



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA  
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**PREDICCIÓN *IN VIVO* DEL ESTADO NUTRICIONAL  
ENERGÉTICO Y DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL  
EN CABRAS REPRODUCTORAS.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS**

**P R E S E N T A**

**GERARDO DOMÍNGUEZ ARAUJO**

**TUTOR:**

**CÉSAR AUGUSTO MEJÍA GUADARRAMA**

**COMITÉ TUTORAL:**

**HÉCTOR R. VERA ÁVILA  
ALEJANDRO VILLA GODOY**

**AJUCHITLÁN COLÓN, QUERÉTARO.**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

### PREDICCIÓN IN VIVO DEL ESTADO NUTRICIONAL ENERGÉTICO Y DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL DE CABRAS REPRODUCTORAS.

El objetivo fue predecir *in vivo* la cantidad de reservas corporales energéticas (RCE), de manera objetiva y precisa. Se utilizaron 59 cabras reproductoras adultas: Sannen(n=18) y Criolla(n=21). Cada grupo fue alimentado con diferente cantidad de ración durante un periodo de 12 semanas para lograr las dos condiciones corporales (CC 1-5) 1)BAJA (0.9-1.9) y 2)MEDIA (2.0-3.0). En los días 0, 14, 28 y 42 se registró el peso vivo (PV), CC y mediciones zoométricas (cm) ancho de la cadera (AC), largo del fémur (LF), circunferencia de la pierna (CIRP). La profundidad de la grasa lumbar (GD2) y la profundidad del *longissimus dorsi* (MD1) y de todos los tejidos entre la piel y el esternón (TEST) se midieron usando ultrasonido (mm). El día 42 se tomaron muestras sanguíneas 8h y 14h postprandial. Se determinaron las concentraciones plasmáticas de IGF-I por el método de IRMA usando un estuche comercial. El día 43 se sacrificaron los animales, se registró la cantidad de grasa visceral, las canales se pesaron y almacenaron a 4° C. Después de 24 horas, la mitad izquierda de la canal se disecó en tejido graso (grasa intermuscular + grasa visceral = GRASA), muscular (tejido conectivo+grasa intramuscular=MUS) y tejido óseo (TO). Los datos fueron sometidos a ANDEVA, regresión y correlación usando software SAS. Independientemente del grupo, las concentraciones plasmáticas de IGF-I fueron correlacionadas positivamente con PV (r=0.68) y RCE (r=0.78;P<0.01). Las ecuaciones resultantes para RCE = - 3.15 + 0.41(PV) + 1.37(GD2) + 0.23 (TEST) - 0.21(AC) + 0.40(LF) + 0.006(IGF-I) [R<sup>2</sup>=0.91 RSD=0.69], para criollas. Para la raza Sannen fue RCE=-33.87 + 0.44(PV) + 3.69(CC) + 0.55(MD1) + 0.65(CIRP) [R<sup>2</sup>=0.95 RSD=0.95]. Se concluye que existen diferencias significativas en proporción de cantidad de RCE (criolla vs. Sannen), resulta importante desarrollar métodos de predicción especificando tipo de reservas corporales energéticas y genotipo animal, además de que las concentraciones de IGF-I pueden usarse como un estimador del estado nutricional energético en cabras.

Palabras clave: Condición corporal, Reservas corporales energéticas, ultrasonográfica, IGF-I.

## PREDICTS *IN VIVO* OF STATUS NUTRITIONAL ENERGETICS AND THE BODY COMPOSITION IN GOAT DAMS.

The objective was predicted *in vivo* amount of body energy reserves (BER). Fifty nine adult goat dams: Saanen (n=18) and Creole(n=41) were used. Dams were divided in two groups. Each groups was fed with different amounts of total mixed ration during 12 weeks period to attain three body condition (BCS, 1-5): 1) LOW (0.9-1.0) and 2) MID (2.0- 3.0). On days 0, 14, 28 and 42, live body weight (LBW), BCS and zoometric measurements (cm) hip width (HW), femur length (LF), circumference of the hind leg (CHL) were recorded. Lumbar fat thickness (LFT) and depth longissimus dorsi (LD) and of the breastbone fat thickness (BFT) were measured using ultrasound (mm). From each animal, blood samples were taken at 8 and 14 h after morning feeding on day 42. Plasma IGF-I concentrations were determined by IRMA method by using a commercial kit. All dams were slaughtered at day 43 and weights of carcass and inner fat were recorded. Carcasses were stored at 4°C for 24 h. After this, left half of each carcass was dissected in fat (FAT), muscle (MUS), and bone tissue. Data were analyzed using procedures CORR and REG of SAS package. Independently of BCS group, plasma IGF-I concentration were positively correlated with LBW (r=0.68), BER, (r=0.74 P<0.01). Equation for Creole goats was  $BER = -3.15 + 0.41(LBW) + 1.37(LFT) + 0.23(BFT) - 0.21(HW) + 0.40(LF) + 0.006(IGF-I)$  [R<sup>2</sup>=0.91 RSD=0.69]. Equation for Sannen goats was  $BER = -33.87 + 0.44(LBW) + 3.69(BSC) + 0.55(LD) + 0.65(CHL)$  [R<sup>2</sup>=0.95 RSD=0.95]. It conclude that there are significant differences in proportion of quantity of RCE (Creole vs Sannen) its important develop prediction methods, specific type body energy reserves and genotype animal, also the plasma concentrations of IGF-I can be used as alternative method to determine nutritional status of goat dams.

Key words: Body condition, body energy reserves, ultrasonography, IGF-I.

## INDICE

DEDICATORIAS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	IV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
..... 2.1. Estado nutricional y balance energético.....	3
..... 2.1.1. Algunas señales metabólicas asociadas al estado nutricional ..... y balance energético.....	4
..... 2.1.2 Reservas corporales energéticas.....	6
..... 2.1.3 Utilización de sustratos metabólicos .....	10
..... 2.2 Métodos de estimación de reservas corporales energéticas ..... y balance de energía .....	12
..... 2.2.1 Método de condición corporal .....	12
..... 2.2.2 Peso vivo .....	15
..... 2.2.3 Mediciones zoométricas.....	16
..... 2.2.4 Ultrasonido.....	17
..... 2.2.5 Espacios de urea .....	18
..... 2.2.6 Tomografía computarizada .....	19
..... 2.2.7 Perfil metabólico .....	19
..... 2.3 Hormonas del eje somatotropo: GH e IGF-I.....	20
..... 2.3.1 Secreción y efectos metabólicos.....	20
..... 2.3.2 IGF-I y estado nutricional .....	22
..... 2.3.3 Eje somatotropo y reproducción.....	23
III. HIPÓTESIS.....	25
IV. OBJETIVOS .....	25
V. MATERIAL Y MÉTODOS .....	26
VI. RESULTADOS .....	31
VII. DISCUSIÓN .....	35
VIII. CONCLUSIONES.....	42
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	43
X. ANEXOS I.....	54
X1. ANEXOS II. ....	56

## LISTA DE GRÁFICAS Y CUADROS

	Pag.
<b>Gráfica 1.</b> Correlación de IGF-I con reservas corporales energéticas (n=59) .....	57
<b>Gráfica 2.</b> Concentración plasmática de IGF-I de acuerdo al grupo de condición corporal de las cabras reproductoras .....	58
<b>Cuadro 1.</b> Dieta experimental (Base húmeda) .....	59
<b>Cuadro 2.</b> Relación de peso vivo y condición corporal, en función del genotipo al inicio (0), mitad (21) y final (42 días) .....	60
<b>Cuadro 3.</b> Mediciones ultrasonográficas al inicio (0), mitad (21) y final (42) de la fase experimental de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.....	61
<b>Cuadro 4.</b> Análisis estadístico de las mediciones ultrasonográficas de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.....	62
<b>Cuadro 5.</b> Mediciones zoométricas al inicio (0), mitad (21) y final (42) de la fase experimental de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.....	63
<b>Cuadro 6.</b> Análisis estadístico de las mediciones zoometricas de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.....	64
<b>Cuadro 7.</b> Media de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de IGF-I analizadas con mediciones repetidas de acuerdo a la raza y grupo de condición corporal, a los 14, 28 y 42 días de la fase experimental. ....	65
<b>Cuadro 8.</b> Peso vivo, condición corporal y variables usadas en la composición corporal de cabras reproductoras de acuerdo a la raza y el grupo de condición corporal.....	66
<b>Cuadro 9.</b> Análisis estadístico de peso vivo y variables de composición corporal de acuerdo a raza y grupo. ....	67
<b>Cuadro 10.</b> Coeficiente de correlación (r) entre composición corporal y los diferentes estimadores de cabras reproductoras (n=59).....	68
<b>Cuadro 11.</b> Ecuaciones de predicción, de acuerdo al genotipo, utilizando	

el método de condición corporal y las medidas zoometricas. ....	69
<b>Cuadro 12.</b> Ecuaciones de predicción de acuerdo al genotipo, utilizando báscula, método de condición corporal y medidas zoométricas. .	70
<b>Cuadro 13.</b> Ecuaciones de predicción, de acuerdo al genotipo, utilizando báscula, método de condición corporal, mediciones zoométricas, mediciones ultrasonográficas y mediciones hormonales.....	71

### LISTA DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Sitio de medición ultrasonográfica (A) entre la 12 <sup>a</sup> y 13 <sup>a</sup> costilla y (B) entre la 1 <sup>a</sup> y 2 <sup>a</sup> vértebra lumbar.....	55
<b>Figura 2.</b> Sitio de medición ultrasonográfica a nivel esternal .....	55

## I. INTRODUCCIÓN.

Diversas investigaciones realizadas en los último 20 a 30 años resaltan el papel de la nutrición como uno de los principales factores medio ambientales que determinan la eficiencia reproductiva bajo condiciones prácticas de explotación en las especies pecuarias. Los efectos de la nutrición en el comportamiento reproductivo están ampliamente asociados con cambios en la condición corporal (Gunn y Doney, 1975; Gunn *et al.*, 1979), lo que se refleja en cambios en las tasas de ovulación y de fertilidad, específicamente en las especies domésticas. En este sentido, Lindsay (1976) sugirió que en pequeños rumiantes el efecto de la nutrición sobre los procesos reproductivos debería ser entendido en términos de un estado nutricional neto, que involucra tanto aspectos endógenos (reservas corporales energéticas: tejidos muscular y adiposo) como exógenos (consumo de alimento). Por lo anterior, diversos autores han desarrollado algunas metodologías para estimar la amplitud de las reservas corporales en distintas especies. En el caso de la cabra, actualmente se utiliza un método basado en la estimación visual de la condición corporal, complementada con la palpación de diferentes sitios anatómicos (Santucci *et al.*, 1991). Sin embargo, esta última metodología presenta algunas desventajas: 1) es una evaluación subjetiva del estado nutricional 2) se basa solamente en la palpación de la cobertura de la grasa subcutánea, 3) no es sensible para detectar cambios moderados en la condición corporal de los animales (Mejía *et al.*, 1997), 4) no permite discernir entre la cantidad de tejido adiposo y tejido muscular presente en el animal y 5) no toma en cuenta las posibles diferencias ligadas al genotipo. Debido a la problemática que existe con la estimación de la cantidad de reservas corporales mediante el método de palpación, diversos autores han tratado de encontrar metodologías alternas para estimar la cantidad de reservas corporales en los animales vivos. Así, Stanford *et al.* (1995) mostraron que es posible predecir *in vivo* la cantidad de tejido muscular en cabras Alpinas a partir de algunas mediciones corporales combinadas con el uso de ultrasonografía. Sin embargo, estos autores utilizaron animales jóvenes ( $101 \pm 2$  días de edad), de un solo tipo racial y con un estrecho rango de peso vivo ( $21 \pm 0.8$  Kg), por lo que sus resultados no pueden ser aplicados a cabras de otras razas y/o con diferentes edades y pesos corporales.



Alternativamente, diversos autores han propuesto que las concentraciones circulantes de algunas hormonas involucradas con la regulación del metabolismo como la IGF-I (factor de crecimiento análogo a la insulina tipo I), leptina y hormonas tiroideas (triyodotironina o T3 y la tetrayodotironina o T4) podrían ser utilizadas como indicadores del estado nutricional en los humanos y animales. Al respecto, Thissen *et al.* (1994) mencionan que las concentraciones circulantes de la hormona IGF-I podrían ser utilizadas como indicadores del estado nutricional en humanos. Numerosos trabajos han mostrado que IGF-I, además de estar involucrada en la regulación del metabolismo intermedio, puede modular la actividad reproductiva en diversas especies (Sakurai *et al.*, 2004). Por lo anterior, es necesario desarrollar metodologías alternas que permita evaluar el estado de las reservas corporales energéticas de las cabras *in vivo* de manera objetiva y precisa. Esta metodología ayudará a comprender mejor el impacto del nivel nutricional sobre la acumulación o movilización de las reservas corporales energéticas y, por consecuencia, sobre adaptaciones metabólicas asociadas a las mismas y a la función de reproducción. Asimismo, esta herramienta permitiría identificar a las cabras con un mayor desarrollo muscular y esta información sería de gran interés dentro de un programa de mejoramiento genético en dicha especie.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Estado Nutricional y Balance energético

El estado nutricional es la situación en la se encuentra un individuo en relación con la ingestión de alimento y los procesos fisiológicos que tienen lugar para el aprovechamiento de los nutrientes (Alimentación y nutrición, 2005). La ingestión de los alimentos aporta energía, que es producida por la oxidación de sustratos (carbohidratos, lípidos, y proteínas) y este proceso implica el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y la producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), agua y nitrógeno. El aporte energético es necesario para que las diversas funciones del organismo se realicen de forma inmediata, o para su almacenamiento y uso posterior. La energía producida se utiliza como adenosin trifosfato (ATP), que se requiere en diversos procesos como contracción muscular (mecánico), biosíntesis de diversas sustancias (química) y de transporte de sustancias (osmótica). La oxidación completa de un mol de carbohidratos (CHO), lípidos o proteínas requiere de cantidades diferentes de oxígeno ( $O_2$ ; 134, 515, 114 litros respectivamente). Más aún para lograr la combustión de una Kcal de CHO se necesitan 200 de  $O_2$ , para lípidos se necesitan 212 ml y para proteínas se necesitan 239 ml, por lo que la mayor eficiencia del uso de oxígeno se obtiene durante la combustión de CHO Como resultado de lo anterior la combustión de una Kcal de CHO, produce 200 ml de  $VCO_2$ , de lípidos 157 ml y de proteínas 191 ml. La cantidad de energía que se obtiene por litro de  $O_2$  a partir de CHO es de 5.05 kcal, para el caso de lípidos es de 4.69 kcal y para las proteínas es de 4.46 kcal.. Así mismo, por cada mol de ATP producido a partir de CHO se consumen 3.7 L  $O_2$ , en el caso de lípidos se consumen 3.9 L, y para proteínas se consumen 5 L (Iapichino *et al.*, 2006).

La liberación de energía por cada gramo de sustrato oxidado es de 4.18 Kcal/g por mezcla de CHO, 9.44 kcal por mezcla de lípidos y 4.7 kcal/g de proteínas. (Iapichino *et al.*, 2006).

Por su parte, el término “balance energético” describe específicamente la diferencia entre la energía metabolizable ingerida y el total de energía gastada por el organismo para mantener una función determinada (Blaxter, 1962). El

Sistema Nervioso Central (SNC) es el responsable de la regulación de la ingestión de alimento y del balance energético, a través de mecanismos que le permiten obtener información de la periferia y generan respuestas apropiadas en función de dicha información. Sin embargo, es importante mencionar que hasta la fecha estos mecanismos no han sido esclarecidos completamente.

El balance energético de un individuo está compuesto, de manera similar al estado nutricional, por el requerimiento de energía asociado al gasto calórico de las diversas funciones del organismo, el estado de reservas corporales energéticas y el consumo diario de alimento (Schneider, 2004). Cuando el animal consume más calorías que las que gasta aumenta de peso corporal, ya que el exceso de calorías se almacena principalmente en los depósitos del tejido adiposo corporal (en forma de triglicéridos) o bien es dispersado por el organismo en forma de calor. En esta situación se dice que el animal se encuentra en balance energético positivo. Si por el contrario, el consumo total de calorías es menor en relación al gasto energético, el animal utiliza la energía almacenada en sus reservas corporales para cubrir el déficit, resultando en una pérdida de peso corporal y en este contexto, se dice que el animal se encuentra en un balance energético negativo (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Cuando el consumo de energía es igual al gasto energético, se dice entonces que el animal se encuentra en un balance energético neutro.

