



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA

RELACIÓN DEL DIÁMETRO DE ADIPOCITOS CON LA CONDICIÓN
CORPORAL, LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE EN
CABRAS DE GENOTIPO LECHERO DURANTE SU PERIODO DE
LACTACIÓN

QUE PRESENTA:

P.M.V.Z. SERGIO EDUARDO CARREÓN IBARRA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

ASESORES:

MVZ MC YAZMIN IVONNE ARRIAGA AVILÉS

MVZ PHD IRMA EUGENIA CANDANOSA ARANDA

MVZ PHD ANDRES E. DUCOING WATTY





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

A la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, y a sus maestros por haberme brindado los conocimientos necesarios, para realizar con ética y profesionalismo mi labor como Médico Veterinario.

A mis asesores que me brindaron todos sus conocimientos, paciencia, esfuerzo, dedicación y tiempo para que este trabajo fuera posible realizarlo.

A mi asesora la Dra. Yazmin Ivonne Arriaga Avilés, que sin la oportunidad que me brindo para realizar este trabajo, no podría obtener mi grado como Médico Veterinario, también le agradezco el apoyo constante, sus consejos y su dedicación para que culminara con éxito este proyecto.

A mi asesora la Dra. Irma Eugenia Candanosa Aranda, quien con su inmenso conocimiento y apoyo brindado, logro que terminara con éxito este proyecto.

A mi asesor el Dr. Andrés E. Ducoing Watty, quien gracias a sus inmensos conocimientos, tiempo, paciencia, dedicación y apoyo constante, hizo posible que culminara con éxito este proyecto.

DEDICATORIA

El siguiente trabajo esta dedicado a mis padres Sergio Carreón Arciniega y Alma Yolanda Ibarra Ávila, quienes a pesar de todas las adversidades que ocurrieron en nuestras vidas, siempre he contado con su inmenso amor, apoyo y respeto, puedo decir con orgullo, que gracias a sus inmensos sacrificios e inagotables esfuerzos, lograron hacer de mi una persona recta, integra y llena de valores, que sin su aliento no habría logrado terminar mi preparación académica, cada uno de mis logros ya sean pequeños o grandes tienen su huella, los amo.

A mi Mami que mas que mi abuela fue una madre para mi, y que con sus inmensas expectativas e inmenso orgullo que sentía, ayudaron a que terminara mis estudios universitarios, me hubiera encantado que me vieras convertirme en todo un Medico Veterinario, pero siempre estarás presente en mis logros, te amo.

A mi tía Martha Beatriz Carreón Arciniega, quien siempre estuvo pendiente en mi formación académica, y con su apoyo y consejos contribuyo a que terminara mis estudios universitarios.

A mis tíos, primos y demás familia que con su apoyo contribuyeron a que terminara mis estudios.

A mis camaradas veterinarios Gustavo, Diana, que siempre conté con su apoyo, pero en especial a Beatriz, que fue y siempre será muy importante en mi vida.

ÍNDICE

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. REVISIÓN LITERARIA.....	12
2.1. HISTOLOGÍA DE TEJIDO ADIPOSO.....	12
2.1.2. HISTOGÉNESIS DEL TEJIDO ADIPOSO.....	13
2.2. FISIOLÓGÍA DE TEJIDO ADIPOSO.....	14
2.3. MORFOLOGÍA DE LA GLÁNDULA MAMARIA.....	15
2.3.1. HISTOLOGÍA DE LA GLÁNDULA MAMARIA.....	16
2.3.2. FISIOLÓGÍA DE LA GLÁNDULA MAMARIA.....	17
2.4. CONDICIÓN CORPORAL.....	18
2.5. MEDICIÓN DE ADIPOCITOS.....	19
2.6. LACTACIÓN.....	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. HIPÓTESIS.....	22
5. OBJETIVO.....	22
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
6.1. LOCALIZACIÓN.....	23
6.2. SELECCIÓN DE ANIMALES.....	23
6.3. FORMACIÓN DE GRUPOS Y TRATAMIENTO ALIMENTICIO	23
6.4. COMPOSICIÓN DE LA LECHE.....	24
6.5. BIOPSIA DE TEJIDO ADIPOSO Y DETERMINACIÓN DE TAMAÑO CELULAR.....	25
7. RESULTADOS.....	26

7.1. INTERACCIÓN ENTRE CONDICIÓN CORPORAL Y DIETA	26
7.2. DIETA.....	27
7.3. CONDICIÓN CORPORAL.....	28
7.4. ADIPOCITOS.....	32
7.5. COMPONENTES DE LA LECHE.....	33
7.5.1. GRASA.....	33
7.5.2. PROTEÍNA.....	34
7.5.3. LACTOSA.....	35
7.5.4. SÓLIDOS TOTALES.....	36
7.5.5. PRODUCCIÓN LÁCTEA.....	37
8. DISCUSIÓN.....	38
9. CONCLUSIONES.....	41
10. BIBLIOGRAFIA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

1. MEDIA DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL DIÁMETRO DE LOS ADIPOCITOS EN LOS DIVERSOS GRUPOS DE CONDICIÓN CORPORAL Y RESTRICCIÓN ALIMENTARIA.....27
2. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL DIÁMETRO DE ADIPOCITOS EN CABRAS CON UNA DIETA CON RESTRICCIÓN NUTRIMENTAL DE 80% Y SIN RESTRICCIÓN 100%..... 28
3. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL DIÁMETRO DE LOS ADIPOCITOS EN CABRAS CON CONDICIÓN CORPORAL ALTA O BAJA..... 29
4. CORRELACIONES SIMPLES ENTRE LOS COMPONENTES DE LA LECHE DE CABRA EN EL DÍA 1 DE LACTACIÓN..... 30
5. CORRELACIONES SIMPLES SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS COMPONENTES DE LA LECHE DE CABRA A LOS 110 DÍAS POSTPARTO..... 31
6. CORRELACIONES SIMPLES ENTRE LOS COMPONENTES DE LA LECHE DE CABRA A LOS 210 DÍAS POSTPARTO..... 32
7. CORRELACIONES SIMPLES SIGNIFICATIVAS ENTRE EL DIÁMETRO DE LOS ADIPOCITOS DE CABRA A LOS 7 DÍAS PREPARTO, 110 Y 210 POSTPARTO Y LA CONDICIÓN CORPORAL 33
8. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL PORCENTAJE DE GRASA EN LECHE EN CABRAS SEGÚN LA CONDICIÓN CORPORAL 33

9. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL PORCENTAJE DE GRASA EN LECHE SEGÚN LA RESTRICCIÓN ALIMENTARIA.....	34
10. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA EN LECHE EN CABRAS SEGÚN LA CONDICIÓN CORPORAL.....	34
11. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA EN LECHE EN CABRAS SEGÚN LA RESTRICCIÓN ALIMENTARIA.....	35
12. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LACTOSA EN CABRAS SEGÚN LA RESTRICCIÓN ALIMENTARIA	35
13. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LACTOSA EN LECHE EN CABRAS SEGÚN LA CONDICIÓN CORPORAL.....	36
14. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN LECHE EN CABRAS SEGÚN LA RESTRICCIÓN ALIMENTARIA.....	36
15. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN LECHE SEGÚN LA CONDICIÓN CORPORAL	37
16. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN LÁCTEA SEGÚN LA RESTRICCIÓN ALIMENTARIA.....	37
17. MEDIAS DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA PRODUCCIÓN LÁCTEA SEGÚN LA CONDICIÓN CORPORAL.....	38

1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que la especie caprina fue el primer rumiante en ser domesticado, cerca del año 8000 a.C. Desde entonces ha formado parte importante de la humanidad, estando presente en la economía, religión, costumbres y hábitos diarios. Ha sido considerada como símbolo de abundancia e incluso a su piel se le han atribuido propiedades milagrosas (1).

Las cabras son animales bingulados, poligástricos, rumiantes y herbívoros, tienen el cuerpo cubierto de pelo en diferentes tonalidades, pueden o no presentar cuernos, generalmente llevan la cola dirigida hacia arriba y sus orejas pueden ser pendulantes o erectas (2). Son herbívoros que prefieren la vegetación arbustiva, siendo capaces de proveerse de alimento en los sitios más insospechados, lo que les permite adaptarse y resistir de manera satisfactoria en ambientes con condiciones ecológicas desfavorables, donde otras especies perecerían (3).

La población caprina en México se estima en 8.9 millones de cabezas de ganado caprino, las cuales producen 147,607 millones de litros de leche y aproximadamente 41,992 millones de toneladas de carne (SAGARPA, 2010).

México es el país americano que más leche de cabra produce, siendo un 42.8% de la producción total de América (FAOSTAT. 2005).

En México la producción caprina se encuentra muy estrechamente ligada al desarrollo cultural de las poblaciones, por lo que su principal característica es que el 94% de los sistemas de producción caprina en México son de tipo extensivo, con muchas limitaciones tanto alimenticias, sanitarias y por lo tanto productivas, obteniendo cantidades bajas de leche, que principalmente son empleadas para el autoconsumo (4).

La necesidad de satisfacer los requerimientos de leche y carne hacia la población y de aumentar la rentabilidad de las empresas pecuarias, ha motivado a seleccionar

genéticamente especies animales, para poder obtener el máximo provecho de ellas utilizando diversos procedimientos para poder lograr elevadas producciones.

Durante las 2-3 últimas semanas de gestación, las cabras además de aumentar considerablemente sus necesidades, se reducen la capacidad de ingestión debido a la presión del útero grávido sobre el aparato digestivo, y remuevan sus reservas corporales (en particular las que gestan varios fetos); se movilizan 100 g por cada 0.40 Unidad Forrajera de Leche (UFL) que la cabra deja de cubrir con el alimento. La movilización de reservas es importante en cabras, siendo normal que pierdan 5 kg (casi el 10% del peso corporal) durante las tres últimas semanas de gestación; en el caso de gestar 3 o más fetos es frecuente que se movilicen 10 kg o más. Las reservas movilizadas se recuperan tras el pico de la posterior lactación (5)

Después del parto, las cabras necesitan cubrir altos requerimientos nutricionales para poder sostener una producción lechera aceptable. Ante carencias nutricionales recurren a la utilización de reservas grasas dando una disminución en la producción de leche. Los niveles de producción en la especie varían por efecto de la raza, el medio ambiente, nutrición y periodo de lactación (5).

Entre los factores ambientales que más influyen en la producción de leche, sin duda alguna, la nutrición es el más importante, de tal forma que la complementación desde el último tercio de la gestación repercute en forma directa sobre la siguiente lactación.

Se advierte un efecto positivo de dicha práctica de manejo alimenticio tanto en la producción de leche como en su composición, así como sobre el pico de producción durante la lactación, ya que las dietas altas en energía producen picos más elevados y en menor tiempo, sucediendo lo contrario cuando se suministran niveles bajos de energía (6).

