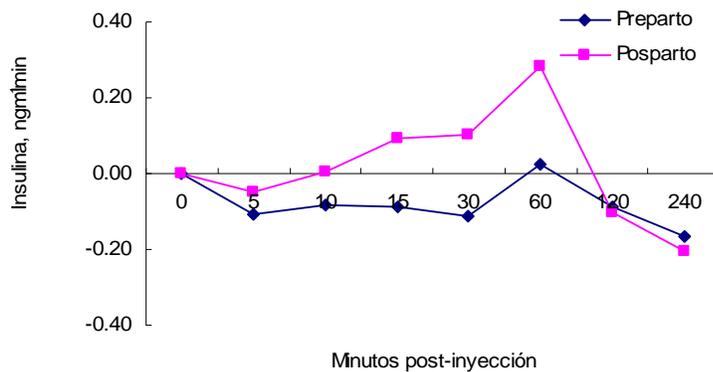


Figura 10. Respuesta en la concentración de insulina al desafío de epinefrina

La inyección de epinefrina ocasionó un aumento en la concentración de los ácidos grasos libres en todos los periodos evaluados, la cual se muestra en la Figura 11. Los datos son los promedios de todas las cabras por tiempo para los periodos preparto y posparto, apreciándose un patrón errático en la liberación de los mismos, tanto en el preparto como en el posparto.

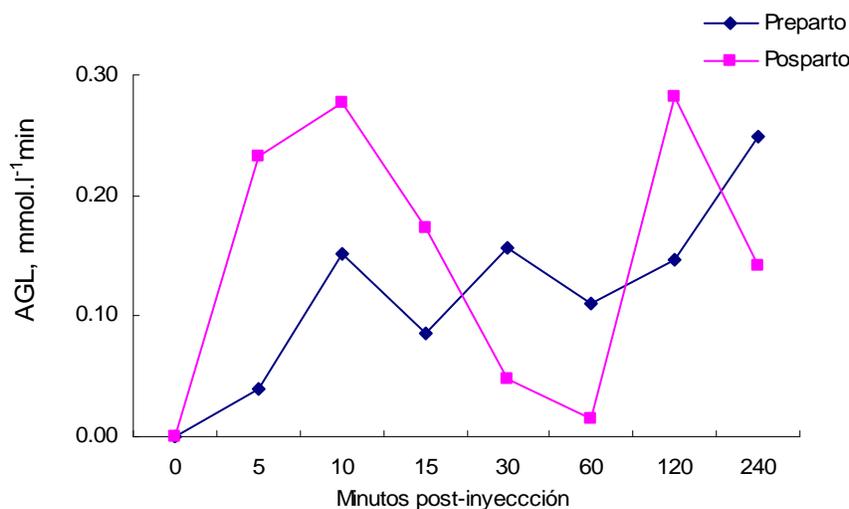


Figura 11. Respuesta en la concentración de ácidos grasos libres (AGL) al desafío de epinefrina

Estos incrementos pueden deberse a que el efecto lipolítico de la epinefrina fue significativamente mayor a las 4 y 2 semanas posparto ( $1.40 \pm 0.3$  y  $1.24 \pm 0.6$  mmol/l¹min)