En conclusión, la estabilidad del peso y de la composición corporal durante largos períodos exige un equilibrio entre el aporte y el gasto de energía. (Guyton, 2001).

### **2.1.1 Algunas señales metabólicas potencialmente asociadas al estado nutricional**

Los efectos de la nutrición en el comportamiento reproductivo están ampliamente asociados con cambios en la condición corporal (Gunn y Doney, 1975; Gunn *et al.*, 1979), lo que se refleja en cambios en las tasas de ovulación y de fertilidad. En este sentido, Lindsay (1976) sugirió que el efecto de la nutrición sobre los procesos reproductivos debería ser entendido en términos de un estado nutricional neto, que involucra tanto aspectos endógenos (reservas corporales energéticas: tejidos muscular y adiposo) como exógenos

(consumo de alimento). Por lo anterior, diversos autores han desarrollado algunas metodologías para estimar la amplitud de las reservas corporales en distintas especies (Santucci *et al.*, 1991; Stanford *et al.*, 1995; Delfa 1999 *et al.*, 1999).

Diversos autores han sugerido que las fluctuaciones dinámicas en las concentraciones circulantes de algunas hormonas y sustratos metabólicos observadas durante el periodo postprandial y postabsortivo, funcionan como señales que son captadas a nivel del SNC y que informan a éste del estado metabólico que guarda el organismo (Cameron *et al.*, 1985). Dentro de estas señales se encuentra la hormona del crecimiento (GH), el factor de crecimiento análogo a la insulina tipo I (IGF-I), la insulina, la leptina, la triyodotironina (T3) y tiroxina (T4; Wetteman y Bosis, 1999). Al respecto, Thissen *et al.* (1994) mencionan que las concentraciones circulantes de la hormona IGF-I podrían ser utilizadas como indicadores del estado nutricional en humanos ya que estos autores encontraron que las concentraciones circulantes de esta hormona aumentan o disminuyen en función del consumo de alimento y del estado de reservas corporales energéticas. A diferencia de lo anterior, hasta donde sabemos no existe información publicada al respecto en rumiantes, particularmente en la cabra. El papel que podrían jugar otras hormonas metabólicas (insulina, leptina) como indicadores del estado nutricional no ha sido estudiado en la cabra, pero son dos posibles candidatos pues las dos intervienen en el control de la ingestión voluntaria de alimento y de la función reproductiva (Schneider, 2004). Los metabolitos considerados como factores potenciales de saciedad en relación a los patrones de alimentación y reguladores del estado energético, son glucosa, los ácidos grasos no esterificados (AGNE), glicerol y los aminoácidos.

### **2.1.2 Reservas corporales energéticas**

Como se menciona anteriormente el estado nutricional y el balance energético de los animales, involucran un componente estático o estable representado por el peso vivo y las reservas corporales de energía (tejido muscular y adiposo), y un componente dinámico representado por el cambio de peso corporal y el consumo diario de alimento, el cual genera señales moduladoras del balance de energía y de la función reproductiva. (Schneider, 2004).

El balance energético negativo (BEN) provoca una movilización del tejido adiposo, tejido muscular y de las reservas glucogénicas hepáticas para compensar la falla en el aporte energético (Lucy *et al.*, 1991). Desde un punto de vista cuantitativo, el tejido adiposo y el tejido muscular representan los principales almacenes de energía corporal, siendo de mayor cantidad el tejido muscular, resultando así el que mayor porcentaje de energía aporta al organismo. El glucógeno hepático energéticamente juega un papel secundario en el aporte de energía al organismo, sobre todo a mediano y largo plazo. A continuación se describe brevemente los cambios metabólicos que ocurren en los tejidos adiposo y muscular en situaciones de déficit energético.

Los lípidos son depositados como triglicéridos ya sea en el tejido adiposo o en órganos como el hígado, para su empleo posterior. El almacenamiento en forma de triglicéridos tiene la ventaja de que la cantidad de energía que éstos liberan por unidad de peso es mayor en comparación a las proteínas y a los glúcidos (9 vs. 4 Mcal/Kg, respectivamente; Lapachino *et al.*, 2006).

#### *a) Movilización de Tejido Adiposo en respuesta a un Balance Energético Negativo.*

El tejido adiposo junto con el tejido hepático, es responsable del almacenamiento y la distribución de la energía requerida para las funciones orgánicas. Los triglicéridos almacenados pueden ser rápidamente movilizados y empleados como fuente de energía para las funciones vitales, siendo probablemente esta característica del tejido adiposo su función más importante (Shimada, 2005).

La energía consumida y absorbida en exceso a la requerida por el animal, se almacena ya sea como glucógeno o como grasa. El primer compuesto se sintetiza en cantidades modestas y constituye la reserva inicial de energía para las células. Por lo tanto, la principal forma de almacenamiento del nutrimento es como grasa; de hecho, la mayor parte de los glúcidos se transforman a grasa antes de ser empleados como fuente de energía (Shimada, 2005).

#### *Lipólisis.*

El catabolismo se inicia con la hidrólisis de los triglicéridos en el tejido adiposo, estimulada por vía hormonal como la GH y la epinefrina resultando en la liberación de glicerol y de ácidos grasos libres no esterificados; estos últimos forman un complejo con la albúmina sérica y al volverse entonces hidrosolubles, son transportados por vía sanguínea a los tejidos donde se oxidan en las mitocondrias celulares mediante el mecanismo llamado de beta oxidación previa activación en el citoplasma a la forma acetil coenzima A. Esta actividad lipolítica también ha sido observada con la ACTH (hormona adrenocorticotropa) y la TSH (hormona estimulante de la tiroides).

El glicerol liberado en la oxidación inicial de los triglicéridos del tejido adiposo, es transformado a gliceraldehído 3-fosfato, y empleado en la ruta de la glucólisis (Shimada, 2005)

La transformación de un ácido graso libre a su tioéster es un proceso que requiere energía en forma de ATP, como se resume a continuación para el ácido palmítico, donde  $R = CH_3 - (CH_2)_{12}$ . El proceso consiste en sustituir dos átomos de carbono, para transformar el tioéster original en 16 carbonos a uno de 14 carbonos, más una molécula de acetil CoA; el proceso se repite removiendo dos carbonos y sintetizando una acetil CoA en cada vuelta, de tal forma que el resultado final en siete vueltas es la producción total de ocho acetil coenzima A, siete  $FADH_2$  y siete NADH (Shimada, 2005).

Cada molécula de acetil CoA, al ser completamente oxidada en el ciclo de Krebs, libera 12 ATP's. Por otro lado, en el sistema de transporte de electrones, cada  $FADH_2$  y NADH producen 2 y 3 ATP's, respectivamente, por lo que la producción total de adenosina trifosfato será:  $(8 \text{ AcoA} \times 12 \text{ ATP}) + (7 \text{ FADH}_2 \times 2 \text{ ATP}) + (7 \text{ NADH}_2 \times 3 \text{ ATP}) = 131 \text{ ATP}$ . De la última cifra se restan los dos que se emplearon para la activación inicial, lo que nos da un valor neto de 129 ATP's obtenidos en la oxidación total de una molécula de ácido palmítico (Shimada, 2005).

La movilización de la grasa corporal varía de acuerdo con la severidad de la restricción de alimento (nivel de alimentación y duración) y a la grasa corporal inicial. Se informan pérdidas de 5.9 Kg. de grasa (equivalente al 28% de los

lípidos totales iniciales) en ovejas vacías y secas que tienen grasa corporal moderada (290 g lípidos/Kg. peso) y que consumieron 40% de sus requerimientos de mantenimiento durante ocho semanas (Chilliard *et al.*, 2000).

En este sentido, se observó que en ovejas con diferente cantidad de grasa corporal (10.3 vs 33.8 Kg.), que fueron sometidas a restricción de alimento de 21 semanas, perdieron cantidades similares de proteína, pero diferentes cantidades de grasa (6.3 vs 15.4 Kg.; Pannaretto, 1964 citado por Mora *et al.*, 2008), lo que podría sugerir que la pérdida es proporcional a la cantidad de grasa inicial.

#### *b) Movilización de Tejido Muscular en respuesta a un Balance Energético Negativo.*

La masa proteica del organismo, al igual que la adiposa, se encuentra en un estado de continua actividad, donde los tejidos son constantemente catabolizados y resintetizados. En periodos de ayuno (o por dieta) el organismo se alimenta selectivamente de sus propios tejidos para sobrevivir. A través del continuo recambio de proteínas, los animales tienen los medios, flexibilidad y velocidad de adaptación a pequeños o grandes cambios del ambiente. La tasa total de degradación esta sujeta a un control hormonal muy preciso involucrando las hormonas (Insulina, glucagón, adrenalina, noradrenalina, cortisol, hormona del crecimiento y factores de crecimiento; Goldberg y John, 1977). Este control hormonal regula la utilización de los sustratos metabólicos durante la gluconeogénesis (degradación proteica) así como la síntesis proteica.

#### Proteólisis.

La proteólisis es un proceso complejo, muy regulado y de alto gasto energético. Existen tres vías fundamentales de degradación de proteínas : a) proteólisis lisosomal; b) proteasas mitocondriales, y c) vía ubiquitín-proteasoma.

Los dos primeros incisos no tienen importancia cuantitativa en los procesos de degradación de proteínas. La mayoría de las proteínas son degradadas por la vía ubiquitín-proteasoma.

Por ejemplo en cerdas, la lactación representa un máximo de movilización proteica, orquestando anabolismo proteico intenso para la producción de leche y catabolismo de reservas proteicas, especialmente músculo esquelético. La expresión de elementos como ubiquitin proteosoma en la proteólisis sugiere una respuesta catalítica. El incremento en la expresión de RNAm que codifica para el complejo proteosoma sugiere degradación proteica muscular durante la lactación. Sin embargo, la regulación del catabolismo proteico en animales lactando permanece poco claro, y la participación de la proteólisis en el músculo es poco entendida (Clowes *et al.*, 2004).

Se ha demostrado que del 50% de los aminoácidos liberados por el tejido muscular durante el ayuno corresponde a alanina en el hombre y alanina y glutamina en ovejas. (Bergman y Heitmann, 1978). Estos aminoácidos son fuertemente gluconeogénicos: pueden derivarse de la trasaminación y así proveer un medio para que los tejidos periféricos metabolicen los esqueletos de otros aminoácidos con fines energéticos y después transportar el aminoácido excedente hacia el hígado en un forma de un aminoácido gluconeogénico. A medida que los aminoácidos son liberados pueden ser utilizados como fuente de energía (Maynard *et al.*, 1981).

Para ilustrar lo anterior, se explica lo que ocurre durante periodos de deficiencia alimentaria en mamíferos, varios investigadores ( ), han descrito, con base en la forma de utilización de la energía y de la proteína, tres fases metabólicas a través de los periodos prolongados de subnutrición.

Fase I: Periodo corto de adaptación (1-3 días). Se caracteriza por la utilización de glucogéno y lípidos, así como por una reducción neta en la utilización de proteínas.

Fase II: Corresponde a un largo periodo de ahorro proteínico, Está asociada con el uso de lípidos como fuente primaria de energía. La mayor parte del gasto energético depende de la oxidación de las grasas, la cual ocurre principalmente en la mitocondria del hepatocito y de los peroxisomas (Goodman y Ruderman, 1980 citado por Mora *et al.*, 2008; Belkhou *et al.*, 1991)



Fase III: Es una fase que se caracteriza por un marcado aumento en la utilización de proteínas (Le Maho *et al.*, 1981)

El paso entre las fases II y III no es resultado del agotamiento de los lípidos, porque el 10% al 20% de las reservas iniciales de lípidos permanecen aún disponibles durante dicha transición. (Belkhou *et al.*, 1991)

### **2.1.3 Utilización de sustratos metabólicos.**

El músculo esquelético consume grandes cantidades de oxígeno, derivado principalmente de los procesos de degradación de los ácidos grasos y/o glucosa. Los primeros se oxidan en periodos de tipo basal, con menor requerimiento energético, mientras que la glucosa se emplea en situaciones en las que se requiere un aporte inmediato (Shimada, 2005).

Las principales fuentes de energía del músculo esquelético son los ácidos grasos circulantes, la glucosa sanguínea, los cuerpos cetónicos y el ácido láctico; todos estos oxidados a través del ciclo de Krebs (Shimada, 2005).

El Sistema Nervioso Central en situaciones normales, emplea exclusivamente glucosa sanguínea como fuente de energía, por las vías glucolítica y del ácido tricarbóxico. En situaciones de deficiencia de glucosa metabólica, se piensa que el sistema es capaz de ajustar sus mecanismos enzimáticos al empleo del ácido beta hidroxibutirato derivado de la degradación de los ácidos grasos, como fuente de energía (Shimada, 2005).

Los riñones emplean como fuente de energía a la glucosa, ácidos grasos libres, los cuerpos cetónicos y los aminoácidos, todos los cuales son inicialmente degradados a acetil coenzima A y posteriormente oxidados a través del ciclo de Krebs para la formación final de bióxido de carbono y agua (Shimada, 2005).

## **2.2. Métodos de estimación de reservas corporales energéticas y balance de energía.**

Como se mencionó anteriormente, el estado nutricional expresa el grado en el que se satisfacen las necesidades de nutrientes en el animal. Para hacer una valoración del estado nutricional de un individuo es preciso considerar el cuerpo dividido en compartimentos (atómico, molecular, celular, histológico y corporal) totales. (Saiz, 1995). Es por esto que se han desarrollado metodologías para estimar el estado nutricional en las diferentes especies domésticas (Paz *et al.*, 2006; Rincón *et al.*, 2006; Salamanca *et al.*, 2006). Es importante resaltar que el uso apropiado de estas metodologías depende de que se tomen en cuenta las diferencias existentes entre las especies domésticas y el sexo de los animales. Por ejemplo, las canales de cabras son notables por el bajo contenido de grasa, especialmente en comparación con la especie ovina. El coeficiente de crecimiento de los depósitos de grasa, excepto los de ubre, del total de la canal disectable y el análisis químico de la grasa es mayor en hembras que en machos caprinos. La proporción músculo/proteína presente en la canal fue más alto en machos que en hembras. Así mismo, es importante considerar que los depósitos de grasa varían de acuerdo a las regiones anatómicas. El depósito de grasa intermuscular fue siempre mayor que el depósito de grasa subcutánea en cabras del mismo peso y de ambos sexos. (Colomer –Rocher *et al.*, 1992)

A continuación se describen, los principales métodos usados para estimar el estado nutricional y composición corporal de los animales vivos, principalmente en caprinos.

### **2.2.1 Método de Condición Corporal**

Como se mencionó la nutrición tiene efectos asociados con cambios en la condición corporal sobre los eventos reproductivos. En el caprino, la información concerniente a la evaluación del estado corporal en relación a la deposición de grasa y músculo de acuerdo con su actividad productiva es muy limitada, en comparación con la información existente en especies como la ovina y la bovina. El uso del método de condición corporal (CC) como

estrategia para estimar el estado corporal y la distribución de tejidos grasos en pequeños rumiantes se ha desarrollado fundamentalmente para la evaluación de ovinos (Jefferies, 1961; Russel et al., 1969) y se adaptó tal cual para su uso en caprinos. Así como diversos autores han mostrado que la condición corporal puede ser utilizada como un estimador de la cantidad de reservas lipídicas corporales (Russel *et al.*, 1969; Santucci *et al.*, 1991). Santucci y Maestrini (1985) desarrollaron un método para la valoración de la condición corporal en cabras usando una escala que va de 0 a 5. La calificación de la condición corporal de un animal se obtiene mediante la palpación de dos regiones anatómicas: el esternón y las vértebras lumbares, ya que la grasa esternal es la única grasa subcutánea que puede ser distinguida por palpación en cabras.

El método referido es el siguiente: primero se debe juzgar la prominencia de las vértebras lumbares mediante palpación; la angulosidad y el grado de cobertura al final de las apófisis transversas de las vértebras lumbares. La cantidad del tejido muscular y grasa por debajo de las apófisis transversas de las vértebras lumbares, se evalúa sujetando las vértebras lumbares entre los dedos medios índice y pulgar. Para apreciar la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* y la cantidad de la grasa subcutánea, se palpa el tejido que queda entre las apófisis espinosas y transversas.

Grado 0. Es muy difícil de encontrar, ya que los animales están extremadamente emaciados y a punto de morir.

Grado 1: Las apófisis espinosas están prominentes y angulosas, las apófisis transversas también están angulosas, los dedos pasan fácilmente por debajo de los extremos de las apófisis pudiendo sentir cada apófisis, el músculo *Longissimus dorsi* es poco profundo y casi no tiene grasa subcutánea encima.