El adipocito es la célula del tejido adiposo de forma redondeada o poliédrica con citoplasma y núcleo comprimido contra la membrana celular por acción de la gran gota de grasa que almacena en su interior. Esta célula constituye una fuente natural de reserva nutritiva para el organismo en condiciones normales. El adipocito ha sido reconsiderado, y es estudiado como algo más que una célula almacén, otorgándosele el estatus de célula capaz de sintetizar y liberar un gran número de moléculas de naturaleza lipídica y proteica. Los adipocitos sintetizan y liberan una gran variedad de péptidos y sustancias no peptídicas, almacenan y movilizan triglicéridos retinoides y colesterol estos compuestos intervienen en el metabolismo de carbohidratos y lípidos así como en la patogenia de la hipertensión arterial y la diabetes mellitus, consideradas ambas factores de riesgo aterogénico (7), (8)

La composición de los depósitos de grasa en los rumiantes, a diferencia de animales no rumiantes, no está influenciada por los ácidos grasos que componen la dieta, sino por la proporción de carbohidratos fermentables en el rumen, ya que debido a la acción de la microflora ruminal, todos los tejidos del cuerpo son capaces de tener deposición grasa, siendo el tejido adiposo el lugar de almacén mas común (7).

Para la evaluación de las reservas corporales existen diferentes métodos (Purroy et al., 1987), algunos de los cuales por su complejidad sólo pueden utilizarse en los laboratorios de los centros especializados existentes en las universidades o institutos. En las condiciones de campo sólo 2 de los métodos existentes pueden utilizarse, el peso vivo y la condición corporal (9).

El peso vivo presenta la ventaja de ser fácil de medir, pero al existir grandes variaciones en el tamaño de los animales en un rebaño, no refleja de manera adecuada la masa corporal de un animal, el que puede verse afectado por el formato, el peso del contenido digestivo y en el caso de las cabras gestantes por el peso de los fetos y de los líquidos

fetales. Además presenta el inconveniente de tener que adquirir una balanza, situación que no siempre es posible por su alto precio (10).

Por el contrario, la condición corporal resulta ser un método de fácil aplicación que no necesita de ningún equipo para su determinación y además no se encuentra afectado por los estados fisiológicos del animal.

La determinación del estado corporal de cabras mediante la utilización de la condición corporal (CC) se basa en una escala de puntajes que va desde el 1 al 5. Este rango de notas fluctúa desde 1 la que es propia de un animal que está a punto de morir hasta la 5, representativa de un animal sobre engrasado (11).

El estado corporal proporciona una perspectiva de la condición nutricional, ya que se ha demostrado que un cambio en el peso tiene como consecuencia una variación en la composición de la canal, por lo que en definitiva se verá reflejado en cambios de condición corporal. Se ha observado que un estado de delgadez o estado corporal bajo, tiene repercusión importante en los parámetros productivos como producción de leche principalmente (11).

La estimación subjetiva de la condición corporal se ha usado durante un tiempo considerable para determinar la proporción de grasa de un animal, por lo que diversos autores la han utilizado como la interpretación del estado nutricional de los animales.

La condición corporal en los caprinos y su interpretación representan una herramienta valiosa para la toma de decisiones relacionadas al manejo nutricional del rebaño que puede ser traducido en un incremento de su productividad (12).

En cabras lecheras, es escasa la información referente a la relación que existe entre el consumo de energía en la dieta, los cambios de la condición corporal y lipólisis tisular después del parto y su relación con los componentes lácteos.

Por lo anterior, esta investigación se enfocó en evaluar el diámetro de los adipocitos en relación con la condición corporal, y componentes de la leche tales como, la lactosa, la grasa, los sólidos totales y la proteína.

2. Revisión de literatura

2.1 HISTOLOGÍA DE TEJIDO ADIPOSO

El tejido adiposo se considera hoy un órgano difuso de gran actividad metabólica, representa una importante reserva energética (13).

Las grasas almacenadas en el tejido adiposo contienen más energía por gramo que las correspondientes cantidades de proteína o azúcares, contribuyen de manera importante a los mecanismos de termorregulación ayudando a conservar el calor, como aislantes debido a su distribución en órganos viscerales y epiplón mayor (14).

Más del 50% del tejido adiposo esta formado por adipocitos, el resto son preadipocitos, fibroblastos y otros tipos celulares como pericitos, células endoteliales y sanguíneas (7).

El tejido adiposo se clasifica en dos tipos, según esté compuesto por adipocitos uniloculares (grasa blanca) o multiloculares (grasa parda). Otras diferencias entre ambos tipos de tejido adiposo son el color, la vascularidad y la actividad metabólica (7).

2.1.2 Histogénesis del tejido adiposo

El origen de los adipocitos y las líneas de diferenciación no están definitivamente aclarados pero se ha llegado al acuerdo por medio de investigaciones en que células mesenquimáticas multipotentes indiferenciadas dan origen por diferenciación, a células denominadas adipoblastos (13). De los adipoblastos, algunos se diferencian y se dotan

de enzimas lipogénicas y lipolíticas, y aumentan su sensibilidad a la insulina y las catecolaminas, entre otras. Así, se convierten en preadipocitos que almacenan lípidos en su citoplasma. En el momento en el que las gotas lipídicas se fusionan con las vacuolas lipídicas, se consideran adipocitos (13).

El criterio predominante consiste en que el tejido adiposo se desarrolla por dos procesos separados. Se produce formación primaria de grasas al principio de la vida fetal, durante el que se distribuyen grupos de células epitelioides precursoras en ciertas localizaciones en el feto en desarrollo: en estos tejidos comienzan a acumularse gotitas de lípidos en forma de tejido adiposo pardo. Cerca del final de la vida fetal, otras células precursoras fusiformes se diferencian en muchas zonas del tejido conectivo dentro del feto y empiezan a acumular lípidos, que entran en coalescencia en una sola gotita dentro de cada célula, con lo que se forman las células grasas uniloculares que se encuentran en los adultos. Este último proceso se denomina formación secundaria de grasa (7).

Los adipocitos maduros son células esféricas, muy grandes (en rumiantes pueden alcanzar un volumen de 2-3 nanolitros) (13). Poseen una gran vacuola lipídica central característica rodeada por una fina capa de citoplasma. El núcleo es aplanado y está desplazado a la periferia de la célula. En el citoplasma destacan pequeñas mitocondrias, un pequeño complejo de Golgi y canales tortuosos del retículo endoplasmático liso (Paniagua *et al.*, 1993).