( $P < 0.006$ ), reduciéndose a  $0.72 \pm 0.3 \text{ mmol l}^{-1} \text{ min}$  a las 6 semanas posparto. Durante la gestación, la epinefrina ocasionó un incremento por arriba de las concentraciones basales de ácidos grasos libres, en los tres períodos evaluados en ese estado fisiológico, pero que fueron similares a las de los periodos posparto (Cuadro 11). No existe literatura en caprinos que permita comparar directamente estos resultados. Khan y Ludri (2002b), no encontraron diferencias en la concentración de ácidos grasos libres en cabras Alpinas y Sannen cruzadas con Beetal, en diferentes días alrededor del parto, presentando concentraciones de 0.22 mmol/l a los 20 días preparto y de 0.19 mmol/l a los 20 días posparto, habiéndose reducido a 0.17 mmol/l a las 3 semanas posparto. En vacas lecheras la respuesta al desafío de epinefrina en periodos relativos al parto fueron similares a los del presente estudio, resultó en concentraciones de ácidos grasos libres menores durante el preparto (de 0.45, 0.581 y 0.59 mmol/l<sup>1</sup>min, para -6, -4 y -2 semanas preparto, respectivamente), pero durante las 2, 4 y 6 semanas posparto se incrementaron significativamente ( $P < 0.01$ ), con valores de 2.33, 3.33 y 2.13 mmol/l<sup>1</sup>min, respectivamente (Bernal y Bauman, 1982). Es interesante ver cómo en las cabras del presente estudio se presentó una tendencia similar a la de las vacas lecheras en cuanto el momento en que ocurrió una mayor respuesta al desafío de epinefrina, en las 2 y 4 semanas posparto (Cuadro 11).

Al igual que en las vacas lecheras, la gestación no tuvo un efecto tan marcado en la respuesta al desafío de epinefrina, a diferencia de la movilización de lípidos que promovió durante la lactancia. Por su parte, las cabras no gestantes-no lactantes, tuvieron una respuesta mínima a la inyección de epinefrina incluso en una de ellas se deprimió la concentración de los ácidos grasos libres hasta  $-0.24 \text{ mmol l}^{-1} \text{ min}$  (Cuadro 11). El efecto que ejerce la epinefrina de incrementar la tasa de lipólisis en el tejido adiposo de los rumiantes ha sido establecido por varios autores (Bauman, 1976; Metz and van den Bergh, 1972; citados por Bernal, 1982). Sin embargo, el presente estudio demuestra que el estado fisiológico de los animales es el factor determinante en la magnitud de la respuesta, lo cual se hizo evidente por el incremento substancial que se aprecia en las semanas 2 y 4 posparto, cuando la lactancia está demandando una gran cantidad de energía para la síntesis de la leche y la manutención del propio animal. Los animales pudieron manejar esta demanda de energía, ya que no se presentaron problemas metabólicos clínicos y las crías crecieron de

manera satisfactoria (Cuadro 7). La pérdida de peso que tuvieron los animales durante la lactancia, coincide con la alta movilización de tejido adiposo, ya que a las 6 semanas posparto los animales perdieron en promedio 7.2 kg de peso ( $P < 0.001$ ) con relación al peso al día siguiente del parto (Cuadro 6), lo cual hace evidente que los animales estuvieron en un balance de energía negativo. Como se mencionó anteriormente, no fue posible determinar el total de la producción de leche en las cabras debido a que estaban alimentando a sus crías y no se midió el consumo de leche de éstas, esto impidió el poder determinar el balance energético de los animales. El consumo de materia seca durante la lactancia se incrementó paulatinamente, pero no logró mejorar el balance energético de los animales (Cuadro 6).

Los ácidos grasos libres fueron el único metabolito en que las concentraciones basales y su producción total ( $\text{mmol/l}^{-1}\text{min}$ ) fueron afectadas por el estado fisiológico cuando se expuso a los animales a una dosis de un agente lipolítico como lo es la epinefrina. Esta respuesta puede relacionarse con cambios en la velocidad con que se movilaron las reservas desde el tejido adiposo, debido probablemente a un incremento en la habilidad de los receptores para inducir la actividad de la adenilato-ciclasa y el consecuente incremento en la concentración intracelular del AMPc. A su vez, el AMPc activó a la lipasa sensitiva a hormonas y se hidrolizaron los triglicéridos del tejido adiposo, liberándose los ácidos grasos al torrente sanguíneo. Otra posibilidad sería que también se hubieran incrementado el número de receptores y su afinidad por la epinefrina exógena.