Grado 2: Las apófisis espinosas se sienten prominentes. Debajo de la piel un tejido liso se puede sentir como corrugaciones finas; las apófisis transversas están lisas y redondas, y se pueden pasar los dedos por debajo de los extremos de las apófisis ejerciendo poca presión; la profundidad del *Longissimus dorsi* es moderada y la grasa subcutánea es escasa.

Grado 3: Las apófisis espinosas tienen una pequeña elevación, están lisas y redondeadas, se puede sentir un poco de tejido si se ejerce una ligera presión con los dedos; las apófisis transversas están lisas y bien cubiertas, se requiere de una presión libre para sentir sus extremos, el músculo *Longísimus dorsi* esta totalmente cubierto con una moderada cantidad de grasa subcutánea.

Grado 4: Las apófisis espinosas se detectan solo si se ejerce una presión firme en sus extremos; el músculo *Longísimus dorsi* está completamente cubierto con una capa gruesa de grasa subcutánea; las apófisis transversas no se sienten.

Grado 5: Las apófisis espinosas no se pueden sentir al menos que se ejerza una presión muy intensa, hay una depresión en la grasa subcutánea cuando las apófisis espinosas podrían sentirse normalmente, las apófisis transversas no pueden sentirse; el músculo *Longísimus dorsi* esta completamente cubierto por una muy gruesa capa de grasa subcutánea, puede haber grandes depósitos de grasa en la pelvis y base de la cola.

A nivel de campo, la valoración de la CC por palpación es la medida más sencilla para estimar el estado nutricional del animal (Jimeno et al., 2003).

Así mismo, esta técnica de condición corporal no implica gastos adicionales, manejo de corrales o básculas ganaderas (Armin et al., 2002). Por otro lado, Cabiddu et al., (1999) y Mendizábal et al., (2006) destacan el uso de la calificación de la condición corporal como una útil herramienta para estimar el estatus de energía y el estado nutricional que tienen las cabras en sistemas de producción extensivos; otros autores mencionan que la condición corporal es una herramienta que indica el estado alimenticio del animal, el cual entre menor sea corresponde a un animal con un pobre estado nutricional y/o a una mayor necesidad metabólica, movilizandando grasa y músculo (Mora et al., 1996; Gómez Pastén, dato no publicado; Vatta et al., 2002). Esto último ocurre por ejemplo, durante el crecimiento, la gestación, la época de lactancia y la infección por nemátodos gastrointestinales.

Sin embargo, esta última metodología presenta varios inconvenientes: 1) es una evaluación subjetiva del estado nutricional de los animales (Frutos *et al.*, 1993), 2) se basa solamente en la palpación de la cobertura de la grasa subcutánea, 3) no es sensible para detectar cambios moderados en la composición corporal de los animales (Mejía *et al.*, 1997), 4) no permite discernir entre la cantidad de tejido adiposo y tejido muscular presente en el animal y 5) no toma en cuenta las posibles diferencias ligadas al genotipo.

### **2.2.2 Peso Vivo**

El método consiste en la pesada de los animales in vivo con la ayuda de una báscula.

En la especie ovina existen trabajos en que se utiliza el peso vivo vacío que se obtiene pesando al cordero momento antes del sacrificio y restando el peso de su tracto digestivo, encontrando una correlación positiva entre el peso vivo vacío y el peso de grasa, músculo y hueso de la canal, en ese orden (Jiménez, 2000).

En un estudio Gómez-Pasten *et al.*, (datos no publicados), trabajando con 21 cabras Nubian adultas, con un periodo de restricción de 36 semanas, siendo los siguientes 0%, 20% y 40% de la ingesta de alimento, observaron disminución del peso vivo, resaltando la capacidad de adaptación de esta especie en cuanto a periodos de restricción alimenticia.

El peso vivo es altamente variable, debido a que los porcentajes de proteína, grasa y agua del cuerpo pueden variar. Así, cuando se moviliza el tejido graso en grandes cantidades, como ocurre al inicio de la lactación este puede ser sustituido parcialmente por agua, evidenciando su desventaja (Reid and Robb, 1971; Staufenbiel *et al.*, 1993). Cuando la masa corporal es agotada, la sustitución parcial de agua en los tejidos es observada especialmente al inicio de la lactación, movilizándose la grasa en grandes cantidades y perdiendo peso vivo (Moe *et al.*, 1971). Ya que el peso vivo incluye al contenido gastrointestinal, éste puede variar en función de la ingestión de materia seca y

el tiempo transcurrido desde la última comida. Consecuentemente, el peso vivo por sí solo no parece ser un método de predicción preciso del estado nutricional del animal (Boisclair *et al.*, 1986).

### **2.2.3. Mediciones zoométricas.**

La zoometría estudia las formas de los animales mediante mediciones corporales concretas que nos permiten cuantificar la conformación corporal.

En las explotaciones pecuarias no siempre se dispone de báscula para determinar el peso vivo. Por lo tanto, se han desarrollado metodologías alternativas para estimar el estado nutricional de los animales a partir de algunas mediciones zoométricas. Dentro de estas se ha usado la circunferencia torácica a nivel del corazón, la altura del animal, el ancho de la cadera o el largo del cuerpo. Heinrisch *et al.*, (1992) demostraron que cada una de estas mediciones es conveniente para la predicción del peso vivo en bovinos ( $R^2 > 0.95$ ).

Estas mediciones zoométricas han sido usadas para estimar el estado nutricional, primero en ovinos y luego en caprinos, pero se han encontrado variación ligada a la edad, sexo y raza de los animales lo que ha limitado su uso. Además estas mediciones no permiten distinguir entre músculo y grasa lo que limita aún más su utilización (Stanford *et al.*, 1995)

### **2.2.4 Ultrasonido**

La técnica de ultrasonografía ha sido usada en recientes décadas, especialmente en animales vivos demostrando una mejor exactitud en la predicción de la composición corporal, con esto, dentro de los programas de mejoramiento genético ha aumentado la habilidad, precisión y la facilidad de la estimación de la composición corporal en animales vivos (Wilson, 1992; Moeller, 2002; Corral de Mesta *et al.*, 2004). Sin embargo, se ha publicado poco sobre la utilización en ganado caprino. En estudios más recientes, Delfa *et al.*, (1999) efectuaron medidas del espesor de grasa subcutánea lumbar y profundidad del músculo *Longissimus dorsi*, así como medidas de espesor de grasa esternal a nivel de la 2ª, 3ª, 4ª esternebra en su punto medio, en cabritos de raza *Blanca Celtibérica* determinando que es un método para predecir la

composición de la canal y de gran utilidad para evaluar el estado corporal de los cabritos. El desarrollo de técnicas confiables, no invasivas y de fácil uso en animales vivos, permiten medir con exactitud los cambios en la composición corporal en respuesta a la ingesta de nutrientes. El bajo costo y facilidad de transporte del equipo del ultrasonido ha permitido incorporar las mediciones de ultrasonido para la predicción de composición corporal.

Sin embargo, el escaso grosor de la grasa y la movilidad de la piel en cabras es una de las limitaciones de esta técnica. En ovejas, la presencia de lana y pelo impide la exactitud del ultrasonido de la capas de grasa subcutánea (Purchas y Beach, 1981). Fernandez *et al.*, 1998 sugiere que la dificultad de identificar las líneas divisorias entre músculo y grasa en ovejas se debe a la presencia de capas musculares interlineadas con grasa. En bovinos el gran tamaño del área del músculo *longissimus* dificulta captar la imagen del ultrasonido.

### **2.2.5 Espacios de Urea**

Espacios de urea es un proceso que se distribuye uniformemente a través de un compartimiento del cuerpo del animal y ha sido usado en la predicción de composición corporal en rumiantes, vacuno y ovino. Se estima el agua corporal que se calcula la relación entre la dosis inyectada y el incremento de urea en el plasma, una vez alcanzado el equilibrio, es utilizado por ser fácil y simple para analizar y obtener resultados con mayor precisión y se ha aplicado en cabras pero basándose en gran medida en resultados de vacuno y ovino. (Asmare *et al.*, 2006).

Una vez extrapolada la concentración plasmática de urea al tiempo cero, este valor se considera como el punto de equilibrio de la urea con el agua corporal y siempre es superior a la concentración basal del marcador. Los resultados demuestran la posibilidad de utilizar el espacio de urea como un indicador de la composición corporal. El tiempo requerido para alcanzar el punto de equilibrio puede variar de un animal a otro, pero oscila entre 15 y 25 minutos; al ser tan sensible se debe considerar los siguientes parámetros: el tiempo, la dosis promedio y precisión en muestreo.

La urea, debido a su bajo costo y mínimos requerimientos técnicos necesarios, para su determinación en plasma, ha sido propuesta como una alternativa para la estimación de la composición corporal, considerando que es menos exacta en la estimación del agua corporal (Bas *et al.*, 1991).

Las técnicas de dilución para medir agua corporal se basan en la utilización de un trazador biológico, como el, óxido de deuterio y tritio que se han utilizado en bovinos (Arnold., *et al* 1985). Sin embargo el costo y la complejidad de los procedimientos analíticos, unido a las dificultades asociadas con el uso de isótopos radiactivos, han limitado grandemente su empleo.

### **2.2.6 Tomografía Computarizada.**

El uso de tomografía computarizada en vivo se utiliza sólo en animales pequeños, como los ovinos, cabras, aves y cerdo debido a la escala humana del equipo (Vangen, 1989).

Son limitados los estudios del uso de tomografía computarizada en la predicción de composición corporal en ovejas. Junkuszew *et al.*, 2005 en un estudio con ovejas indica que comprando la ultrasonografía y la tomografía computarizada, es más precisa esta última para la predicción de la composición corporal. Sin embargo el elevado costo de la tomografía computarizada puede igualmente resultar limitado.

### **2.2.7 Perfil metabólico**

Otras técnicas para la estimación del balance de energía es el análisis del estatus metabólico usando muestras de sangre para determinar las concentraciones de algunas hormonas y metabolitos. Las concentraciones plasmáticas de glucosa, colesterol, urea, insulina, factor de crecimiento tipo insulina 1, triyodotironina y tiroxina han sido correlacionadas positivamente con el balance de energía. En contraste, concentraciones de ácidos grasos libres, creatinina, albumina, betahidroxibutirato (BHBA), la hormona de crecimiento han sido correlacionadas negativamente con balance de energía (Kunz *et al.*, 1985; Reist *et al.*, 2002).



El beneficio del perfil metabólico es que provee el estado real del animal en actual y corto plazo (Schröder y Staufenbiel, 2005). Es evidente que sus desventajas de este método es el elevado costo de los muestreos sanguíneos y de laboratorio, así como la demora de tiempo en el manejo de los animales.

## **2.3 Hormonas del eje somatotropo: GH e IGF-I.**

### **2.3.1 Secreción y efectos metabólicos.**

Debido a la escasa información del eje somatotropo en cabras, esta revisión se centra en lo reportado en otras especies.

El eje somatotropo está constituido por las hormonas hipotalámicas GHRH y somatostatina, de la hormona hipofisiaria GH, de factores de crecimiento de origen periférico: IGF-I e IGF-II y por las proteínas transportadoras de IGF's (IGFBP) y de GH (GHBP; Bonneau, 1991).

La GH es una hormona proteica que posee 191 aminoácidos (en humanos), siendo secretada de manera pulsátil, principalmente bajo el control de la GHRH (estimuladora) y de la somatostatina (inhibidora). La GH circula esencialmente unida a la GHBP. Si bien la hipófisis es el principal sitio de secreción de GH, otros tejidos como la glándula mamaria, el timo, el bazo y las células sanguíneas pueden sintetizar esta hormona (Pankov *et al.*, 1999). La GH actúa sobre sus tejidos blanco de manera directa, o bien, por medio de los IGF's (acción indirecta), sobre todo a través de la IGF-I, cuya secreción es estimulada por la GH. El IGF-I e IGF-II poseen 70 y 67 aminoácidos, respectivamente, así como una fuerte homología estructural con la insulina y pueden simular los efectos metabólicos de ésta (Murray *et al.*, 1999). Estas hormonas estimulan el anabolismo de numerosas células y tejidos, induciendo la síntesis de DNA y de diversas proteínas (Jones y Clemmons, 1995). Al parecer, IGF-II es un factor de crecimiento importante en el caso de los fetos y de los lechones, mientras que IGF-I lo es en el caso de cerdos en crecimiento y adultos. El IGF-I se sintetiza principalmente en el hígado, pero también es sintetizado por numerosos tejidos y órganos, como en los tejidos adiposo, muscular y ovárico (Vikman *et al.*, 1991a,b; Coleman *et al.*, 1994). El IGF-I de origen hepático representa más del 60% del IGF-I circulante, la secreción de éste varía durante el transcurso del crecimiento y es influenciada por el estado nutricional y hormonal (Cohick y Clemmons, 1993). Hasta la fecha se han identificado seis tipos de proteínas transportadoras de IGF (IGFBP-I al 6). Estas proteínas acarreadoras pueden estimular la actividad biológica de los IGF's al aumentar su vida media en la sangre, o pueden inhibirla al limitar la unión de los IGF's con sus receptores específicos (Jones y Clemmons, 1995). Se ha demostrado

que menos del 5% de IGF-I circula libre y que alrededor del 90% de la hormona se encuentra unida a la IGFBP-3, la principal proteína transportadora de IGF-I. Sin embargo, este último valor puede modificarse en función del estado nutricional del animal, como en caso de un bajo consumo de proteínas y/o de energía (revisado por: Thissen *et al.*, 1994). Las concentraciones plasmáticas de IGF-I y de GH regulan la secreción de GH mediante mecanismos de retrocontrol a nivel hipotalámico e hipofisiario.

La importancia del eje somatotropo en la regulación del crecimiento y del metabolismo tanto energético como proteico esta bien establecida en las especies domésticas (revisado por: Breier, 1999). La GH es esencial para el crecimiento posnatal y para el metabolismo de los glúcidos, lípidos, proteínas y minerales (revisión: Murray *et al.*, 1999). Los efectos de GH sobre el crecimiento requieren de la intervención de IGF-I. La GH aumenta el transporte de aminoácidos en las células musculares y la síntesis proteica, usando dos mecanismos diferentes. En este sentido, las acciones de la GH se asemejan a ciertos efectos de la insulina. En contraste, los efectos de la GH sobre el metabolismo de los carbohidratos son generalmente antagónicos a los de la insulina. Así, un incremento en las concentraciones de GH induce una disminución en la utilización periférica de glucosa combinada con un aumento en la producción hepática de este metabolito vía la gluconeogénesis. Además, la GH favorece la liberación de ácidos grasos libres y de glicerol a nivel del tejido adiposo, acompañada de una oxidación acelerada de los ácidos grasos libres presentes en el hígado. Estos efectos y los efectos sobre el metabolismo de los carbohidratos, probablemente son independientes de IGF-I. Finalmente, la GH y posiblemente más IGF-I, favorecen que se presente un balance positivo de calcio, magnesio y de fósforo y provoca la retención de iones  $\text{Cl}^-$  y cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . La GH e IGF-I tienen, entonces, un efecto positivo sobre el metabolismo de los minerales y el crecimiento óseo.

Es necesario resaltar que, en condiciones de anabolismo, un aumento en las concentraciones de GH se acompaña de una elevación en las concentraciones de IGF-I. En contraste, durante un estado catabólico, la concentración sanguínea de GH aumenta mientras que la de IGF-I disminuye. Por esta razón frecuentemente es difícil separar los efectos de estas dos hormonas sobre el crecimiento y el metabolismo. Numerosos trabajos han mostrado que IGF-I,

además de estar involucrada en la regulación del metabolismo intermedio, puede modular la actividad reproductiva en diversas especies (Sakurai *et al.*, 2004).

### **2.3.2. IGF-I y el estado nutricional.**

El estado nutricional juega un papel importante en la regulación de los niveles de circulación de GH, IGF-I y proteínas ligadoras y receptores de membrana celulares en rumiantes (Breier, 1999). El ayuno prolongado de animales en crecimiento causa incremento de GH en plasma (Hornick *et al.*, 1998). Puede ser, que en moderada y severa restricción alimenticia (Renaville *et al.*, 2000), animales desnutridos (Ritacco *et al.*, 1997) o destete (Carroll *et al.*, 1998) haya un decremento en concentraciones de IGF-I.

Ahora bien, la realimentación de animales después de 48 horas de ayuno normalizan los niveles de IGF-I después de 2 horas (Hornick *et al.*, 1998).