El crecimiento del tejido adiposo se produce por la combinación de dos procesos: la hiperplasia o aumento del número de los adipocitos y la hipertrofia o aumento de su tamaño. La hiperplasia ocurre por proliferación de los preadipocitos y su posterior diferenciación (7); la hipertrofia se debe a la acumulación de lípidos, en forma de triglicéridos (resultado de la esterificación entre el glicerol-3-fosfato y los ácidos grasos), en su citoplasma.

2.2 Fisiología de tejido adiposo

La grasa se almacena fundamentalmente en dos tejidos del organismo: el tejido adiposo y el hígado. Al primero se le suele llamar depósito de grasa. El principal papel del tejido adiposo es almacenar los triglicéridos hasta que se necesiten en cualquier otra parte del organismo para producir energía. La función más conocida del tejido adiposo es la de albergar la mayor parte de las reservas energéticas, ya que además posee actividad metabólica y endócrina (autócrina e intrácina) que influyen sobre sí mismo y sobre otros tejidos. La función de depósito que tradicionalmente se le atribuyó al tejido adiposo ha quedado absorbida por participación activa como productor de sustancias con acción hormonal local (autócrina) y a distancia (endócrina) (7).

En el tejido adiposo se sintetiza el factor de necrosis tumoral, cuya expresión se encuentra especialmente aumentada en la obesidad visceral. Esta citoquinina produce insulinoresistencia muscular, hipertrigliceridemia y modula positivamente la actividad del inhibidor del activador del plaminógeno (17). En el tejido adiposo se expresa el gen *ob*, responsable de la producción de leptina, proteína que integra un circuito de retroalimentación que informa a un receptor cerebral (OB-R) del volumen del tejido adiposo (17). Otras sustancias producidas por los adipocitos cumplen con funciones desconocidas, como el caso de la adipsina, que es una enzima sérica que se encuentra disminuida en animales obesos (17).

Desde el punto de vista endócrino, el tejido adiposo se comporta como un órgano de producción periférica de estrógenos, a partir de los andrógenos circulantes, por acción de la aromatasa y de la 17 β hidroxisteroide dehidrogenasa de las células del estroma y del adipocito (17).

La grasa es también un depósito de β carotenos, de vitamina E, de ácidos grasos esenciales y hasta de insecticidas liposolubles del tipo de los clorados, otras funciones conocidas para la grasa son su gran capacidad como aislante térmico y de protección mecánica frente a traumatismos (4).

2.3 Morfología de la glándula mamaria

Las ubres de los caprinos se describen en tres clases de acuerdo a su forma, dichas formas son de pera alargada en donde los pezones se distinguen muy poco de la parte glandular, oval o tipo alpino las cuales se insertan bien al abdomen y con pezones voluminosos bien separados de la parte glandular, ligeramente inclinados hacia el frente y globular o tipo Saanen que están bien insertadas en el abdomen, algunas veces tan anchas como altas y con los pezones más pequeños que los otros tipos.

De la cisterna de la glándula parte una serie de conductos los cuales se ramifican muchas veces hasta llegar a un conducto pequeño que drena cada alveolo, los microscópicos conductos terminales y los alveolos se componen de una sola capa de células epiteliales, cuya función es remover nutrientes de la sangre, transformarlos en leche y descargarla en el lumen de cada alveolo, los conductos galactóforos, son aquéllos por los cuales viaja la leche de la glándula mamaria al neonato cuando mama, por lo que es importante resaltar que la cabra presenta un solo conducto galactóforo por glándula (18).

2.3.1 Histología de la glándula mamaria

La glándula mamaria es una glándula sudorípara tubuloalveolar modificada compuesta, que consta de un estroma (armazón de tejido conectivo), un parénquima (parte epitelial),

así como conductos, vasos y nervios (15), (16). Los lípidos se secretan por el método apócrino; las proteínas y los carbohidratos, por el método merócrino (19).

La glándula mamaria esta constituida por la ubre y el pezón. Las glándulas en lactación activa tienen gran cantidad de parénquima y poco tejido conjuntivo. Cuando no se encuentran en lactación sucede lo contrario. (14).

La superficie del pezón está cubierta de epitelio escamoso estratificado, el cual se continúa con el ducto estriado. Alrededor de dicho conducto se disponen numerosas fibras musculares lisas, la mayoría en disposición circular para formar el esfínter, pero queda una minoría en disposición longitudinal, paralelas a la luz del conducto (15).

La glándula mamaria difiere de muchas otras glándulas exócrinas por el hecho de que la porción secretoria no se limita a las terminaciones de los conductillos, sino que los tejidos productores de leche se vacían directamente en los grandes conductos e inclusive en la cisterna de la glándula (15).

Un grupo de lobulillos dentro del tejido conectivo forman un lóbulo, dentro del lóbulo, los conductos interlobulillares se unen para formar un solo conducto intralobular, el cual se llama interlobular cuando sale del lóbulo, los conductos interlobulillares pueden entrar en la cisterna glandular directamente o unirse a otros antes (conductos galactóforos) de entrar en ella (16).

2.3.2 Fisiología de la glándula mamaria

Las glándulas mamarias son glándulas cutáneas modificadas que aparecen pronto en la vida embrionaria. Al nacer la ubre es rudimentaria, un simple botón en medio de un colchón de tejido graso, adquiere muy poco desarrollo antes de la pubertad, pero después de ella se desarrolla notablemente (3).

Después del nacimiento, el sistema de conductos primarios se agranda y ramifica, en su mayor parte después de la pubertad, esto es gracias a cada oleada hormonal de estrógenos y progesterona de los recurrentes ciclos estrales. Las células mioepiteliales que rodean al alveolo se contraen en respuesta a la oxitocina, hormona neurohipofisiaria liberada por los reflejos neuroendocrinos provocando la expulsión de la leche (18).