A través de todos los periodos evaluados, fue evidente que los dos desafíos promovieron que las concentraciones de glucosa, insulina y ácidos grasos libres se incrementaran por arriba de las concentraciones basales. Sin embargo, no fue posible detectar diferencias estadísticas en las respuestas al desafío de glucosa entre los estados fisiológicos estudiados, principalmente debido a la variación que se presentó entre los animales experimentales. Por ejemplo, se esperaba que la tasa de utilización  $t\frac{1}{2}$  hubiera sido más rápida (por lo tanto la tasa de desaparición hubiera sido mayor) en los periodos posparto, lo cual no se observó. Sin embargo, la respuesta del tejido adiposo a la inyección de epinefrina, evidenció que el estado fisiológico de los animales, principalmente la

lactancia, juega un papel muy importante en la respuesta de los tejidos a cualquier estímulo exógeno como lo fueron los desafíos metabólicos utilizados.

Los resultados del presente trabajo muestran la necesidad de realizar trabajos similares en el futuro próximo, debido a que el contar con esta información específicamente para la cabra lechera, relativa a su metabolismo energético y al momento en que se dan estos cambios, permite considerar el establecimiento y diseño de programas de manejo nutricional de acuerdo a sus etapas productivas. El conocer cómo el estado fisiológico influye negativamente en su balance de energía y qué ocurre metabólicamente durante las primeras cuatro semanas posteriores al parto, determinará a futuro la planeación de sistemas de suplementación durante el inicio de la lactancia con la que se cubran sus necesidades nutrimentales y se puedan prevenir problemas metabólicos que afecten su salud y pongan en riesgo su vida productiva. Además, se podrá contribuir a realizar un mejor manejo de las áreas de agostadero que se utilizan en el país, mediante la planeación de estrategias de alimentación que permitan cubrir de una mejor manera la demanda de nutrimentos en estas etapas y que sirvan para complementar los que ofrece el recurso forrajero en el sistema de pastoreo o de semi-estabulación. Lo anterior se hace todavía más importante durante épocas críticas de escasez de forrajes, para que los animales cubran sus necesidades alimenticias sin tener que sobre-pastorear los potreros. Por otro lado, al mejorar la nutrición de las cabras, se modificará su patrón de fermentación ruminal y en consecuencia se podrá reducir la producción de contaminantes para el medio ambiente como lo son la excreción excesiva de nitrógeno que daña los suelos y el agua, así como las emisiones de metano que contribuyen al calentamiento global.

## VI. CONCLUSIONES

Los cambios en las concentraciones de los metabolitos evaluados en respuesta al desafío de glucosa y al de epinefrina, hicieron evidente que el estado fisiológico de las cabras influye directamente en la manera en que se utilizan los nutrimentos de acuerdo a la necesidad de los tejidos involucrados, ya sean los fetos durante la gestación, o la glándula mamaria durante la lactancia. Fue evidente que en las cabras, la lactancia ejerce un efecto mayor sobre la demanda de nutrientes y que sus tejidos responden en mayor magnitud a estímulos externos que durante la gestación, lo cual muestra que durante las primeras cuatro semanas de iniciada la lactancia se debe tener mayor cuidado en ofrecerle al animal raciones que cubran sus necesidades nutricionales para evitar que puedan presentar problemas metabólicos que repercutan negativamente en su productividad.

Con base en los resultados del presente estudio, sería arriesgado recomendar estrategias para alimentar a las cabras lecheras de acuerdo a su etapa productiva y a su estado fisiológico. Sin embargo, se hace evidente la necesidad de que se lleven a cabo más estudios similares en el futuro con razas especializadas en producción de leche o de carne, que permitan establecer con mayor certeza el tipo de suplementación o alimentación que los animales requieran de acuerdo a sus necesidades nutrimentales. Por otro lado es importante llevar a cabo estudios que permitan dilucidar los mecanismos celulares que determinan el sentido y la magnitud de las respuestas metabólicas de las cabras lecheras de acuerdo a su nivel de producción y su estado fisiológico.