Así también, existen efectos nutricionales en humanos por las concentraciones circulantes de IGF-I (Jones y Clemmons, 1995). No obstante, ya que la GH es el controlador principal de la secreción de IGF-I hepática, bajo condiciones de desnutrición cuando las concentraciones de GH son incrementadas, las concentraciones de IGF-I son disminuidas (Bossis *et al.*, 1999; Grant *et al.*, 1973). Pero los mecanismos responsables del incremento de secreción de GH en la restricción alimenticia en otras especies no son bien entendidos (Thissen, 1991).

### **2.3.3 Eje somatotropo y reproducción**

En estudios en vacas y ovejas, se ha observado que la restricción en el consumo de alimento provoca un incremento en la concentración sanguínea de la GH (Thomas *et al.*, 1994; Bossis *et al.*, 1999). En un estudio con ovejas gordas y flacas, la concentración sanguínea de GH fue alta en los animales flacos mientras que la concentración de LH fue baja (Henry *et al.*, 2004). En borregos, se sugirió que la GH no parece estar involucrada en la estimulación de la secreción de GnRH, por que un incremento en el plano nutricional indujo

el decremento en la concentración sanguínea de ésta hormona (Miller *et al.*, 1998). La presencia del ARNm del receptor de la GH en el hipotálamo y la hipófisis, incrementa la posibilidad de que esta hormona juegue un papel en la regulación de la secreción de gonadotropinas (Lucy *et al.*, 1998). Sin embargo, los resultados son poco concluyentes y con las presentes evidencias sólo se puede especular un posible efecto negativo en la secreción de gonadotropinas.

El sistema hormonal IGF-I se ha propuesto como un importante mediador del estado nutricional en los efectos sobre la reproducción de rumiantes (Schillo, 1992). Con respecto a ello, se ha observado que vacas lecheras en balance energético positivo, presentan mayores niveles sanguíneos de IGF-I y reinicio de actividad ovárica más temprano, que las que se encuentran en balance energético negativo (Beam *et al.*, 1997; Beam y Butler, 1999). En ovejas, el grupo de animales con una condición corporal alta presentó mayor concentración sanguínea de IGF-I y de LH comparado con el grupo de baja (Zinder *et al.*, 1999). El ayuno por 72 horas en ovejas, también ocasionó una disminución de la concentración sanguínea de IGF-I, la cual permaneció baja hasta la realimentación (Kiyama *et al.*, 2004). Adam *et al.*, (1997) reportaron que un incremento en la circulación de IGF-I dentro del rango fisiológico estimula la secreción de LH en borregos. En un estudio con células pituitarias de bovino, se observó que el IGF-I interactúa con los estrógenos incrementando la respuesta a GnRH, y por lo tanto la secreción de LH (Hashizume *et al.*, 2002). Aunque se ha sugerido que en borregos, es poco probable que el IGF-I actúe como mediador del estado nutricional a nivel central (Blache *et al.*, 2000), la generalidad de los estudios en vacas y ovejas, indican que esta hormona es parte de las señales del estado nutricional, y un importante regulador en la secreción de LH.

Ya que la correlación negativa entre balance de energía y concentraciones de IGF-1 al inicio de la lactancia y el rol de IGF-I en esteroidogénesis, la IGF-I toma el papel de mediador entre balance de energía y los eventos reproductivos.

### III. HIPÓTESIS

Mediante el uso de medidas zoométricas, ultrasonográficas y/o mediciones de hormonas metabólicas (IGF-I), es posible estimar el estado nutricional energético (reservas corporales energéticas) y la composición corporal en cabras reproductoras, de manera objetiva y precisa.

### IV. OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL.

Generar una herramienta que permita predecir *in vivo* la cantidad y el tipo de reservas corporales (musculares o adiposas) que poseen las cabras, de manera objetiva y precisa.

#### OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Determinar las similitudes y/o diferencias existentes entre cabras productoras de leche y cabras productoras de carne en cuanto a la cantidad y tipo de reservas corporales energéticas.
2. Determinar si las concentraciones plasmáticas de la hormona metabólica IGF-I pueden ser utilizadas en las cabras como indicadores del estado nutricional, respectivamente.
3. Generar ecuaciones de predicción para estimar *in vivo* la cantidad de tejido adiposo y muscular presentes en las cabras productoras de leche o carne a partir de una serie de mediciones corporales, ultrasonográficas y mediciones hormonales.

## V. MATERIAL Y MÉTODOS

### *Descripción física.*

Para cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo, la investigación se realizó en la granja caprina del CENIFA/INIFAP, ubicada en Km. 1 de la carretera Colón-Ajuchitlán, municipio de Colón, Querétaro. Con una ubicación a 12° 00' 00" longitud oeste y a 20° 43' 00" latitud norte a una altura de 1950 msnm. El clima predominante de la zona es semi-seco templado, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 640 mm y una temperatura media anual de 14°C.

### *Manejo General.*

Se utilizaron 59 cabras de dos genotipos: Sannen (n=18) y Criolla (n=41), con una edad aproximada de 3 a 4 años, libres de problemas clínicos y no gestantes ni en lactación. Las hembras fueron divididas en dos grupos experimentales de acuerdo a su condición corporal (escala 1-5) de acuerdo al método propuesto por Santucci *et al.* (1991): BAJA (0.9 a 1.9) ó MEDIA (2.0 a 3.0). Durante la fase previa al inicio del experimento, cada uno de estos grupos recibió una dieta integral por un periodo de 12 semanas variando la cantidad ofrecida para mantener o establecer estas diferencias (Cuadro 1). Las cabras se mantuvieron en corrales comunes de acuerdo a su condición corporal, con agua a libre acceso y sólo se mantuvieron en corraletas individuales para recibir el alimento una vez al día (entre 9:00 y 12:00) de manera controlada. En caso de existir rechazos de alimento, éstos fueron retirados a las 12:00 horas y pesados posteriormente para determinar el consumo neto de cada animal. Una vez terminado este periodo, comenzó la fase experimental, la cual tuvo una duración de 42 días. Todas las cabras fueron sacrificadas al día siguiente de concluida la fase experimental (día 43).

### *Pesaje, condición corporal y mediciones.*

Al fin de este periodo de adaptación de 12 semanas, se registró el peso vivo (PV) de las cabras después de un ayuno de 20 a 22 horas y se evaluó la

condición corporal (CC) mediante palpación (dos evaluadores), al inicio del experimento (día 0) y a los 14, 28 y 42 días subsecuentes. En esos mismos días se realizaron diferentes mediciones zoométricas: se determinó la altura del animal a nivel de la cruz (AC) y de la pierna (AP), el ancho de la cadera (ANC), la circunferencia torácica a nivel del corazón (CIRT), el largo del animal (LA; de la cruz hasta el inicio de la cola), circunferencia de la pierna (CIRP) y el largo del fémur (LF). El espesor del músculo Gran Dorsal (MD1) y de la grasa dorsal (GD1) subcutánea sobre la línea media a nivel de la 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> costillas (Zona 1), el espesor del músculo Gran Dorsal (MD2) y de la grasa dorsal (GD2) subcutánea sobre la línea media entre la 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> vértebra lumbar (Zona 2; Figura 1), el espesor de la grasa esternal subcutánea (GES), músculo esternal (MEST) y de todos los tejidos entre la piel y el esternón (TEST; Figura 2) fueron estimados usando un equipo de ultrasonografía (Honda, HS2000) provisto de un transductor convexo multifrecuencias (2.8 a 5 Mhz).

#### *Muestreo sanguíneo.*

Al inicio, a la mitad y al final del experimento (14, 28, 42 días) se obtuvo una muestra sanguínea por la mañana antes de la distribución alimenticia (8-9 h) y otra por la tarde (14-15 h) por punción de la vena yugular, la sangre (10 mL) se recuperó en tubos con heparina, colocados inmediatamente en hielo y centrifugados durante 15 minutos para recuperación del plasma y se almacenaron a -60° C para su posterior análisis.

#### *Determinación hormonal.*

Se determinaron las concentraciones plasmáticas de IGF-I por duplicado mediante Inmunoradiométrico con extracción, usando un estuche comercial (Coated tube IRMA; Diagnostic Systems Laboratorios Inc. (DSL). El coeficiente de variación intraensayo e interensayos fue de 3.4% y 8.2%, respectivamente.

#### *Mediciones al sacrificio.*

Una vez que las cabras fueron sacrificadas (día 43), se pesó la sangre, cabeza, patas, piel, tubo digestivo vacío, se registró la cantidad de grasa visceral (mesentérica+omental+perirrenal) y las canales se pesaron, cortando en dos mitades sobre la línea media y almacenaron en un cuarto frío mantenido a 4 °



C. Después de 24 horas, sobre la mitad izquierda se midió con una regla milimétrica el espesor de la grasa subcutánea y del músculo en los mismos sitios donde se realizaron las mediciones ultrasonográficas, la canal izquierda se disecó en tejido graso (grasa intermuscular+grasa interna=GRASA), muscular (incluyendo tejido conectivo y grasa intramuscular no separable=MUS) y tejido óseo (Hueso). Se utilizó un factor de corrección para corregir el corte de la mitad izquierda, si no fue exactamente el corte a la mitad, la fórmula fue (factor de corrección=canal fría/mitad izquierda)

#### *Análisis estadístico.*

Los resultados obtenidos de los métodos empleados (condición corporal, medidas zoométricas y ultrasonograficas; tomando el promedio de las 3 mediciones), fueron sometidos a un análisis de varianza para un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial de 2 x 2 siendo el factor A la raza y el factor B el grupo de condición corporal.

Para la variable concentración plasmática de IGF-I, se sometieron a un análisis de mediciones repetidas en el tiempo, usando el procedimiento PROC MIXED del paquete estadístico SAS (2002).

Para las variables de respuesta Músculo, Grasa, Reservas Corporales Energéticas (tejido graso+tejido muscular), se sometieron a un análisis de regresión múltiple (stepwise) y correlación Pearson usando el paquete estadístico SAS (2002).

Para el análisis de regresión y correlación la variable condición corporal (CC) es categórica, pero para este estudio se sacó el promedio de las tres mediciones considerándola de este modo una variable numérica.

El modelo se expresa:

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \dots + \beta_k x_{kj} + e_j$$

Modelo para ecuaciones con CC y medidas zoométricas

$y_j$  = Músculo, Grasa, Reservas Corporales Energéticas.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_i X_{1j}$  = CC

$\beta_i X_{2j} \dots \beta_k X_{kj}$  = Medidas Zoometricas.

Modelo para ecuaciones con CC, PV y medidas zoométricas

$y_j$  = Músculo, Grasa, Reservas Corporales Energéticas.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_i X_{1j}$  = CC

$\beta_i X_{2j}$  = PV.

$\beta_i X_{3j} \dots \beta_k X_{kj}$  = Medidas Zoometricas.

Modelo para ecuaciones con CC, PV, medidas zoométricas, medidas ultrasonográficas y mediciones hormonales.

$y_j$  = Músculo, Grasa, Reservas Corporales Energéticas.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_i X_{1j}$  = CC

$\beta_i X_{2j}$  = PV.

$\beta_i X_{3j} \dots \beta_k X_{kj}$  = Medidas zoométricas, mediciones ultrasonográficas y mediciones hormonales.

## **VI. RESULTADOS.**

### *Peso vivo y condición corporal.*

El peso vivo y la condición corporal de los animales de acuerdo al genotipo y grupo de condición corporal se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo experimental. Como se esperaba, en los resultados se observa que las cabras Sannen tienen un mayor peso corporal en comparación con las del genotipo criollo ( $P < 0.0001$ ). De manera similar el peso de las cabras del grupo baja fue menor que el observado en las cabras de grupo media independientemente del grupo racial (Cuadro 2). Igualmente, como se esperaba la condición corporal fue diferente entre los grupos experimentales (condición corporal baja 1.5 vs 2.4 media;  $P < 0.0001$ ). La condición corporal no fue diferente ( $P > 0.09$ ) entre los genotipos durante los periodos inicial e intermedio del experimento. En contraste, al final del periodo experimental se observó un efecto del grupo racial en esta variable (condición corporal criolla 1.75 vs 2.0 en Sannen;  $P < 0.02$ ). La interacción raza\*grupo no fue significativa ( $P > 0.61$ ) para ninguna de las dos variables (peso vivo y condición corporal).

### *Mediciones ultrasonográficas*

En el Cuadro 3 se describen las diferentes variables evaluadas mediante ultrasonografía. No se encontraron diferencias ni entre los grupos experimentales ni entre los genotipos empleados en este experimento ( $P > 0.08$ ) en las variables grasa dorsal subcutánea, espesor del músculo Gran Dorsal, grasa esternal y todas las capas de la región esternal (piel+grasa+músculo; Cuadro 4). Se encontraron diferencias ( $P < 0.01$ ) en la variable todo región dorsal (piel+grasa+músculo), siendo de 22.2 mm para genotipo criollo contra 20.0 mm en las cabras Sannen. No se encontraron interacciones raza\*grupo significativas entre los dos genotipos o entre los dos grupos de condición corporal en las diferentes variables ultrasonográficas ( $P > 0.08$ ; Cuadro 4).

### *Mediciones zoométricas*

En el Cuadro 5 se describen las diferentes variables determinadas mediante zoometría. Se encontraron diferencias entre genotipos ( $P < 0.01$ ) en las variables alto de la cruz, alto de la pierna, largo del animal, circunferencia

torácica, ancho de la cadera y largo del fémur (Cuadro 6). Los valores de todas estas variables fueron mayores en la raza Sannen que en el genotipo criollo. No se encontró diferencia ( $P>0.20$ ) en la variable circunferencia de la pierna entre genotipos (Cuadro 6). No se encontraron diferencias ( $P>0.11$ ) entre los grupos de condición corporal en las variables alto de la cruz, alto de la pierna, largo del animal, circunferencia torácica, circunferencia de la pierna y largo del fémur (Cuadro 6). Sin embargo, si se encontró diferencia ( $P<0.01$ ) en la variable ancho de la cadera, siendo 18.8 cm para el genotipo criollo vs 21.3 para las cabras Sannen. No se encontraron interacciones raza\*grupo significativas entre los genotipos o entre los grupos de condición corporal en las distintas variables zoométricas ( $P>0.08$ ).

#### *Medición hormonal.*

Las concentraciones plasmáticas de IGF-I en el transcurso del experimento se muestran en el Cuadro 7. No se encontraron diferencias en las concentraciones de IGF-I entre horas del día ( $P>0.30$ ; dato no mostrado). Debido a lo anterior, se utilizó el promedio de las dos mediciones efectuadas durante el día para el análisis de los datos. Durante toda la fase experimental, se observó que las concentraciones circulantes de esta hormona fueron mayores ( $P<0.001$ ) en las cabras Sannen que en las cabras criollas (IGF-1:  $247.5\pm 17.65$  vs  $116.7\pm 11.59$  ng/ml, respectivamente; Gráfica 2). Las concentraciones circulantes de IGF-I fueron diferentes entre grupos de condición corporal, fueron mayores ( $P<0.01$ ) en las cabras del grupo de condición corporal medio que las observadas en el grupo baja (IGF-I grupo media:  $212.0\pm 14.97$  vs  $152.2\pm 14.89$  ng/ml grupo baja, en promedio). La interacción raza\*grupo tiende no es significativa para esta variable ( $P>0.05$ ).

#### *Composición corporal.*

Las variables determinadas alrededor del momento del sacrificio de las cabras se muestran en el Cuadro 8. El peso de la canal caliente, fue mayor ( $P<0.0001$ ) en las cabras Sannen y hembras del grupo de condición corporal medio con respecto a las cabras criollas y a las hembras de condición corporal baja (Cuadro 8). Los valores de grasa total (perirrenal+abdomninal+intermuscular) fueron superiores ( $P<0.0001$ ) en las cabras Sannen y en el grupo de condición

corporal media en relación al genotipo criollo y al grupo baja (Sannen 8.25 vs criolla 4.2 kg, condición corporal media 7.4 vs baja 5.05 kg, respectivamente). La cantidad de músculo total es mayor ( $P<0.0001$ ) en las cabras Sannen y en el grupo de condición corporal media en comparación con el genotipo criollo y al grupo de baja (Sannen 12.3 vs criolla 7.35 kg, condición corporal media 11.35 vs baja 9.3 kg, respectivamente). En proporción las cabras de la raza Sannen contienen más grasa con respecto al peso vivo en comparación con el genotipo criollo 7.5 vs 4.5%, respectivamente. Con respecto a al tejido muscular las cabras del genotipo criollo en proporción contienen más músculo en comparación con la raza Sannen 58.4 vs 54.6%, respectivamente. La cantidad de tejido óseo es superior ( $P<0.0001$ ) para las cabras Sannen en comparación con las cabras criollas. La interacción raza\*grupo tiende a una tendencia significativa ( $P=0.06$ ) para la variable tejido adiposo perirrenal y no fue significativa ( $P>0.26$ ) para ninguna de las otras variables mostradas en el Cuadro 9.