Los reflejos neuroendocrinos se inician con la percepción por parte de la cabra de un estímulo y la conducción de esta información a los centros nerviosos superiores, estos estímulos se originan por la manipulación de la ubre antes de la ordeña, además de los estímulos visuales, olfatorios y acústicos que prevalecen durante dicho proceso. Los impulsos nerviosos ascienden al cordón espinal y de ahí llegan al núcleo para ventricular del hipotálamo y viajando después a la glándula hipófisis posterior, donde causan la liberación de la oxitocina hacia el torrente sanguíneo. Al llegar la oxitocina a la ubre, se difunde en los capilares y causa la contracción de las células. Esta acción de exprimir los alveolos causa un aumento en la presión intramamaria, forzando a la leche a pasar a los conductos así como a las cisternas de la glándula mamaria en aproximadamente 25 segundos (19).

Durante la lactación, las hormonas requeridas para su sustentación incluyen la prolactina, hormona del crecimiento, hormonas tiroideas y paratiroideas así como esteroides adrenales. De las hormonas anteriores, la prolactina puede variar en amplios límites sin afectar seriamente la producción de leche por lo que es posible que el papel de ésta sea en el inicio de la lactación más que en el mantenimiento de la secreción de leche (19).

La función de la glándula mamaria es la producción y secreción de leche, y puede ser extirpada en cualquier momento de la vida del animal sin que se presente ningún trastorno de importancia (3).

2.4 Condición corporal

El término de condición corporal (CC) se define como la razón de la cantidad de materia grasa en el cuerpo del animal vivo (20). La CC también es definida como la proporción de la cantidad de grasa por la suma de la materia no grasa en el cuerpo del animal vivo (20).

La evaluación manual de la CC es una técnica poco costosa para apreciar las reservas corporales de los animales. Consiste en juzgar, por medio de palpación de una región anatómica específica (esternal, lumbar y caudal), la cantidad de grasa y músculo.

Morand-Fehr, *et al*, (1997) propusieron una escala de CC, otorgando valores de unidad a los diferentes estados de condición, medidos en una escala con rango de 0 a 5, en la palpación de la región lumbar de cabras de genotipo lechero.

- Grado uno: Apófisis espinosas prominentes y angulosas, apófisis transversas también angulosas, músculo *Longissimus dorsi* es poco profundo y casi no tiene grasa subcutánea encima.
- Grado dos: Apófisis espinosas prominentes, apófisis transversas lisas y redondas, los dedos pasan por debajo de los extremos de las apófisis ejerciendo poca presión.
- Grado tres: Apófisis espinosas con pequeña elevación, lisas y redondeadas, apófisis transversas lisas y bien cubiertas, detectables al tacto.
- Grado cuatro: apófisis espinosas detectables sólo si se ejerce presión al tacto, ausencia de surco lumbar, apófisis transversas no se sienten.
- Grado cinco: Apófisis transversas no pueden sentirse, grandes depósitos de grasa sobre la pelvis y base de la cola.

Es bien sabido, que la proporción de grasa en la región lumbar en caprinos es inferior a la cantidad que presentan los ovinos (21), por lo que se utiliza una adaptación del modelo propuesto por (9) acerca de la escala de medición de condición corporal, incluyendo la palpación de la región esternal y esto se le suma el modelo propuesto por Teixeira en 1989 donde se incluye la palpación de tejidos anexos a la región lumbar.

La finalidad de la calificación de la CC es poder interpretar el estado nutricional del animal, por lo que se considera como una herramienta muy valiosa para tomar decisiones relacionadas con el manejo nutricional de los animales, para cubrir los requerimientos nutricionales y así asegurar su salud, a su vez dicha calificación evalúa la relación entre la cantidad de grasa corporal y músculo que el animal posee (10).

2.5 Medición de adipocitos

La medición de adipocitos es una técnica estudiada en diferentes especies para la determinación y predicción de las reservas grasas. Esta técnica está basada en el crecimiento del tejido adiposo el cual está determinado por la hiperplasia e hipertrofia de los adipocitos. Dicha reserva se va almacenando o removiendo dependiendo del balance energético del animal. Cuando el animal se encuentra en un balance energético positivo, incrementa sus reservas energéticas, aumentando así los depósitos de tejido adiposo, lo que es entendido como una hipertrofia de la célula. Este incremento de tamaño provoca un aumento en las células adiposas. La hiperplasia de estas nuevas células se traduce en un aumento de los depósitos grasos. (12; 51).

La masa de tejido adiposo varía en tamaño con los cambios en el número y tamaño promedio de los adipocitos. (12). En los rumiantes adultos, la mayoría de los cambios en el tamaño de los depósitos de tejido adiposo se debe a los cambios en el tamaño promedio de la célula (35).

En distintos trabajos realizados, se encontró que el diámetro de los adipocitos de muestras obtenidas de la base de la cola presenta una correlación muy elevada con la cantidad de grasa corporal que presenta el animal. Este método permite estimar la proporción de grasa corporal total, a partir de la toma de muestras de depósitos de grasa, así como la apreciación de la evolución de sus reservas grasas corporales durante determinados periodos de tiempo y bajo diferentes necesidades energéticas (17).

2.6 Lactación

Durante la lactación, la mayor proporción de la energía es usada por la glándula mamaria (22). En la lactogénesis los rumiantes pueden movilizar cantidades considerables de grasa corporal y aportar la energía necesaria para mantener la producción y suministrar los nutrientes a la leche de acuerdo a su potencial productivo (22).

Las adaptaciones metabólicas en el tejido adiposo contribuyen al inicio y mantenimiento de la lactación (28). La lipogénesis está condicionada a su vez por el efecto lactacional (días de lactancia), el consumo de energía en la dieta, lo que mantiene una relación positiva con el aumento en la tasa de secreción de grasa en leche. Debido a ello, existe una relación inversa entre la tasa de secreción de grasa y la tasa de lipogénesis dentro de la misma lactación (28).