Se podrá recomendar entonces con mayor certeza, la cantidad de animales que son posibles de mantener en un área de pastoreo de acuerdo a su extensión, al tipo y densidad de plantas que lo conformen, a la calidad nutritiva y cantidad de biomasa que aportan, con el consecuente beneficio para el ecosistema y la conservación de las especies que en él se encuentren.

## VII. LITERATURA CITADA

- Arbiza, A.S.I. y de Lucas T. J. 2001. La leche caprina y su producción. Editores Mexicanos Unidos S.A. México, D.F.
- Aregheore, E. M. 2001. Growth rate, apparent nutrient digestibility and some blood metabolites of Gwembe Valley goats on rations based on crop residues in the hot dry season in Zambia. *Tropical animal health and production*, 33(4): 331-340.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. International. Official Methods of Analysis. 17th ed. Arlington, VA.
- Balikci, E., Yildiz, A., Gürdogan, F. 2007. Blood metabolite concentrations during pregnancy and postpartum in Akkaraman ewes. *Small Ruminant Research*. 67: 247–251.
- Bas, P., Llored-Pujol, M., Schmidely, P., Rouzeau, A., Sauvant, D. 1994. *Ann. Zootech.* 43:310.
- Bauman, D.E. Currie, W.B. 1980. Partition of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63:1514-1529.
- Bell, A.W., Bauman, D.E. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 2(3): 265-278.
- Bennink, M. R., Mellenberger, R.W., Frobish, R.A., Bauman, D.E. 1972. Glucose oxidation and entry rate as affected by the initiation of lactation. *J. Dairy Sci.* 55: Abstract pp.149.
- Bernal, S.M.G. 1982. Changes in glucose and energy homeostasis with onset of lactation. Thesis of the Degree of Master of Science. Faculty of the Graduate School of Cornell University. pp. 1-64.
- Bernal, S.M.G., Bauman, D.E. 1982. Cambios en el metabolismo de glucosa y energía con el inicio de la lactación. *Técnica Pecuaria México*. 9:38-42.
- Chang, C.J., Young, S. H. 1992. Changes of mammary vein concentrations of glucose and free fatty acids induced by exogenous insulin and glucose, and relation on

- mammary gland function in Sannen goats. *Small Ruminant Research*. 7:123-133.
- Danfaer, A., Tetens, V., Agergaard, N. 1995. Review and an experimental study on the physiological and quantitative aspects of gluconeogenesis in lactating ruminants. *Comp. Biochem Physiol*. 111B (2): 201-210.
- Daniel, W. W. 2006. *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Editorial Limusa Wiley. México pp. 336-337.
- Disenhaus, C., Jammes, H., Hervieu, J., Ternois, F., Sauvant, D. 1995. Effects of recombinant bovine somatotropin on goat milk yield, composition and plasma metabolites. *Small Ruminant Research*. 15: 139 – 148.
- Dunshea, F.R., Bell, A.W. Trigg, T. E. 1989. Relations between plasma non-esterified fatty acid metabolism and body fat mobilization in primiparous lactating goats. *Br. J. Nutr.* 62: 51-60.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier?. *J. Dairy Sci.* 82: 2259-2273.
- Easy Plot Spiral Software & MIT Version 4.0.5 Free Trial, 2005.
- FAO. 1997. <http://www.fao.org/index.es.htm> (Consultado 25 Mayo 2008)
- FAO. 1999. <http://www.fao.org/index.es.htm> (Consultado 25 Mayo 2008)
- FAO. 2001. <http://www.fao.org/index.es.htm> (Consultado 25 Mayo 2008)
- Fernández, J.M., Sahlú, T., Lu, C.D., Ivey, D., Potchoiba, M.J. 1997. Production and metabolic aspects of nonprotein nitrogen incorporation in lactation rations of dairy goats. *Small Ruminant Research*. 26: 105-117.
- FIRA. 1999. Oportunidades de Desarrollo en la Industria de la Leche y Carne de Cabra en México. Banco de México. México. *Boletín Informativo* 32(313): 22-42.
- Ganong, F.W. 2000. *Fisiología Médica*. Editorial El Manual Moderno. 17a Edición. México, D.F.
- Guyton, A. C., Hall, J. E. 2001. *Tratado de fisiología medica*. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. 10a. Edición. México, D.F.
- Harvey, R.A., Champe, P.C., Ferrier, D.R. 2005. *Bioquímica*. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. 3a. Edición. México, D.F.
- Hervieu, J., Morand-Fehr, P. 1999. Comment noter l'état corporel des chèvres. *La Chèvre*. 231: 26-33.