#### *Asociaciones entre composición corporal y los diferentes estimadores.*

En el Cuadro 10 se muestran las asociaciones de reservas corporales energéticas y los estimadores de esta variable empleados en este experimento, independientemente de la raza y del grupo de condición corporal. Para la variable grasa la correlación es elevada ( $r=0.75$ ;  $P<0.0001$ ) con el método de condición corporal. Para la variable músculo la correlación más alta es con el peso vivo ( $r=0.90$ ;  $P<0.0001$ ) de los animales y para la suma de los dos tejidos la correlación mayor ( $r=0.91$ ;  $P<0.0001$ ) es con peso vivo. La suma de GRASA+MUS (reservas corporales energéticas; RCE) y las concentraciones plasmáticas de IGF-I fue de 0.74 ( $P<0.001$ ; Gráfica 1).

#### *Predicción in vivo de las reservas corporales energéticas a partir de mediciones condición corporal, zoométricas, ultrasonográficas y hormonales.*

Se determinaron ecuaciones de predicción para las variables cantidad de músculo, grasa y la suma de estos dos tejidos (reservas corporales energéticas; RCE; Cuadros 11, 12, 13)

En el primer caso se tomaron únicamente en cuenta las variables condición corporal y mediciones zoométricas, las ecuaciones resultantes se presentan en el Cuadro 11.

En el segundo caso se tomaron en cuenta las variables mencionadas en el primer caso más el peso vivo, las ecuaciones resultantes se presentan en el Cuadro 12.

Finalmente en el tercer caso se incluyen todas las variables del experimento: condición corporal, peso vivo, mediciones zoométricas y ultrasonográficas y hormonales. Las ecuaciones resultantes se muestran en el Cuadro 13.

## VII. DISCUSIÓN.

El objetivo del presente trabajo fue generar una herramienta que permita predecir *in vivo* la cantidad de reservas corporales energéticas que poseen las cabras reproductoras, de manera objetiva y precisa. Para lograr lo anterior, se determinó el peso vivo y la condición corporal en hembras caprinas de dos grupos genéticos diferentes y se realizaron diversas mediciones zoométricas, ultrasonográficas y hormonales antes del sacrificio, así como la determinación de la cantidad de músculo y grasa presente en las canales caprinas.

### *Cantidad de reservas corporales energéticas e IGF-I.*

La importancia del eje somatotropo en la regulación del crecimiento y del metabolismo tanto energético como proteico esta bien establecida en las especies domésticas (revisado por: Breier, 1999). Además de lo anterior, algunos autores han sugerido que en porcinos la IGF-I puede servir como señal metabólica ligando las reservas corporales de energía con el sistema reproductivo y los procesos de crecimiento, modulando la secreción de LH y GH (Barb *et al.*, 1996). Hasta donde sabemos, el presente trabajo es el primero en reportar las asociaciones entre las concentraciones plasmáticas de IGF-I y la cantidad de reservas corporales energéticas en cabras reproductoras. Los resultados del presente experimento muestran una correlación promedio elevada ( $r=0.68$ ) entre esta hormona y la cantidad corporal de músculo, grasa y la suma de estos dos tejidos (cantidad de reservas corporales energéticas) en cabras adultas, independientemente del genotipo y de la condición corporal. Estos resultados concuerdan con lo reportado en bovinos lecheros (McGuire *et al.*, 1992) y en ratas (Maes *et al.*, 1983) en donde se ha observado que las concentraciones circulantes de IGF-I están asociadas a la cantidad de reservas corporales. El rango de concentraciones reportado en el presente experimento es similar a lo encontrado por otros autores. Nonaka *et al.*, (2003) publicaron que la concentración de IGF-I en dos grupos de cabras ovariectomizadas e histerectomizadas oscilo entre 180 a 200 ng/ml antes del tratamiento con estradiol. Sakurai *et al.*, (2003) estudiando el papel que desempeña IGF-I en la regulación de GnRH en cabra Shiba, también observó concentraciones similares a lo encontrado en el presente trabajo. Como conclusión de lo anterior

los datos presentados en este trabajo permiten establecer que las concentraciones plasmáticas de IGF-I están asociadas a la cantidad de reservas corporales energéticas en cabras adultas, por lo que pueden ser usadas como estimador de ésta.

#### *Cantidad de reservas corporales energéticas y mediciones zoométricas*

El peso vivo se mantuvo relativamente constante durante la fase experimental. Nuestro valor de peso vivo lo contrastamos con los componentes de la canal, resultando coeficientes de correlación muy altos con respecto a los componentes de las reservas corporales energéticas. Rincón *et al.*, (2007) trabajando con 24 cabras adultas, 12 lecheras (Alpina Francesa) y 12 cárnicas (Boer), divididas en tres grupos de condición corporal (<2, entre 2 y 3 y >3), encontró que hubo diferencia de peso vivo en cuanto a los grupos de condición corporal, siendo más evidente esta diferencia cuando se consideró el peso de la canal. En vacas lecheras Moe *et al.*, (1971) publicaron una gran variación en el peso vivo al inicio de la lactación, descartando esta variable como un indicador del estado nutricional en bovinos lecheros. Esto difiere con los resultados observados en el presente experimento, esta diferencia probablemente se explique por el hecho de que en el presente trabajo se usaron animales no lactantes, no gestantes, a diferencia del tipo de animales (lactantes empleados en el trabajo de Moe *et al.* (1971). En resumen, el peso vivo puede ser un buen estimador de las reservas corporales energéticas en cabras que no se encuentran ni gestando ni lactando.

En el presente estudio debido a que usaron animales adultos no existieron cambios en las mediciones zoométricas empleadas normalmente como predictores de la composición corporal. Como se esperaba las cabras Sannen tuvieron mayores promedios en las variables (alto de la cruz, alto de la pierna, largo del animal, ancho de la cadera, circunferencia torácica y largo del fémur), en comparación con el genotipo criollo. En estas mediciones se observó una menor variabilidad en las cabras Sannen que en las cabras criollas, esto podría explicarse porque el genotipo criollo es una mezcla de diferentes razas, lo que se refleja en una mayor heterogeneidad de los animales. Solamente en las variables largo del fémur, circunferencia torácica y ancho de la cadera, se



encontraron diferencias entre los grupos de condición corporal, la primera se explica por la postura del animal y la heterogeneidad entre razas y las últimas por que incrementan conforme se aumenta la cantidad de alimento ofrecida diariamente. Esto resulta en acorde con Rincón *et al.*, (2007) donde observó que el perímetro torácico conforme aumenta la condición corporal. Stanford *et al.*, (1995) demostró que con mediciones zoométricas, el alto de la pierna es un buen predictor del área del *Longissimus dorsi* en cabras jóvenes Alpinas. Las mediciones zoométricas son fáciles de efectuar en las cabras, siendo de utilidad limitada como estimadores de la cantidad de reservas corporales energéticas.

#### *Cantidad de reservas corporales energéticas y condición corporal.*

El método de condición corporal se basa en la estimación visual y palpación de sitios anatómicos. Los resultados del presente trabajo muestran que existe una elevada correlación entre este método y las reservas corporales energéticas (grasa  $r=0.75$ , músculo  $r=0.63$ ). En concordancia, existen reportes en la literatura donde se resalta la eficiencia del método de condición corporal. Delfa *et al.*, (1995) trabajando con la raza Blanca Celtibérica y animales adultos, mencionan que las mediciones de condición corporal de las regiones esternal y lumbar son buenos predictores de los depósitos de grasa corporal en esta especie. Aumont *et al.*, (1994), confirma que el método de condición corporal es práctico para medir la grasa total corporal en cabras criollas adultas mantenidas en clima tropical. Rincón *et al.*, (2007) reporta que el método de condición corporal a nivel esternal es un buen estimador del aumento muscular y grasa subcutánea esternal en la raza Boer.

Sin embargo, los resultados del presente experimento muestran que el método de palpación es un buen estimador de la cantidad de grasa y músculo pero solamente en animales con CC media, no así en hembras que poseen una condición corporal baja. Resultados similares han sido presentados por otros autores donde reportan que el método de condición corporal es buen estimador del tejido graso (Paz *et al.*, 2006) y en animales de condición baja (Rincón *et al.*, 2007). Las cabras Sannen del presente estudio tienen una mayor proporción de grasa que de músculo en la canal en comparación con las

Criollas, por lo que la estimación de la condición corporal mediante el método de palpación en esta raza lechera puede ser particularmente adecuada a diferencia de lo que ocurre en las cabras criollas, donde esta metodología puede ser menos apropiada. Contrario a lo que publica Rincón *et al.*, 2006 en donde utilizó cabras lecheras y cárnicas de entre 2 y 5 partos, donde observó que las cabras lecheras en proporción contienen más músculo que las cárnicas y viceversa, que las cárnicas contienen más grasa que las lecheras, esta diferencia podría deberse a que cabras de segundo parto se consideran todavía animales jóvenes.

Por lo anterior se confirma que el método de condición corporal es un buen estimador de las reservas corporales de tipo graso, pero no de las reservas musculares. Además de que la utilidad de este método es limitado por el genotipo, particularmente en el caso de que se aplique en animales que no poseen una raza definida, como sucede en el genotipo criollo.

#### *Cantidad de reservas corporales energéticas y mediciones ultrasonográficas.*

Nuestros resultados arrojan que no hubo diferencias entre grupos raciales ni grupos de condición corporal en cuanto a las medidas ultrasonográficas. Los valores de coeficiente de variación fueron ligeramente elevados en la región dorsal, lo que puede atribuirse al escaso espesor de grasa dorsal subcutánea y la dificultad para distinguir las líneas divisorias de grasa y músculo en esta región anatómica. Así, Stanford *et al.*, (1995) publicaron la dificultad en la obtención de la imagen ultrasonográfica por el estrecho espacio entre 12a y 13a costilla en cabras Alpinas. En conclusión las mediciones ultrasonográficas son difíciles de efectuar en las cabras y por lo tanto su utilidad como estimadoras de la cantidad de reservas corporales energéticas es limitada.

#### *Ecuaciones de predicción in vivo de las reservas corporales energéticas a partir de mediciones hormonales, zoométricas, ultrasonográficas y el método de condición corporal.*

En el presente trabajo, la medición que explica la mayor cantidad de variación asociada a las cantidades de músculo, grasa y la suma de éstas es el peso vivo corporal (rango del 65 al 85%), independientemente del genotipo de las

cabras. Lo anterior se reflejó en las ecuaciones de predicción generadas al ser la primera variable incluida en los modelos para predecir músculo, grasa y el total de éstas. Siguiendo con las mediciones zoométricas, la variable circunferencia torácica contribuye con un 6% para la predicción de grasa en la raza Sannen y la variable ancho de la cadera contribuye con un porcentaje de 1% en las ecuaciones para grasa y reservas corporales energéticas del genotipo criollo. El largo del fémur contribuye con del 1 al 2% en el genotipo criollo para la variable cantidad de reservas corporales energéticas y cantidad de músculo, respectivamente.

Con respecto a la metodología de condición corporal, las ecuaciones generadas en el presente experimento muestran que ésta explica de forma limitada la variación asociada a la cantidad de reservas corporales energéticas de las cabras reproductoras (rango del 3 al 10%). La variable condición corporal fue incluida en la ecuación de predicción de la cantidad de grasa presente en las cabras de raza Sannen, pero no así para las cabras criollas.

En nuestro estudio las variables ultrasonográficas que contribuyen a explicar la variación en la cantidad de reservas corporales energéticas son las mediciones efectuadas a nivel esternal (rango 2-10%), el espesor de la grasa dorsal lumbar (2%) y el espesor del músculo gran dorsal a nivel de la última costilla (1%). Estas mediciones pueden ser incluidas particularmente en las cabras de la raza Sannen, pero no así en las cabras de tipo criollo.

En el presente trabajo las concentraciones plasmáticas de IGF-I contribuyen a explicar la variación en la cantidad de reservas corporales energéticas (rango del 1 al 10%). Para el caso de la cantidad de tejido muscular, IGF-I explica el 10% para la raza Sannen y 3% para el genotipo criollo. Para el caso de cantidad de grasa corporal las concentraciones de IGF-I no contribuyen a explicar esta variable de manera significativa. El uso de las concentraciones circulantes de la IGF-I como un indicador del estado nutricional ha sido propuesto por otros autores, específicamente en humanos (Thissen *et al.*, 1994). De acuerdo con estos autores las concentraciones de IGF-I pueden usarse además, de lo anterior, como indicador de la respuesta al nivel

alimenticio. En el primer caso, el objetivo es conocer el estado de las reservas corporales energéticas a mediano y largo plazo (efecto estático), mientras que en el segundo caso es evaluar el efecto de los cambios del estado nutricional a corto plazo (efecto dinámico). En apoyo a lo anterior, los resultados del presente experimento referente al peso vivo de los animales durante la fase experimental muestran que a pesar de que las cabras recibieron la misma cantidad de alimento que durante la fase de adaptación (las 12 semanas previas al inicio del experimento), las cabras aumentaron de peso, particularmente las hembras de la raza Sannen del grupo de condición corporal media. Para evitar que estas cabras continuaran incrementando su peso vivo durante la etapa final de la fase experimental, se disminuyó la cantidad diaria de alimento proporcionado a dichas cabras, durante los últimos 21 días de la fase experimental. Como resultado de esta estrategia, se logró evitar que las cabras Sannen aumentaran marcadamente su peso vivo y se siguieran manteniendo con una calificación media de condición corporal. Sin embargo, este cambio en el nivel de alimentación se reflejó en una disminución en las concentraciones plasmáticas de IGF-I en estas cabras al final del experimento ( $P < 0.05$ ; dato no mostrado). Lo anterior sugiere que las concentraciones circulantes de IGF-I podrían ser usadas como un estimador de los cambios a corto plazo del estado nutricional en las cabras reproductoras. Para verificar esta hipótesis, será necesario realizar más trabajos experimentales donde se evalúe los cambios en el balance energético en respuesta a las modificaciones en el nivel de alimentación de las cabras, sin que ocurran cambios en el peso vivo y/o la condición corporal.

Por lo anterior, las concentraciones circulantes de IGF-I podrían usarse para establecer un método alternativo para estimar no sólo la cantidad total de reservas corporales energéticas, si no además los cambios en el balance energético a corto plazo, en respuesta al nivel de alimentación al que son sometidos los animales. Esto sería una herramienta particularmente valiosa para efectuar la selección de animales dentro de programas de mejoramiento genético, así como en centros de investigación animal donde se utilice a la cabra como modelo animal.

## VIII. CONCLUSIONES

Las concentraciones plasmáticas de IGF-I puede ser una herramienta para determinar la composición corporal en cabras de genotipo lechero y cárnico (efecto estático).

Además las concentraciones circulantes de IGF-I podrían ser usadas como un estimador de los cambios a corto plazo del nivel alimenticio (efecto dinámico).

Por lo tanto las concentraciones circulantes de IGF-I pueden ser usadas como una herramienta particularmente valiosa para selección de animales dentro de programas de mejoramiento genético, así como para estimar el estado nutricional en centros de investigación animal donde se utilice a la cabra como modelo animal.

Se confirma que el método de condición corporal es un buen estimador de las reservas corporales de tipo graso, pero no de las reservas musculares. Además de que la utilidad de este método es limitado por el genotipo, particularmente en el caso de que se aplique en animales que no poseen una raza definida, como sucede en el genotipo criollo.

Las mediciones zoométricas son fáciles de efectuar en las cabras, siendo de utilidad limitada como estimadores de la cantidad de reservas corporales energéticas. Contribuyendo del 1 al 6% en las ecuaciones de predicción.

Las mediciones ultrasonográficas son difíciles de efectuar en las cabras y por lo tanto su utilidad como estimadoras de la cantidad de reservas corporales energéticas es limitada, la grasa dorsal y esternal contribuyen a estimar la composición corporal en cabras (rango 2-10%).