La sucesión de mecanismos de la lipólisis y lipogénesis a lo largo de la lactancia es directamente responsable del cambio en el número y tamaño de los adipocitos observado en diferentes especies (1,22).

La masa de tejido adiposo varía en tamaño promedio de los adipocitos (22). En los rumiantes adultos o cercanamente adultos, la mayoría de los cambios en el tamaño de

los depósitos de tejido adiposo se debe a los cambios en el tamaño promedio de la célula (22).

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la caprinocultura en nuestro país, es necesaria la implementación de programas de manejo y alimentación que sean enfocados en lograr altos niveles de eficiencia. La relación entre la calificación de condición corporal y la movilización de las reservas grasas en caprinos, constituye un criterio para la toma de decisiones relacionadas con el incremento de la productividad.

Estudios realizados en otras especies como bovinos y ovinos demuestran una relación directa entre el tamaño de la célula adiposa y la etapa de lactación, debido esto a la lipólisis tisular.

El propósito del presente estudio fue determinar la relación de los cambios en el estado corporal, sobre la utilización de las reservas grasas y su interacción con el consumo energético en la dieta durante la lactación en cabras de genotipo lechero, para poder establecer la relación directa entre el tamaño de las células adiposas y la secreción de grasa en leche, la cual puede estar modulada por los cambios en la condición corporal, y los momentos fisiológicos críticos en esta especie.

4. HIPOTESIS

En cabras de genotipo lechero con un aporte energético adecuado y una condición corporal entre 3-4 puntos (CM), no se apreciarán cambios en el diámetro de la célula adiposa, por lo tanto mantendrán niveles óptimos de producción de leche y sus componentes, a diferencia de aquellas cabras que tendrán menor aporte energético en la

dieta, esperando cambios en el diámetro de los adipocitos, debido a una mayor actividad lipolítica.

5. OBJETIVO

Determinar el diámetro de los adipocitos de la grasa caudal de cabras lecheras y su relación con el estado corporal y el aporte energético al momento del parto, durante el pico de lactación y al final de la lactación como una prueba alternativa de evaluación de la actividad metabólica.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Localización.

El estudio se llevó a cabo con muestras obtenidas en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El Centro se localiza en el Km. 28.5 de la Carretera Federal a Cuernavaca, Delegación Tlalpan, México, D.F. El Centro se encuentra a una altura de 2760 metros sobre el nivel del mar, el clima de la región es c(w) b(ij) que corresponde a semifrío semihúmedo con lluvias en verano y con una precipitación pluvial de 800 a 1200 milímetros anuales y una temperatura promedio de 19 °C (23).

6.2. Selección de animales

La primera parte se llevó a cabo la formación de grupos y se asignaron 36 cabras hembras adultas de la raza Alpina Francesa en su tercera lactación, con un rango de peso inicial entre 55-60 kg, y una condición corporal promedio de 2.5 a 3.5 puntos, la

selección se realizó de acuerdo a la calificación obtenida en la escala de evaluación de la región lumbar de 5 grados propuesta por (9), donde la condición media corresponde a una calificación entre 3-4 puntos (CM) y condición baja < 3 puntos (CB).

6.3. Formación de grupos y tratamiento alimenticio

A su vez fueron divididas en dos subgrupos con 9 hembras cada uno, para ser sometidas a dos tratamientos alimenticios con relación al contenido energético diario recomendado por el National Research Council (32), se realizó a partir de los 28 días postparto, se controló y estimó el consumo alimenticio diario, esto a través del pesaje del desperdicio, la materia seca en la dieta fue de 2552.8g, proteína total de 340.8g y energía metabolizable de 5.93 Mcal, y los tratamientos fueron los siguientes: sin restricción energética en la dieta (recibiendo el 100%) y con restricción energética en la dieta (recibiendo el 80%), de modo que se organizaron 4 tratamientos: condición corporal media sin restricción (CM 100%), dieta en base a avena (500g), ensilado (560g), alfalfa (850g) y concentrado (1440g), condición corporal media con restricción energética (CM 80%), dieta en base a avena (845g), ensilado (570g), alfalfa (1500g) y concentrado (480g), condición corporal baja sin restricción energética (CB 100%), dieta en base a avena (500g), ensilado (550g), alfalfa (840g) y concentrado (1400g), condición corporal baja con restricción energética (CB 80%), dieta en base a avena (820g), ensilado (550g), alfalfa (1500g) y concentrado (470g).

6.4. Composición de la leche

A lo largo de la lactancia se realizaron 3 muestreos de leche de las hembras de cada grupo, con la finalidad de determinar los niveles de grasa, proteína y lactosa. Las muestras fueron tomadas a los 7, 110 y 210 días desde el parto (1).

Las muestras de leche se congelaron en el momento de su toma, para poder realizar la transportación al laboratorio. Las determinaciones de los componentes lácteos se realizaron en el laboratorio de productos lácteos de la UAM unidad Xochimilco, por medio de espectrofotometría por infrarrojo, (Milko-Scan 133 B, Mca. Foss Electric, Denmark).

6.5. Biopsia de tejido adiposo y determinación de tamaño celular

Se realizaron 3 biopsias de tejido adiposo a 36 animales, 7 días previo al parto (abril-mayo), pico de lactación 110 días (junio-julio) y final de la lactación 210 días (noviembre-diciembre). Estas fueron tomadas de la base de la cola, alternadamente en ambos lados (22), se empleó analgesia local (clorhidrato de lidocaína al 2% en dosis de 2 – 4 mL). Las muestras de tejido adiposo se fijaron en formalina al 37% por siete minutos y posteriormente fueron congelados en nitrógeno líquido a -20°C hasta su procesamiento. A cada muestra de tejido adiposo se le realizaron varios cortes con una medida de 7 μ m, en un criostato Leica CM 1800MR y teñido con Sudán y Hematoxilina-Eosina.