- Hove, K., Blom, A.K. 1976. Plasma insulin and growth hormone concentrations in pregnant sheep. I: Diurnal variations in mid- and late pregnancy. *Acta Endocrinol.* 82: 544-552.
- Khan, J.R., Ludri, R.S. 2002a. Hormone profile of crossbred goats during the periparturient period. *Tropical Animal Health and Production.* 34: 151-162.
- Khan, J.R., Ludri, R.S. 2002b. Changes in blood glucose, plasma non-esterified fatty acids and insulin in pregnant and non-pregnant goats. *Tropical Animal Health and Production.* 34: 81-90.
- Landau, S., Morand-Fehr, P., Bas, P., Schmidely, P., Giger-Reverdin, S. 2007. Nutritional efficiency for conception, pregnancy and lactation in goats with an emphasis on glucose and nitrogen metabolism. *Nutrition et d' Alimentation. CIHEAM, options Mediterraneennes.* pp. 59-66.
- Lehninger, 2001. *Principios de Bioquímica.* 3a edición. Nelson, D.L. y Cox, M.M. Omega.
- Mani, A.U., McKelvey, W.A.C., Watson, E.D. 1992. *Theriogenology.* 38: 1013-1022.
- Meza, H.C.A. 1987. Análisis estático de la ganadería caprina en ocho ejidos de la comarca lagunera. III Reunión sobre Caprinocultura. FES-Cuautitlán UNAM, México.
- McCutcheon, S.N., Bauman, D.E. 1986. Effect of chronic growth hormone treatment on responses to epinephrine and thyrotropin-releasing hormone in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 69: 44-51.
- Mellado, M., Foote, R.H., Gomez, A. 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in Northern Mexico. *Small Ruminant Research* 6: 141-150.
- Mohy El-Deen, A.M., Hassan, A., Samk, M., Zahraa, R., Abolezz, E. 1985. Changes in milk yield and certain blood components of crossbred goats and their correlation associated with lactation, pregnancy and dry season. *World Review of Animal Production.* 21: 36-40.
- Morand-Fehr, P., Hervieu, J., Schmidely, P. 1994. Method to assess body conditions of goats. I. Setting up a method based on palpations. *Small Ruminant Research.* CIHEAM, options Mediterraneennes. pp 133-140.
- National Research Council. 1981. *Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries.* National Academy Press.