Los resultados del presente trabajo demuestran diferencias significativas en proporción de cantidad de tejido muscular y graso (criolla vs. Saneen), resulta importante desarrollar métodos de predicción especificando tipo de reservas corporales energéticas y genotipo animal.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Adam C L, P A Findlay, H A Moore. 1997. Effects of insulin-like growth factors-I on luteinizing hormone secretion in sheep. *Anim. Reprod. Sci.* 50:45-56.
- Amaro RP and R M Caldeira. 1991. Relation entre les notes d'état corporel et la composition corporelle des chèvres de la race Serrana. *Options Méditerr. Série Sémin.* 13 : 35-42.
- Armin J, Ayala Burgos. 2002. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Arnold R N, E J Hentges and A Trenkle. 1985. Evaluation of the use of deuterium oxide dilution techniques for determination of the body composition of beef steers. *J. Anim. Sci.* 60: 1188.
- Asmare A, L J Dawson, R Puchala, T A Gipson, M Villaquiran, I Tovar-Luna, G Animut, T Ngwa, T Sahl, R C Merkel, A L Goetsch. 2006. Factors influencing urea space estimates in goats. *Small Rumin. Res.* 10: 281-292.
- Aumont G, F Poisot, G Saminadin, H Borel, G Alexandre, 1994. Body composition score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body composition and post-mortem predictors of carcass components of Creole goats. *Small Rumin. Res.* 15: 77-85.
- Barb C R, R R Kraeling, G B Rampacek and C R Dove. 1996. Metabolic Changes During the Transition from the Fed to the Acute Feed-Deprived State in Prepuberal and Mature Gilts. *J. Anim. Sci.* 75: 781-789.
- Bas P, A Rouzeau, P Morand-Fehr. 1991. Estimation de la composition corporelle chez la chèvre à l'aide de la méthode de dilution de l'urée. *Options méditerranéennes.* 13: 9-12.
- Beam S. W and W. R. Butler. 1997. Energy balance, metabolic hormones, and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J. Dairy Sci.* 81: 121-131.
- Beam S. W and W R Butler. 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fertil. (Suppl.)* 54:411-424.

- Blache D, L M Chagas, M A Blackberry, P E Vercoe, B G Martin. 2000. Metabolic factors affecting reproductive axis in male sheep. *J. Reprod. Fertil.* 120:1-11.
- Blaxter K L. 1962. *The energy metabolism of ruminants.* Hutchinson. London.
- Bergman E N y B G Heitmann. 1978. Metabolism of amino acids by the gut, liver, kidneys and peripheral tissues. *Fed. Proc.* 37:1228-1232.
- Belkhou R, Y Cherel, A Heitz, J Robin and Y Le Maho. 1991. Energy contribution of proteins and lipids during prolonged fasting en the rat. *Nutr. Res.* 11:365-374.
- Breier, BH. 1999. Regulation of protein and energy metabolism by the somatotropic axis. *Domest. Anim. Endocrinol.* 17, 209-218.
- Boisclair Y, D G Grieve, J B Stone, O B Allen and G.K. Macleod. 1986. Effect of prepartum energy, body condition, and sodium bicarbonate on production of cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 69:2636-2647.
- Bonneau M. 1991. Regulation of pig growth by somatotropic hormones: I. Secretion and mode of action. *Pigs News Info.* 12, 29-37.
- Bossis I, R P Wettemann, S D Wetly, J Vizcarra and L J Spicer. 2000. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: ovarian and endocrine function during realimentation and resumption of ovulation. *Biol. Reprod.* 62:1436-1444.
- Cameron J, L D J Koeker and R A Steiner. 1985. Metabolic changes during maturation of male monkeys: Possible sign for onset of puberty. *Am. J. Physiol.* 249:E385.
- Cabiddu A, Branca, M Decandia, A Pes, P Santucci, M F Masoero, L Calamari. 1999. Relationship between body condition score, metabolic profile, milk yield and milk composition in goats browsing a Mediterranean shrubland. *Livestock Prod. Sci.* 61: 267.
- Carroll J A, T L Deum, R L Marteri. 1998. Endocrine responses to weaning and changes in post-weaning diet in the young pig. *Domestic Anim Endocrinol.* 15:183-194.

- Chilliard Y, A Ferlay, Y Faulconnier, M Bonnet, J Rouel and F Bacquier. 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 59:127-134.
- Clowes E J, X A Frank and V E Baracos. 2004. Skeletal muscle protein mobilization during the progression of lactation. *Am J. Physiol Endocrinol Metab.* 288:564-572.
- Cohick WS and D R Clemmons. 1993. The insulin-like growth factors. *Annu. Rev. Physiol.* 55, 131-153.
- Coleman ME, L Russell and T D Etherton. 1994. Porcine somatotropine (pST) increases IGF-1 mRNA abundance in liver and subcutaneous adipose tissue but not in skeletal muscle of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 918-924.
- Corral de Mesta G, Paul A Will, J M Gonzalez. 2004. The Measurement of Carcass Characteristics of Goats Using the Ultrasound Method. *J. Agric.* 17: 46-52.
- Colomer-Rocher F, A H Kirton, G. J Mercer, D M Duganzich. 1992. Carcass composition of New Zealand Saanen goats slaughter at different weights. *Small Rumin. Res.* 7 : 161-173.
- Delfa, R, A Texeira, I Blasco and F Colomer-Rocher. 1991. Ultrasonic estimates of fat thickness, C measurement and longissimus dorsi depth in Rasa Aragonesa ewes with same body condition score. *Options Méditerranéennes, Serie A: Séminaires Méditerranéens. Etat corporel des brebis et chèvres*, 13: 25-30
- Delfa, R, A Texeira, C. González and I Blasco. 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and *longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Rumin. Res.* 16: 159-164.
- Delfa R, C González, A Teixeira, L F Gonçalves, M Tor. 1995. Relationships between body fat depots, carcass composition and body condition scores in Blanca Celtibérica goats. *Options Méditerr. Sér. A: Semin.* 27: 109-119.
- Delfa R, A Texeira, C González, L Torrano y J Valderrábano. 1999. utilización de ultrasonidos en cabritos vivos de raza Blanca Celtibérica, como predictores de la composición tisular de sus canales. *Arch. Zootec.* 48: 123-134.



- Fernandez C, A García, H Vergara and L. Gallego. 1998. Using ultrasound to determine fat thickness and longissimus dorsi area on Manchego lambs of different live weight. *Small Rumin Res.* 27: 159-165.
- Frutos P, A R Mantecon, P R Revesado, J S Gonzalez. Body fat depots and body condition store relationship: a comparison of two Spanish sheep breeds (Churra vs Merina). *Options Méditerr.*
- Grant B D, J Hambley, D Becker, B L Pimstone. 1973. Reduced sulphation factor undernourished children. *Arch Dis Child.* 48:596-600.
- Goldberg A L y John A C. 1977. Intracellular protein degradation in mammalian and bacterial cells. *Ann. Rev. Biochem.* 45:747-803.
- Gómez-Pastén M, O Mora, A Shimada, R M Meléndez, J L Romano and H R Vera. Body weight, condition store, and tissue composition of mature goats, reflect the previous long term feeding level. Datos no publicado.
- Goodman M N, P R Larsen, M M Kaplan, T T Aoki, V R Young and N B Ruderman. 1980. Starvation in the rat. I. Effect of age and obesity on organ weights, RNA, DNA, and protein. *Am. J. Physiol.* 239:E269-E276.
- Gunn R G y J M Doney. 1979. Fertility in Cheviot ewes. I. The effect of body condition at mating on ovulation rate and early embryo mortality in north and south country Cheviot ewes. *Anim. Prod.* 29:11-16.
- Guyton. Hall . 2001. *Tratado de Fisiología Medica.* Mc Graw Hill. Decima Edición.
- Hahizume T, A Kumahara, M Fujino, K O KADA. 2002. Insulin-like growth factor I enhances gonadotropin-releasing hormone-stimulated luteinizing hormone release from bovine anterior pituitary cells. *Anim Reprod. Sci.* 70:13-21.
- Heinrich A J, G B Rogers and J B Cooper. 1992. Predicting Body Weight and Wither Height in Holstein Heifers Using Body Measurements *J Dairy Sci* 1992 75: 3576-3581
- Henry B A, J W Goding, A J Tilbrook, F R Dunshea, D Blache, I J Clarke. 2004. Leptin-mediated effects of undernutrition or fasting on luteinizing hormone and

growth hormone secretion in ovariectomized ewes depend on the duration of metabolic perturbation, *J. Neuroendocrinol.* 16:244-255.

-Hornick J L, C Van Eenennaeme, M Minet, L Istasse. 1998. Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue bulls: II Plasma metabolites and hormones. *J. Anim Sci.* 76:260-271.

-Iapichino G, D Radrizzani, S Arman, A Noto, P Spanu, G Mistràletti. 2006. Metabolic treatment of critically ill patients: energy balance and substrate disposal. *Minerva Anestesiologica.* 72, 533-541.

-Jefferies B C. 1961. Body condition scoring and its use in management. *Tasmanian J. Agric.* 32:19-21

-Jimeno V. P G Rebollar y T Castro. 2003. Nutrición y alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX curso de especialización FEDNA. Madrid. 155-178.

-Jiménez B M R. 2000. producción de carne ovina. Memorias. Avances en nutrición ovina I. Universidad Autónoma del Estado de México. Especialidad en producción ovina.

-Jones J I and D R Clemmons. 1995. Insulin-like growth factors and their binding proteins: Biological actions. *Endocrine Rev.* 16, 3-34.

-Junkuszew A, F Ringdorfer. 2005. Computer tomography and ultrasound measurement as methods for the prediction of the body composition of lambs. *Small Rumin Res.* 56: 121-125.

-Kiyama Z, B M Alexander, E A Van Kira, W J Murdoch, D M Hallford, G E Moss. 2004. Effects of feed restriction on reproductive and metabolic hormones in ewes. *J. Anim Sci.* 82:2548-2557.

-Kunz P L, J W Blum, I C Hart, H Bickel and J Landis. 1985. Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim Prod.* 40:219-231.

-Le Maho Y, H Vu Van Kha, H Koubi, G Dewasmes, J Girard, P Ferre and M Cagnard. 1981. Body composition, energy expenditure and plasma metabolites in long term fasting geese. *Am. J. Physiol.* 241:E342-E354.

- Lindsay D. B and B P Setchell. 1976. The oxidation of glucose, ketone bodies and acetate by the brain of normal and ketonaemic sheep. *J. Physiol.* 259:801–823.
- Lucy M C, C R Staples, F M Michel and W W Thatcher. 1991. Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 473-482.
- Lucy M C, C K Boyd, A T Koenigsfeld, C S Okamura. 1998. Expresión of somatotropin receptor messenger ribonucleic in bovine tissues. *J. Dairy Sci.* 81:1889-1895.
- Maes M, L E Underwood and J M Ketelslegers. 1983. Plasma somatomedin-C in fasted and refed rats: close relationship between changes in liver somatogenic but not lactogenic binding sites. *J. Endocrinol.* 97, 243.
- Maynard A L, J Loosli, H Hintz, R Warner. 1981. *Nutrición Animal*. Mc Graw Hill. Septima Edición. 186 pp.
- McGuire M A, J L Vicini, D E Bauman and J J Veenhuizen. 1992. Insulin-like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *J. Anim. Sci.* 70: 2901-2910.
- Mejía G C A, M M Acuña, I M Martínez , R. S. Melendez, P J Rosas y H Vera. 1997. Estimación de los cambios de condición corporal de cabras mediante palpación o ultrasonografía. Memoria de la XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Veracruz. 61.
- Mendizabal J A, R Delfa, A Arana, P Eguinoa, A Purroy. 2006. Lipogenic activity in goats (*Blanca celtiberica*) with different body condition scores. *Small Rumin. Res. In press.*
- Miller D W, D Blache, R Boukhliq, J D Curlewis, G D Martin. 1998. Central metabolic messengers and the effects of diet on gonadotropin secretion in sheep. *J. Reprod. Fertil.* 112:347-356.
- Moe P W, H F Tyrell and W P Flatt. 1971. Energetics of body tissue mobilization. *J. Dairy Sci.* 54:945-553

- Moeller S J, L L Christian. 1998. Evaluation of the accuracy of real-time ultrasonic measurements of backfat and loin muscle area in swine using multiple statistical analysis procedures. *J. Anim. Sci.* 76, 2503-2514.
- Mora O, A Shimada and F J Ruíz. 1996. The effect of the length and severity of feed restriction on weight, carcass measurements and body composition of goats. *J. Agric. Sci.* 127: 549-553.
- Mora O, H Vera, A Shimada. 2007. Mecanismos celulares y endocrinos afectados por la subnutrición en pequeños rumiantes. *Ciencia Veterinaria.* 10:108-126.
- Murray R K, D K Granner, P A Mayes and V W Rodwell. 1999. *Harper Biochimie.* 24<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill International Ltd., Berkshire, UK.
- Nonaka S, T Hashizume, M Horiuchi, U Mikami, T Osawa, Y Miyake and S Hara. 2003. Origin of Plasma Insulin-Like Growth Factor-I (IGF-I) During Estrus in Goats. *J. Reprod. Dev.* 49:253-258.
- Nutrient Requirements Council. Nutrient requirements goats: Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press, Washington, D.C., U.S.A. 1995.
- Pankov Y A. 1999. Growth hormone and a partial mediator of its biological action, insulin-like growth factor I. *Biochemistry (Mosc).* 64, 1-7.
- Paz H S, W A Ducoing, A E Candanosa, M J Gutierrez. 2006. Utilización de la condición corporal y medición del diámetro y número de adipositos para determinar las reservas grasas y su distribución en la canal de cabras de genotipo cárnico. XXI Reunión Nacional de caprinocultura. Toluca, México.
- Purchas R W and A D Beach. 1981. Between operator repeatability of fat depth measurements made on sheep and lambs using an ultrasonic probe. *NZ J. Exp. Agr.*, 9:213-218.
- Reid J T and J Robb. 1971. Relationship of body composition to energy intake and energetic efficiency. *J. Dairy Sci.* 54:553-564.
- Reist M, D Erdin, D von Euw, K Tschuemperlin, H Leuenberger, Y Chilliard, H Hammon, C Morel, C Philipona, Y Zbindin, N Kuenzi, and J W Blum. 2002.

Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:3314-3327.

-Renaville R, C Van Eenaeme, B H Breider, L Vleurick, C Bertozzi, N Glenger, J-L Hornick, I Parmentier, L Istasse, V Massart, D Portetelle. 2000. Feed restriction in young bulls alters the onset of puberty in relationship with plasma insulin-like growth factor-I (IGF-I) and IGF-binding protein. *Domest Anim Endocrinol.* 18:165-176.

-Rincon V D, M J Gutierrez, O A K Yatuba, G A Trujillo, W A Ducoing. 2006. Evaluación comparativa de métodos de medición del estado corporal en cabras de genotipo lechero y cárnico. XXI Reunión Nacional de caprinocultura. Toluca, México.

-Rincón V D. 2007. Evaluación comparativa de métodos de medición del estado corporal en cabras de genotipo lechero y cárnico. Tesis de maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán-Izcalli, Méx.

-Ritacco G, S V Radecki, P A Schoknecht. 1997. Compensatory growth in runt pigs is not mediated by insulin-like growth factor-I. *J. Anim. Sci.* 75:1237-1243.

-Russell A J F, J M Doney, R G Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72, 451-454.

-Saiz R E. 2002. Valoración de la composición corporal y el estado nutricional de una población de alumnos de secundaria y de bachillerato de la ciudad de Burgos.

-Santucci P M, A Branca, M Napoleone, R Brouche, G Aumont, F Poiset, and G Alexandre. 1991. Body condition scoring of goats in extensive conditions. In MORAND-fehr P. ED., *Goat Nutrition*. Pudoc Wageningen.

-Santucci P M y O Maestrini. 1985. Body condition of dairy goats in extensive systems of production: method of estimation. *Ann. Zootech.* 34: 473-474.

-Salamanca V E, W A Ducoing, M J Gutierrez, A E Candanosa. 2006. Utilización de la condición corporal y medición del diámetro y número de adipositos para determinar las reservas grasas y su distribución en la canal de

cabras de genotipo lechero. XXI Reunión Nacional de caprinocultura. Toluca, México.

-Scaramuzzi R J, B K Campbell, J A Downing, N R Kendall, M Khalid, M Muños-Gutierrez, A Somchi. 2006. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reprod. Nutr. Dev.* 46:339-354.

-Schneider J E. 2004. Energy balance and reproduction. *Physiol. Behav.* 81:289-317.

-Schillo K K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteizing hormone secretion in cattle and sheep. *J. Anim. Sci.* 70:1271-1282.

-Schroder U J, R Staufenbiel. 2006. *Invited Review: Methods to Determine Body Fat Reserves in the Dairy Cow with Special Regard to Ultrasonographic Measurement of Backfat Thickness.* *J. Dairy Sci.* 89, 1–14.

-Stafenbiel R, B Staufenbiel, N Rossow and F Wiedemann. 1993. Energie-und Fettstoffwechsel des Rindes-Vergleich der Aussage der Rückenfettdicke mit anderen Untersuchungsgrößen. *Mh. Vet. Med.* 48:167-174.