Para la medición del diámetro de los adipocitos se empleó el programa Image Pro Plus versión 4.5.1 para Windows MR 98/2000 y un microscopio óptico Zeiss MC 80. Se midió el diámetro de 100 adipocitos de cada muestra de tejido adiposo.

La información obtenida en el presente estudio fue evaluada por un análisis de varianza para un modelo factorial para mediciones repetidas para determinar los efectos de la

dieta y condición corporal, con el objeto de establecer su efecto sobre el diámetro de los adipocitos. Se analizaron modelos para cada momento de medición con el objeto de determinar los efectos de los componentes de la leche dentro de los tratamientos aplicados sobre el diámetro de los adipocitos y se obtuvieron las correlaciones simples entre tales variables. El análisis de la información se llevó a cabo utilizando el programa estadístico JMP 9.02 (SAS Institute Inc, 2011).

7. RESULTADOS

7.1. Interacción entre condición corporal y dieta

En el Cuadro 1 se muestran las medias ajustadas para los diámetros de adipocitos de cabras evaluadas en el presente estudio. En dicho cuadro se observa que 7 días antes del parto las cabras con CCA tanto en 80% como en 100% de aporte nutricional tuvieron promedios menores en comparación con aquellas con CCB con 80% y 100% antes del parto ($P < 0.0235$); al día 110 las cabras con CCA y una dieta de 80% aumentaron en el promedio del diámetro de sus adipocitos, en contraste con cabras con CCA y una dieta de 100%, donde el diámetro se mantiene constante, mientras que las cabras con CCB y una dieta de 80% al igual que cabras con CCA y una dieta de 100% mantuvieron constante su diámetro promedio, a diferencia con cabras con CCB pero una dieta de 100% donde el diámetro medio de sus adipocitos disminuyó ($P < 0.005$); al día 210 después del parto, el diámetro promedio se incrementó en las cabras con CCA para las dos dietas administradas alcanzando casi los mismos valores promedio, mientras que en las cabras con CCB y una dieta de 80% la media para el diámetro de sus adipocitos se

redujo a niveles menores que en aquéllas con CCA y en las cabras con CCB y dieta al 100% de sus necesidades nutricionales aumentó el promedio del diámetro de sus adipocitos ($P < 0.0001$).

Cuadro 1. Media de mínimos cuadrados para el diámetro de los adipocitos en los diversos grupos de condición corporal y restricción alimentaria

Dieta*CC	Día 7 antes del parto	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
CC Alta Restricción 80%	28.83 μm	38.21 μm	40.10 μm
CC Baja Restricción 80%	83.74 μm	84.55 μm	63.84 μm
CC Alta sin restricción 100%	50.46 μm	49.63 μm	66.60 μm
CC Baja sin restricción 100%	67.73 μm	62.07 μm	70.80 μm
Error estándar	1.47 μm	1.42 μm	1.26 μm
P	0.024	0.005	0.0001

7.2. Dieta

En el Cuadro 2 se muestran las medias de mínimos cuadrados para el diámetro de los adipocitos y la relación que guardan con la dieta; 7 días antes del parto el promedio del diámetro del adipocito, no fue significativamente diferente entre las dos dietas administradas ($P=0.24$), posteriormente a los 110 días después del parto el diámetro de los adipocitos promedio fue significativamente mayor ($P=0.001$). En la última toma de muestras que se realizó el día 210 después del parto, el diámetro promedio de los adipocitos de las cabras cuya dieta cubría el 80% de sus requerimientos disminuyó, siendo significativamente menor al de aquéllas cuya dieta aportaba el 100% de los mismos, donde el diámetro se recuperó e inclusive aumentó con respecto a la primera muestra obtenida ($P<0.005$).

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados para el diámetro de adipocitos en cabras con una dieta con restricción nutrimental de 80% y sin restricción 100%

Dieta	Día 7 antes del parto	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80 %	56.29 μm	61.38 μm	51.97 μm
Sin restricción 100%	59.1 μm	55.85 μm	68.7 μm
Error estándar	1.48 μm	1.42 μm	1.26 μm
P	0.24	0.001	0.005

7.3. Condición corporal

En el Cuadro 3 se observan las medias de mínimos cuadrados para el diámetro de los adipocitos en las cabras clasificadas en dos grupos de condiciones corporales (CC) y sometidas a los dos regímenes alimenticios. Los resultados de la CC en la primera medición indican que el diámetro promedio de los adipocitos antes del parto para las

cabras con condición corporal alta (CCA) fue menor en comparación con aquéllas con condición corporal baja (CCB) ($P < 0.0235$); en la segunda medición al día 110 de lactación el diámetro medio de adipocitos de cabras con CCA permanecieron menores en comparación con el de las cabras con CCB ($P < 0.02$), al día 210 de lactación, el diámetro promedio de los adipocitos de cabras con CCB disminuyó en contraste con los adipocitos de cabras con CCA ($P < 0.001$), donde aumentó, a pesar de ser el diámetro menor durante todas las mediciones.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados para el diámetro de los adipocitos en cabras con condición corporal Alta o Baja

Condición Corporal	Día 7 antes del parto	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta (CCA)	39.65 μm	43.92 μm	53.35 μm
Baja (CCB)	75.74 μm	73.31 μm	67.32 μm
Error estándar	1.47 μm	1.42 μm	1.26 μm
P	0.235	0.02	< 0.001