- Washington, D.C.
- Pacheco, C.J., González, P.R. 1991. Propedéutica clínica veterinaria. Editorial Continental. Primera edición. México, D.F.
- Prosser, C.G. 1996. Insulin-like growth factors in milk and mammary gland. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 1(3):297-306.
- Pueblosamerica. 2008. <http://www.mexico.pueblosamerica.com/i/amazcala/> (Consultado 17 Mayo 2008)
- Ramírez, R.L., Ríos, E., Garza, J. 1993. Nutritional profile and intake of forage grazed by Spanish goats in a semi-arid land. *J. Appl. Animal Res.* 3: 113-122.
- Ramírez R. L. 1994. Composición y calidad nutritiva del forraje seleccionado por cabras en pastoreo en los agostaderos del noreste de México. *Memorias de la VII Reunión anual de Caprinocultura. La Paz Baja California Sur.* pp. 52-62.
- Ríos, C., M.P. Marín, M. Catafau, F. Wittner. 2006. Concentraciones sanguíneas de B-hidroxi butirato, NEFA, colesterol y urea en cabras lecheras de tres rebaños con sistemas intensivos de producción y su relación con el balance nutricional. *Arch. Med. Vet.* 38(1): 19-23.
- Robertson, J.B. Van Soest, P.J. 1981. In: *The analysis of dietary fiber*. W.P.T. James and O. Theander, eds. Marcell Dekker, New York. USA.
- Ruckebush, Y., Phareuf, L. P., Dunlop, R. 1991. *Physiology of small and large animals*. B.C. Decker Inc., Philadelphia, USA.
- SAGARPA. 2006 a. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/prod0001.htm> (Consultado 28 Enero 2008)
- SAGARPA. 2006 b. <http://www.saqarpa.gob.mx/Dgg/censoqan.htm> (Consultado 28 Enero 2008)
- Sandabe, A.R., Mustapha, A.R., Sambo, E.Y. 2004. Effect of pregnancy on some biochemical parameters in Sahel goats in semi-arid zones. *Vet. Res. Commun.* 28: 279-285.
- SAS. 2001. Version 9.1. SAS Inst., Inc., Cary, N.Y.
- Sasaki, S. 2002. Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. *J. Anim. Sci.* 73: 423-433.
- Sauvant, D., Morand-Fehr, P. 1991. *Goat Nutrition*. Ed. P. Morand-Ferh. Pudoc,

Wageningen.

- Sechen, S. J., Dunshea, F.R., Bauman, D.E. 1990. Somatotropin in lactating cows - effect on response to epinephrine and insulin. *Am. J. Physiol.* 258: E582-E588.
- SIAP. 2008. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Consultado 28 Enero 2008)
- Soberón, M.J. 2002. Ecología de poblaciones. 3a Edición. Fondo de cultura económica. México, D.F. pp. 94-102.
- Turner, K.E., Wildeus, S., Collins, J.R. 2005. Intake, performance and blood parameters in young goats offered high forage diets of lespedeza or alfalfa hay. Abstract. *Small Ruminant Research.* 59 (1): 15.
- Twardock, R.A. 1977. Radiobiology. In: *Dukes Physiology of Domestic Animals.* M.J. Swenson, Ed. Ninth Edition. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca y London. Chapter 57 pp. 876.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant.* Second edition. Cornell University Press. United States of America.
- Weimer, P.J., Waghorn, G.C., Odt, C.L. and Merthens, D.R. 1999. Effect of diet on populations of three species of ruminal cellulolytic bacteria in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 82: 122-134.

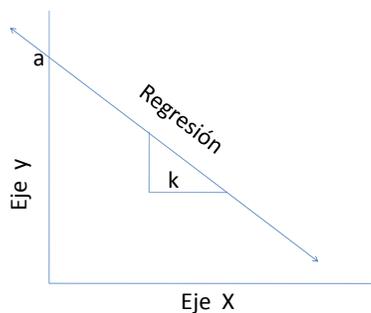
## ANEXO 1

Estimación de  $t_{1/2}$  y  $t_0$ :

Para estimar  $t_{1/2}$ , se calculó la curva de regresión

La pendiente (k) de la regresión se utilizó para calcular  $t_{1/2}$  de acuerdo a la ecuación propuesta por Twardock (1977):  $t_{1/2} = \ln 2/k$ .

La concentración instantánea al tiempo cero ( $t_0$ ) se obtuvo calculando el antilogaritmo del intercepto "a" en el eje de la "y" de la misma ecuación de regresión.