-Shimada M A. 2005. *Nutrición Animal.* Trillas. 147 pp.

-Sakurai K, S Ohkura, S Matsuyama, K Katoh, Y Obara and Okamura H. 2004. *J. Reprod. Dev.* 50:197-205.

-Stanford K, T A McAllister, M MacDougall and D R C Bailey. 1995. Use of ultrasound for the prediction of carcass characteristic in Alpine goats. 1995. *Small Rum. Res.* 15: 195-201

-Spicer L J, W J Enright, M G Murphy and J F Roche. 1991. Effect of dietary intake on concentrations of insulin-like growth factor I in plasma and follicular fluid, and ovarian function in heifers. *Domest. Anim. Endocrinol.* 8:431.

-Thissen J P, J M Ketelslegers and L E Underwood. 1994. Nutritional regulation of the insulin-like growth factors. *Endocrine Rev.* (15): 80-101.

-Thomas G B, C J Scott, J T Cummins, I J Clarke. 1994. Adrenergic regulation of growth hormone secretion in the ewe. *Dom Anim. Endocrinol.* 11:187-195.

-Vangen . O. 1989. X-Ray CT for body composition. En: Kallweit, E Henning and Groeneveld, E. (EDS). Application of NMR Techniques on the body composition of live animals. El sevier, New York, pp 91-99.

-Vatta A F, R C Krecek, B A Letty, M J Van der Linde, P Motswatswe, J W Hansen. 2002. Effect of nematode burden as assessed by means of faecal egg counts on body condition in goats farmed under resource-poor conditions in South Africa. Vet. Parasitol. 108, 247–254.

-Vikman K, B Carlsson, H Billig and S Eden. 1991a. Expression and regulation of growth hormone (GH) receptor messenger ribonucleic acid (mRNA) in rat adipose tissue, adipocytes, and adipocyte precursor cells: GH regulation of GH receptor mRNA. Endocrinology 129, 1155-1161.

-Vikman K, J Isgaard and S Eden. 1991b. Growth hormone regulation of insulin-like growth factor-I mRNA in rat adipose tissue and isolated rat adipocytes. J. Endocrinol. 131, 139-145.

-Wilson D E. 1992. Application of ultrasound for genetic improvement. J. Anim. Sci. J. Anim. Sci. 70:973-983.

-Wettemann R P, I Bossis . 1999. Energy Intake Regulates Ovarian Function in Beef Cattle. Proceedings of the American Society of Animal Science. [www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0934.pdf](http://www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0934.pdf).1999

-Yambayamba E S, M A Price and G R Foxcroft. 1996. Hormonal status, metabolic changes, and resting metabolic rate in beef heifers undergoing compensatory growth. J. Anim. Sci. 74:57-69.

-Alimentación y nutrición, 2005.

[http://www.alimentacionynutricion.org/es/index.php?mod=content\\_detail&id=114](http://www.alimentacionynutricion.org/es/index.php?mod=content_detail&id=114)

## ANEXOS I. FIGURAS



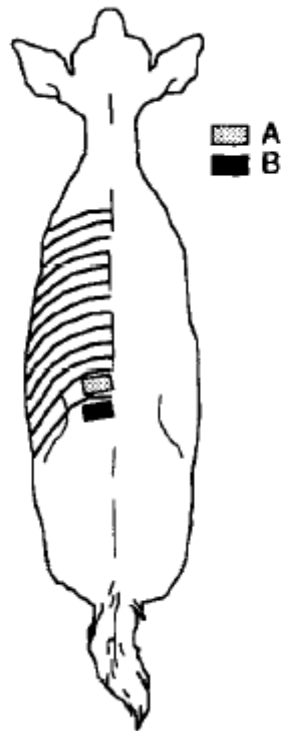


Figura 1. Sitio de medición ultrasonográfica (A) entre la 12ª y 13ª costilla y (B) entre la 1ª y 2ª vértebra lumbar (Stanford et al., 1995).

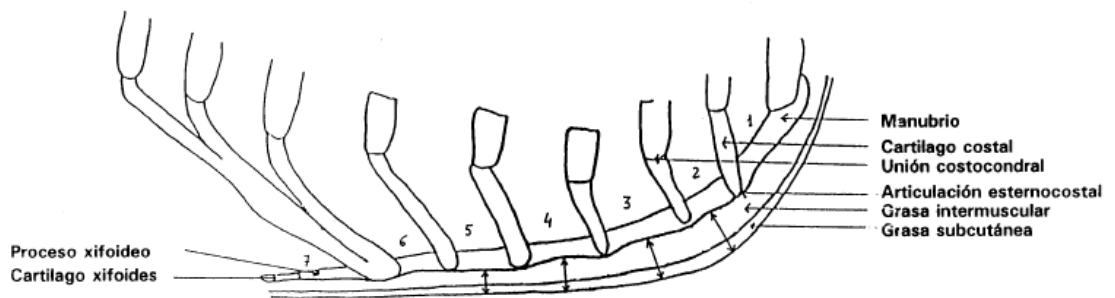
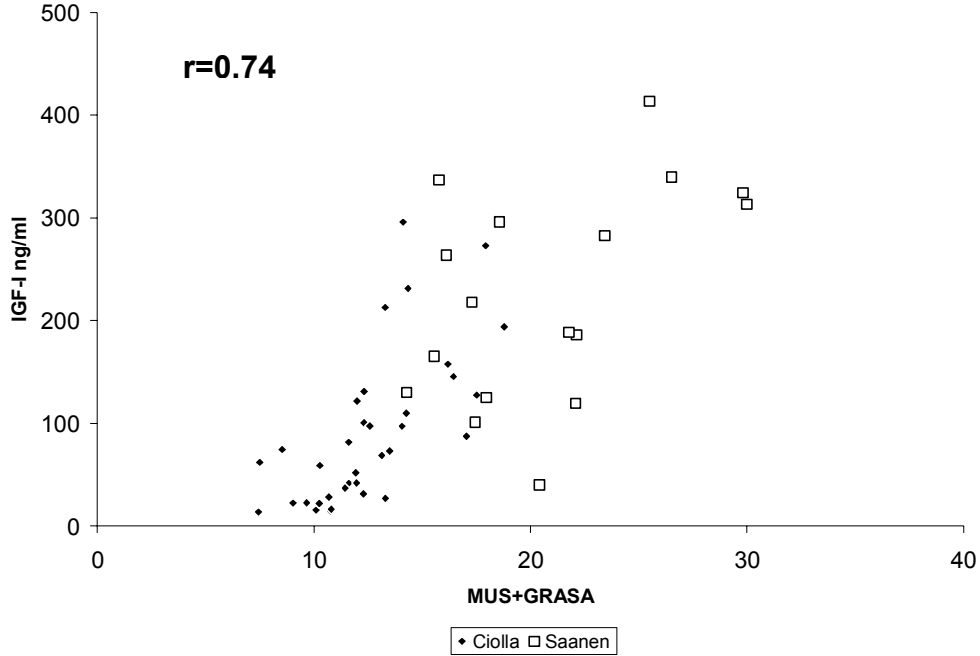


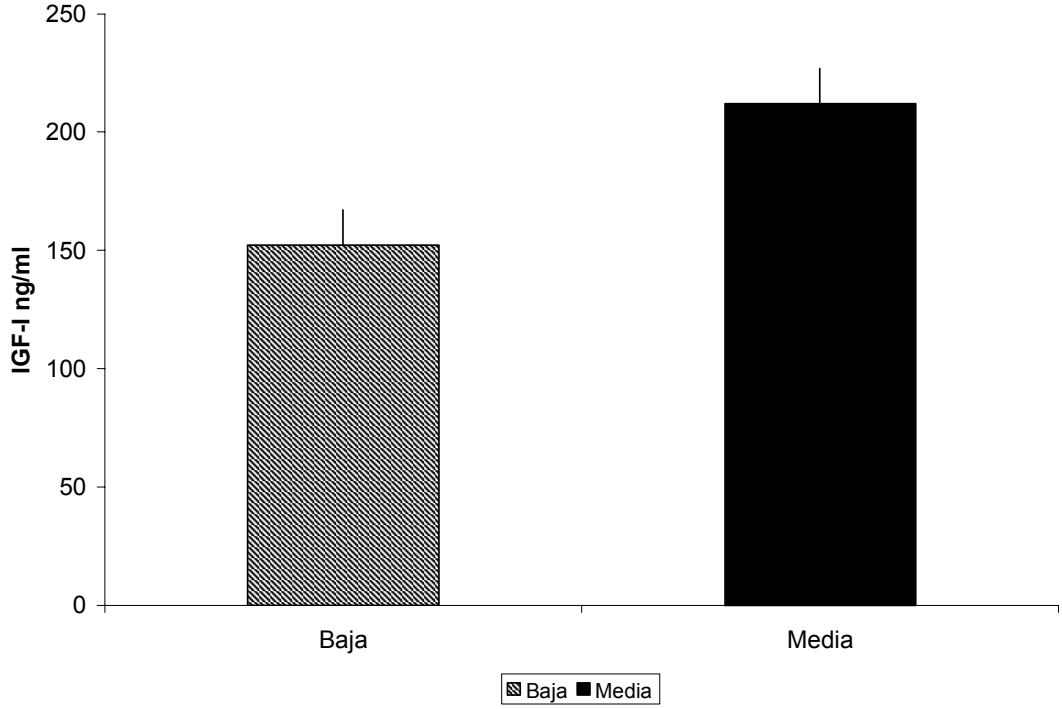
Figura 2. Sitio de medición ultrasonográfica a nivel esternal. (Delfa et al., 1999)

ANEXOS II.  
GRÁFICAS Y CUADROS.

Gráfica 1. Correlación de IGF-I con Reservas corporales energéticas (n=59)



Gráfica 2. Concentración plasmática de IGF-I de acuerdo al grupo de condición corporal de las cabras reproductoras.



<sup>a</sup> Condición corporal Baja (0.9-1.9)  
<sup>b</sup> Condición corporal Media (2.0-3.0)  
*P*<0.06.

Cuadro 1. Dieta experimental (Base Húmeda).

<b>Ingredientes</b>	<b>%</b>
<b>Grano de sorgo molido</b>	39.9
<b>Pasta de soya</b>	9
<b>Heno de alfalfa</b>	12.1
<b>Rastrojo de maíz</b>	25
<b>Melaza</b>	12
<b>Sal</b>	0.3
<b>Minerales</b>	0.9
<b>Carbonato de calcio</b>	0.8
<b>Análisis calculado</b>	
<b>PC<sup>1</sup>, %MS</b>	10.7
<b>EM<sup>2</sup>, Mcal/Kg.</b>	2.2
<b>Calcio</b>	0.48
<b>Fósforo</b>	0.23

<sup>1</sup>Proteína cruda (x6.25)

<sup>2</sup>Energía Metabolizable.

Los requerimientos de energía para cabras en mantenimiento varían de acuerdo a la concentración energética de la dieta que van de 2.0 a 2.4 Mcal ME/Kg DM (NRC, 1995).

Cuadro 2. Relación de peso vivo y condición corporal, en función del genotipo al inicio (0), mitad (21) y final (42 días) de la fase experimental.

Variable	Genotipo <sup>1</sup>						P		
	Criolla		Sannen		Media <sup>4</sup>	Efecto Raza	Efecto Grupo	Raza*Grupo	
	Baja <sup>3</sup>	Media <sup>4</sup>	Baja <sup>3</sup>	Media <sup>4</sup>					
<b>n</b>	21	20	9	9					
<b>Peso Vivo, Kg.</b>									
<b>Inicio</b>	27.8±1.05	33.8±1.07	43.1±1.60	50.1±1.60	0.0001	0.0001	0.7087		
<b>Mitad</b>	29.3±1.17	35.0±1.20	46.3±1.79	53.3±1.79	0.0001	0.0001	0.6692		
<b>Final</b>	29.8±1.23	36.4±1.29	47.0±1.88	55.2±1.88	0.0001	0.0001	0.6123		
<b>Condición Corporal<sup>2</sup></b>									
<b>Inicio</b>	1.6±0.06	2.5±0.06	1.5±0.09	2.2±0.09	0.0943	0.0001	0.2672		
<b>Mitad</b>	1.5±0.08	2.6±0.08	1.5±0.12	2.4±0.12	0.3134	0.0001	0.6893		
<b>Final</b>	1.4±0.07	2.1±0.07	1.5±0.11	2.5±0.11	0.0129	0.0001	0.2804		

<sup>1</sup> Consumo de alimento fue la misma cantidad durante la fase experimental, siendo Criolla baja=779 g y media=988 g, Sannen baja=1090 g y media=1303 g.

<sup>2</sup> En la escala propuesta por Santucci que tiene valores de 1 a 5, donde 1 es animal delgado y 5 corresponde a un animal obeso.

<sup>3</sup> Condición corporal Baja (0.9-1.9). <sup>4</sup> Condición corporal Media (2.0-3.0). Datos presentados como medias±error estandar.

Cuadro 3. Mediciones ultrasonograficas al inicio (0), mitad (21) y final (42) de la fase experimental de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.

Variables, mm	Genotipo															
	Criolla Baja <sup>a</sup> (n=21)				Criolla Media <sup>b</sup> (n=20)				Sannen Baja <sup>a</sup> (n=9)				Sannen Media <sup>b</sup> (n=9)			
	Media	EE	C.V		Media	EE	C.V		Media	EE	C.V		Media	EE	C.V	
<b>Grasa Dorsal<sup>c</sup></b>	1.8	0.04	10.56		2.0	0.04	10.50		1.9	0.06	8.42		2.0	0.06	11.50	
<b>Espesor M. Gran Dorsal<sup>c</sup></b>	15.4	0.35	10.52		16.1	0.36	10.93		16.4	0.53	8.23		16.9	0.53	8.70	
<b>Todo Región Dorsal<sup>d</sup></b>	22.7	0.60	13.22		21.7	0.61	14.24		20.1	0.92	11.19		19.9	0.92	7.29	
<b>Grasa Esternal</b>	2.3	0.08	11.30		2.2	0.08	12.73		2.2	0.12	15.45		2.6	0.12	25.38	
<b>Todo Región Esternal<sup>e</sup></b>	20.8	0.76	18.13		21.4	0.77	16.87		18.4	1.16	11.90		20.7	1.16	16.76	

Datos presentados como Media de las 3 mediciones , EE=Error estandar, C.V.=Coeficiente Variación.

<sup>a</sup> Condición corporal Baja (0.9-1.9)

<sup>b</sup> Condición corporal Media (2.0-3.0)

<sup>c</sup> Sobre la línea media (última costilla)

<sup>d</sup> Suma de Grasa Dorsal y Espesor M. Gran Dorsal

<sup>e</sup> Todos los tejidos entre la piel y el esternon.

Cuadro 4. Análisis estadístico de las medidas ultrasonográficas, de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.

Variable	P*		
	Efecto Raza	Efecto Grupo	Raza*Grupo
Grasa Dorsal <sup>c</sup>	0.4630	0.0626	0.0894
Espesor M. Gran Dorsal <sup>c</sup>	0.0564	0.2201	0.7654
Todo Región Dorsal <sup>d</sup>	0.0079	0.4615	0.5896
Grasa Esternal	0.1833	0.1653	0.0981
Todo Región Esternal <sup>e</sup>	0.1163	0.1535	0.3768

<sup>c</sup> Sobre la línea media (entre 12ª y 13ª costilla)

<sup>d</sup> Suma de Grasa Dorsal y Espesor M. Gran Dorsal

<sup>e</sup> Todos los tejidos entre la piel y el esternon.

\*Probabilidad estadística.



Cuadro 5. Mediciones zoométricas al inicio (0), mita (21) y final (42) de la fase experimental de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.

Variables, cm.	Genotipo											
	Criolla Baja <sup>a</sup> (n=21)			Criolla Media <sup>b</sup> (n=20)			Sannen Baja <sup>a</sup> (n=9)			Sannen Media <sup>b</sup> (n=9)		
	Media	EE	C.V	Media	EE	C.V	Media	EE	C.V	Media	EE	C.V
<b>Alto de la Cruz<sup>c</sup></b>	62.8	0.65	4.65	63.2	0.66	5.35	69.2	0.99	3.12	69.1	0.99	4.05
<b>Alto de la Pierna<sup>d</sup></b>	63.4	0.65	4.21	63.7	0.67	5.53	69.3	1.00	3.81	70.4	1.00	4.08
<b>Largo Animal<sup>e</sup></b>	57.1	0.93	5.22	56.4	0.95	6.60	66.4	1.42	9.11	64.7	1.42	9.06
<b>Circunferencia Torácica<sup>f</sup></b>	74.1	1.28	6.49	75.1	1.31	9.24	86.6	1.95	6.21	87.3	1.95	6.82
<b>Ancho Cadera<sup>g</sup></b>	18.4	0.33	7.07	19.2	0.34	7.55	20.3	0.51	9.75	22.2	0.51	7.88
<b>Circunferencia Pierna<sup>h</sup></b>	18.3	0.39	10.66	18.2	0.40	10.11	18.8	0.61	5.90	19.0	0.61	10.74
<b>Largo del Fémur<sup>i</sup></b>	20.0	0.31	6.80	21.1	0.32	7.54	22.8	0.48	4.39	23.0	0.48	7.17

Datos presentados como Media de las 3 mediciones, EE=Error estándar, C.V.=Coeficiente Variación.