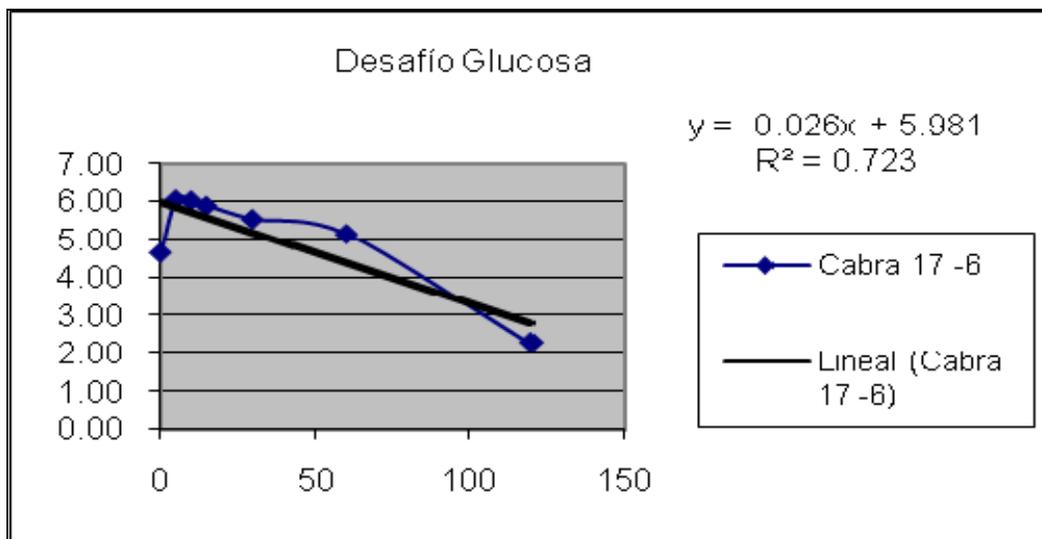
### RESULTADOS ANALISIS DE GLUCOSA

**DESAFÍO DE GLUCOSA**  
Periodo - 6 semanas

Muestra	min	Result	Conc Gluc- basal	Transformación z:
1	-30	117.53		
2	-15	102.41		
3	0	91.54	103.83	min      ln
4	5	522.61	418.78	5      6.04
5	10	513.46	409.63	10      6.02
6	15	460.54	356.71	15      5.88
7	30	356.35	252.53	30      5.53
8	60	274.39	170.56	60      5.14
9	120	113.60	9.77	120      2.28
10	240	54.55	-49.28	240      #jNUM!

Tabla A

Los datos de la Tabla A ( los transformados a ln) se graficaron en el programa excell y se calculo la curva de regresión para obtener el valor de la variable a y b (k) de la ecuación de regresión.



**a**  
**5.981**

**b**  
**0.026**

**ln2**  
**0.6931**

$t_0$ mg/100 ml	$t_{1/2}$ mg/100 ml
395.83	26.65
Antilog a	ln2/b

Consumo de materia seca de las cabras Nubia en kg/día

PERIODOS	CABRAS						PROMEDIO
	17	668	803	801	802	804	
<b>-6</b>	1.31669	1.20961	1.92404				<b>1.48</b>
<b>-4</b>	2.05002	2.06593	2.15444	1.31669	1.20961	1.92404	<b>1.79</b>
<b>-2</b>	1.27378	1.77078	1.91595	2.05002	2.06593	2.15444	<b>1.87</b>
<b>0</b>	1.45977	1.66364	2.09427	1.06609	1.71769	1.99636	<b>1.67</b>
<b>+2</b>	1.42011	2.32255	1.77626	1.24411	1.72552	1.82362	<b>1.72</b>
<b>+4</b>	1.6508	2.167	2.59054	1.55943	1.41865	1.36024	<b>1.79</b>
<b>+6</b>	1.78849	2.21062	2.5363	1.55055	1.98889	2.00811	<b>2.01</b>

Gráfica del consumo de materia seca de las cabras Nubia en kg/día