<sup>a</sup> Condición corporal Baja escala (0.9-1.9)

<sup>b</sup> Condición corporal Media escala (2.0-3.0)

<sup>c</sup> Del piso al nivel de la cruz

<sup>d</sup> Del piso a la tuberosidad coxal

<sup>e</sup> De la cruz al maslo de la cola

<sup>f</sup> Al nivel del corazón

<sup>g</sup> Entre las tuberosidades coxales

<sup>h</sup> Circunferencia entre articulación coxal y articulación de rodilla

<sup>i</sup> Mediante palpación y midiendo de la articulación coxal y articulación de rodilla.

Cuadro 6. Análisis estadístico de las medidas zoométricas de acuerdo al grupo racial y grupo de condición corporal.

Variable	P*		
	Efecto Raza	Efecto Grupo	Raza* Grupo
<b>Alto de la Cruz</b> <sup>c</sup>	0.0001	0.8911	0.7886
<b>Alto de la Pierna</b> <sup>d</sup>	0.0001	0.4378	0.6855
<b>Largo Animal</b> <sup>e</sup>	0.0001	0.3318	0.0808
<b>Circunferencia Torácica</b> <sup>f</sup>	0.0001	0.5792	0.929
<b>Ancho Cadera</b> <sup>g</sup>	0.0001	0.0034	0.2022
<b>Circunferencia Pierna</b> <sup>h</sup>	0.2095	0.9912	0.8224
<b>Largo del Fémur</b> <sup>i</sup>	0.0001	0.1186	0.2432

<sup>c</sup> Del piso al nivel de la cruz

<sup>d</sup> Del piso a la tuberosidad coxal

<sup>e</sup> De la cruz al maslo de la cola

<sup>f</sup> Al nivel del corazón

<sup>g</sup> Entre las tuberosidades coxales

<sup>h</sup> Circunferencia entre articulación coxal y articulación de rodilla

<sup>i</sup> Mediante palpación y midiendo de la articulación coxal y articulación de rodilla.

\* Probabilidad estadística

Cuadro 7. Media de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de IGF-I analizadas con mediciones repetidas de acuerdo a la raza y grupo de condición corporal, a los días 14, 28 y 42 de la fase experimental.

Variable	Genotipo						P		
	Criolla		Sannen				Efecto Raza	Efecto Grupo	Raza*Grupo
	Baja <sup>a</sup>	Media <sup>b</sup>	Baja <sup>a</sup>	Media <sup>b</sup>	Media <sup>b</sup>	Media <sup>b</sup>			
<b>n</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>				
<b>IGF-1 ng/ml</b>									
<b>Inicio</b>	82.2±20.62	158.3±21.64	250.2±32.47	244.6±32.87		0.0001	0.006	0.1724	
<b>Mitad</b>	64.6±21.15	168.2±21.52	221.5±32.74	323.1±31.97		0.0001	0.006	0.1724	
<b>Final</b>	63.7±20.90	156.8±21.67	225.1±31.99	124.7±33.14		0.0001	0.006	0.1724	

Datos presentados como medias±error estandar.

<sup>a</sup> Condición corporal Baja (0.9-1.9)

<sup>b</sup> Condición corporal Media (2.0-3.0)

\* Probabilidad estadística

Cuadro 8. Peso vivo, condición corporal y variables usadas en la composición corporal de cabras reproductoras de acuerdo a la raza y el grupo de condición corporal.

Grupo	Genotipo											
	Criolla Baja <sup>a</sup> (n=21)			Criolla Media <sup>b</sup> (n=20)			Sannen Baja <sup>a</sup> (n=9)			Sannen Media <sup>b</sup> (n=9)		
	Media	Rango	EE	Media	Rango	EE	Media	Rango	EE	Media	Rango	EE
Peso vivo al sacrificio, Kg.	29.8	22.8-39.0	1.23	36.4	29.2-51.0	1.29	47.0	34.0-61.4	1.88	55.2	45.6-65.0	1.88
Canal caliente, Kg.	14.2	11.1-18.3	0.61	17.4	13.1-23.6	0.63	22.3	15.8-28.7	0.94	27.4	20.5-32.3	0.94
Grasa Perirrenal, Kg.	0.6	0.2-1.7	0.09	1.1	0.56-1.95	0.10	0.9	0.3-1.3	0.15	1.9	0.99-3.2	0.15
Grasa Abdominal <sup>c</sup> , Kg.	1.2	0.6-2.3	0.16	2.0	1.4-2.9	0.17	2.4	1.5-3.2	0.25	3.4	1.1-5.8	0.23
Canal fría <sup>d</sup> , Kg.	13.0	10.0-17.0	0.51	15.7	12.0-21.0	0.53	21.0	15.0-27.0	0.79	24.0	19.0-28.0	0.79
Grasa intermuscular <sup>e</sup> , Kg.	1.3	0.3-2.2	0.19	2.1	1.4-3.8	0.20	3.5	2.1-6.3	0.29	4.3	2.3-5.7	0.29
Grasa intermuscular % <sup>f</sup>	10.3	3.0-19.0	0.008	13.2	10.0-20.0	0.008	16.2	11.0-25.0	0.01	18.0	11.0-24.0	0.01
Grasa Total <sup>g</sup> , Kg.	3.2	1.3-5.2	0.36	5.2	3.8-7.6	0.40	6.9	4.5-10.5	0.56	9.6	6.1-13.6	0.53
Grasa Total <sup>h</sup> , %	4.0	1.0-8.0	0.01	5.0	4.0-10.0	0.01	7.0	5.0-11.0	0.02	8.0	5.0-11.0	0.02
Músculo total <sup>i</sup> , Kg.	7.6	4.5-10.1	0.37	9.1	6.6-12.8	0.39	11.0	8.9-14.9	0.57	13.6	8.3-17.9	0.57
Músculo total <sup>j</sup> %	58.4	37.0-73.0	0.01	58.4	44.0-67.0	0.01	53.0	43.0-65.0	0.02	56.3	39.0-69.0	0.02
Hueso total <sup>k</sup> , Kg.	2.6	1.5-3.9	0.19	2.7	1.4-6.4	0.20	3.6	1.9-4.7	0.29	3.3	2.1-4.8	0.29
Hueso total <sup>l</sup> %	19.8	11.0-29.0	0.01	16.8	9.0-30.0	0.01	17.6	9.0-25.0	0.01	13.7	9.0-17.0	0.01

Datos presentados como Media, Rango y EE= Error Estándar. <sup>a</sup> Condición corporal Baja (0.9-1.9), <sup>b</sup> Condición corporal Media (2.0-3.0), <sup>c</sup> Tejido Adiposo Mesentérica+omental, <sup>d</sup> Pesaje después de 24 hrs. al sacrificio, <sup>e</sup> Grasa entre los músculos de la canal fría, <sup>f</sup> % de Kg. grasa intermuscular entre Kg. de canal fría, <sup>g</sup> Grasa total del animal, <sup>h</sup> Porcentaje de grasa en relación al peso vivo, <sup>i</sup> Total del músculo de la canal fría, <sup>j</sup> % de Kg. músculo entre Kg. de canal fría, <sup>k</sup> Total de hueso de la canal fría, <sup>l</sup> % de Kg. hueso entre Kg. canal fría.

Cuadro 9. Análisis estadístico de peso vivo y variables de composición corporal de acuerdo a raza y grupo.

Variable	P		
	Efecto Raza	Efecto Grupo	Raza*Grupo
<b>Peso Vivo al sacrificio</b>	0.0001	0.0001	0.6123
<b>Canal caliente</b>	0.0001	0.0001	0.2653
<b>Tejido Adiposo Perirrenal</b>	0.0008	0.0001	0.0622
<b>Tejido Adiposo Abdominal<sup>c</sup></b>	0.0001	0.0001	0.6797
<b>Canal fría<sup>d</sup></b>	0.0001	0.0001	0.8247
<b>Grasa intermuscular<sup>e</sup></b>	0.0001	0.0004	0.9025
<b>Grasa intermuscular<sup>f</sup></b>	0.0001	0.0364	0.6016
<b>Grasa Total<sup>g</sup></b>	0.0001	0.0001	0.3888
<b>Grasa Total<sup>h</sup></b>	0.0001	0.0001	0.4747
<b>Músculo total<sup>i</sup></b>	0.0001	0.0001	0.2913
<b>Músculo total<sup>j</sup></b>	0.0685	0.4239	0.4086
<b>Hueso total<sup>k</sup></b>	0.0001	0.6706	0.378
<b>Hueso total<sup>l</sup></b>	0.0515	0.0113	0.726

<sup>c</sup> Tejido Adiposo Mesentérica+omental, <sup>d</sup> Pesaje después de 24 hrs. al sacrificio, <sup>e</sup> Grasa entre los músculos de la canal fría, <sup>f</sup> % de Kg. grasa intermuscular entre Kg. de canal fría, <sup>g</sup> Grasa total del animal, <sup>h</sup> Porcentaje de grasa en relación al peso vivo, <sup>i</sup> Total del músculo de la canal fría, <sup>j</sup> % de Kg. músculo entre Kg. de canal fría, <sup>k</sup> Total de hueso de la canal fría, <sup>l</sup> % de Kg. hueso entre Kg. canal fría. \* Probabilidad estadística

Cuadro 10. Coeficiente de correlación (r) entre composición corporal y los diferentes estimadores de cabras reproductoras. (n=59)

Variable	GRASA	MUS	GRASA+MUS
PV	0.83**	0.90**	0.91**
Ultrasonografía esternal	-0.15	-0.06	-0.10
Condición corporal	0.75**	0.63**	0.73**
IGF-I	0.65**	0.70**	0.74**

\*\*P<0.0001

PV= Peso vivo, MUS=Cantidad de músculo de la canal, GRASA=Grasa total de grasa del animal, GRASA+MUS=Reservas corporales energéticas (tejido muscular+tejido adiposo), IGF-I=Concentraciones plasmáticas de IGF-I.

Cuadro 11. Ecuaciones de predicción, de acuerdo al genotipo, utilizando el método de condición corporal y las medidas zoométricas

Variable, Kg.	Genotipo	Ecuaciones	R <sup>2</sup>	RSD
Músculo	Criolla	-14.37 + 1.92 (CC) <u>30%</u> + 0.41 (LF) <u>21%</u> + 0.16 (AP) <u>6%</u>	0.57	1.07
	Sannen	-30.77 + 2.88 (CC) <u>18%</u> + 0.31 (CIRT) <u>54%</u> + 0.40 (CIRP) <u>6%</u>	0.78	1.35
Grasa	Criolla	-5.60 + 2.33 (CC) <u>66%</u> + 0.24 (LF) <u>5%</u>	0.71	0.59
	Sannen	-25.75 + 3.62 (CC) <u>47%</u> + 0.41 (LA) <u>26%</u>	0.73	1.87
Reservas Corporales Energéticas	Criolla	-26.99 + 3.73 (CC) <u>56%</u> + 0.17 (LA) <u>4%</u> + 0.14 (CIRT) <u>3%</u> + 0.54 (LF) <u>13%</u>	0.76	1.85
	Sannen	-72.12 + 5.96 (CC) <u>24%</u> + 0.70 (CIRT) <u>58%</u> + 0.81 (CIRP) <u>7%</u>	0.89	2.45

El valor subrayado representa el porcentaje que la variable explica en el modelo.

P<0.0001

CC = Condición Corporal

Mediciones Zoométricas en centímetros: LF= Largo del Fémur, AP= Alto de la Pierna, CIRT= Circunferencia Torácica, CIRP= Circunferencia de la Pierna,

LA= Largo del Animal, ANC= Ancho de la Cadera,

RSD=Residual

Cuadro 12. Ecuaciones de predicción, de acuerdo al genotipo, utilizando báscula, método de condición corporal y medidas zoométricas.

Variable, Kg.	Genotipo	Ecuaciones	R <sup>2</sup>	RSD
Músculo	Criolla	$-3.79 + 0.24 (PV) \underline{65\%} + 0.19 (LF) \underline{2\%}$	0.67	0.80
	Sannen	$22.92 + 0.29 (PV) \underline{66\%} - 0.36 (AC) \underline{8\%}$	0.74	1.70
Grasa	Criolla	$2.94 + 0.17 (PV) \underline{66\%} + 0.91 (CC) \underline{10\%} - 0.09 (AC) \underline{2\%}$	0.78	0.45
	Sannen	$12.89 + 0.54 (PV) \underline{83\%} - 0.36 (CIRT) \underline{6\%}$	0.89	0.76
Reservas Corporales Energéticas	Criolla	$-2.72 + 0.43 (PV) \underline{84\%} + 0.81 (CC) \underline{1\%}$	0.85	1.16
	Sannen	$-26.00 + 0.52 (PV) \underline{85\%} + 3.50 (CC) \underline{5\%} + 0.56 (CIRP) \underline{4\%}$	0.94	1.27

El valor subrayado representa el porcentaje que la variable explica en el modelo.

P<0.0001

PV = Peso Vivo

CC = Condición Corporal

Mediciones Zoométricas en centímetros: LF= Largo del Fémur, AC= Alto de la Cruz, AP= Alto de la Pierna, CIRT= Circunferencia Torácica, CIRP= Circunferencia de la Pierna, LA= Largo del Animal, ANC= Ancho de la Cadera,

RSD=Residual



Cuadro 13. Ecuaciones de predicción, de acuerdo al genotipo, utilizando báscula, método de condición corporal, medidas zoométricas, medidas ultrasonográficas y mediciones hormonales.

Variable, Kg.	Genotipo	Ecuaciones	R <sup>2</sup>	RSD
Músculo	Criolla	$-4.93 + 0.20 (PV) \underline{65\%} + 0.29 (LF) \underline{2\%} + 0.004 (IGF-1) \underline{3\%}$	0.71	0.71
	Sannen	$-10.49 + 0.13 (PV) \underline{66\%} + 1.25 (CC) \underline{3\%} + 0.64 (TEST) \underline{10\%} + 0.008 (IGF-1) \underline{10\%}$	0.89	0.65
Grasa	Criolla	$-0.07 + 0.14 (PV) \underline{66\%} + 0.70 (CC) \underline{10\%} + 0.95 (GD2) \underline{2\%} + 0.16 (MEST) \underline{2\%} - 0.09 (AC) \underline{1\%}$	0.81	0.38
	Sannen	$12.89 + 0.54 (PV) \underline{83\%} - 0.36 (CIRT) \underline{6\%}$	0.89	0.76
Reservas Corporales Energéticas	Criolla	$-3.15 + 0.41 (PV) \underline{84\%} + 1.37 (GD2) \underline{1\%} + 0.23 (TEST) \underline{3\%} - 0.21 (AC) \underline{1\%} + 0.40 (LF) \underline{1\%} + 0.006 (IGF-1) \underline{1\%}$	0.91	0.69
	Sannen	$-33.87 + 0.44 (PV) \underline{85\%} + 3.69 (CC) \underline{5\%} + 0.55 (MD1) \underline{1\%} + 0.65 (CIRP) \underline{4\%}$	0.95	0.95

El valor subrayado representa el porcentaje que la variable explica en el modelo.  
 $P < 0.0001$

PV = Peso Vivo. CC = Condición Corporal  
 Mediciones Zoométricas en centímetros: LF= Largo del Fémur, AC= Alto de la Cruz, AP= Alto de la Pierna, CIRT= Circunferencia Torácica, CIRP= Circunferencia de la Pierna. Mediciones Ultrasonográficas en centímetros: MEST= Músculo del Esternon, GD2= Grasa Dorsal Lumbar, MD1= Músculo Gran Dorsal, MD2= Músculo Dorsal Lumbar, TD2= Tejidos de la zona lumbar, TEST= Tejidos entre piel y esternón, TD1= Tejidos de la zona dorsal. IGF-I= Mediciones hormonales: IGF-1 ng/ml=IGF-1 al final de la fase experimental.  
 RSD=Residual