En el Cuadro 4, se muestran los valores de correlación simple que resultaron significativos entre los componentes de la leche al parto. En dicho cuadro se muestra que existe una correlación simple entre grasa en leche y en los sólidos totales, debido a que mientras más grasa sea producida en la leche mayor será la cantidad de sólidos totales, independientemente del grupo CC y del nivel de restricción; en el grupo de CCB sin restricción alimentaria además de encontrarse correlación entre grasa en leche y sólidos totales, existen dos correlaciones significativas más, proteína en leche y sólidos

totales, producción láctea y lactosa, tanto en el caso de producción láctea y lactosa, como en proteína en leche y sólidos totales, al incrementarse su cantidad en leche también se incrementan otras variables que en el caso de lactosa es la producción láctea y en proteína en leche son los sólidos totales

Cuadro 4. Correlaciones simples entre los componentes de la leche de cabra en el día 7 de lactación

Condición Corporal	Tipo de dieta *	Variables	Correlación	P
Alta	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.7755	0.0237
Alta	100%	Grasa y Sólidos Totales	0.934	0.0007
Baja	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.9527	<.0001
Baja	100%	Grasa y Sólidos Totales	0.9812	
		Proteína y Sólidos Totales	0.7828	0.0216
		Producción Láctea y Lactosa	0.745	0.0339

* Restricción nutricional de 80%, sin restricción nutricional 100%

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los efectos de la dieta, la condición corporal y los componentes de la leche sobre el diámetro de los adipocitos muestran que para el primer momento de medición las cabras con condición corporal alta (CCA) y una restricción alimentaria del 80%, los efectos de la variable sólidos totales ($\beta = -22.70 \pm 5$, $P = 0.0141$), el efecto del porcentaje de grasa ($\beta = 26.78 \pm 5$, $P = 0.0339$), del

porcentaje de proteína ($\beta = 57.70 \pm 5$, $P = 0.0046$), así como el de la producción láctea ($\beta = -0.044 \pm 5$, $P = 0.0277$), fueron significativos.

En el grupo de cabras con condición corporal baja (CCB) y una restricción alimentaria del 80%, el efecto del porcentaje de sólidos totales ($\beta = 48.10 \pm 5$, $P = 0.0179$) y el efecto del porcentaje de grasa ($\beta = -57.40 \pm 5$, $P = 0.0157$), fueron significativos, lo cual demuestra su asociación con el diámetro de los adipocitos, y sugiere que solo en los grupos con restricción alimentaria del 80% fue necesaria la utilización de energía a partir de reservas grasas para poder producir los componentes de la leche.

En este modelo se eliminaron la variable lactosa e interacción entre dieta y condición corporal debido a que no contribuyeron significativamente a la variación en el diámetro de los adipocitos ($P > 0.05$). Tanto a los 110 y 210 días postparto no se observaron efectos significativos.

En el Cuadro 5 se muestran los valores de correlación simple que resultaron significativos entre los componentes de la leche, se observa que existe una relación directa entre grasa y sólidos totales para los cuatro tratamientos evaluados.

En el Cuadro 6 se muestran los valores de correlación simple que resultaron significativos entre los componentes de la leche, en todos los grupos se obtuvo una correlación ($P < 0.001$) entre grasa en leche y sólidos totales, proteína en leche y sólidos totales. Estas correlaciones se observan con mayor intensidad en el grupo de CCB sin restricción alimentaria, donde además de presentar las asociaciones antes mencionadas, también se muestran asociaciones entre grasa en leche y lactosa ($P < 0.0328$), así como en producción láctea y proteína ($P < 0.0411$).

Cuadro 5. Correlaciones simples significativas entre los componentes de la leche de cabra a los 110 días postparto

Condición Corporal	Tipo de dieta *	Variables	Correlación	P
Alta	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.9753	<.0001
Alta	100%	Grasa y Sólidos Totales	0.9835	<.0001
Baja	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.9644	<.0001
Baja	100%	Grasa y Sólidos Totales	0.9465	0.0004

* Restricción nutricional de 80%, sin restricción nutricional 100%

Cuadro 6. Correlaciones simples entre los componentes de la leche de cabra a 210 días postparto

Condición Corporal	Tipo de dieta *	Variables	Correlación	P
Alta	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.9836	<.0001
		Proteína y Sólidos Totales	0.9501	0.0003
		Proteína y Grasa	0.9109	0.0016
Alta	100%	Grasa y Sólidos Totales	0.9504	0.0003
		Proteína y Sólidos Totales	0.7832	0.0215
Baja	80%	Grasa y Sólidos Totales	0.8757	0.0004
		Proteína y Sólidos Totales	0.8434	0.0011
Baja	100%	Sólidos Totales y Lactosa	0.8432	0.0085
		Grasa y Lactosa	0.748	0.0328
		Grasa y Sólidos Totales	0.9798	<.0001
		Producción Láctea y Proteína	0.7198	0.0441

* Restricción nutricional de 80%, sin restricción nutricional 100%

7.4. Adipocitos

En el Cuadro 7 se muestran los valores de correlación simple que resultaron significativos entre los adipocitos y los distintos periodos de estudio, las asociaciones obtenidas se encuentran mayormente ligadas entre adipocitos al día 7 del parto y al día 210 postparto en los grupos de CCA sin restricción y ambos grupos de CCB con y sin restricción alimentaria, mientras que en el grupo con CCA con restricción alimentaria se encontró una correlación significativa entre adipocitos al día 7 del parto y al día 210 postparto.

Cuadro 7. Correlaciones simples significativas entre el diámetro de los adipocitos de cabra a los 7 días parto, 110 y 210 postparto y la condición corporal

Condición Corporal	Tipo de dieta **	Adipocito/ Periodo (P)	Correlación	P
Alta	80%	Adipocito 7 d y 210 d	0.9765	0.0235
Alta	100%	Adipocito 7 d y 110 d	0.9632	0.0001
Baja	80%	Adipocito 7 d y 110 d	0.9417	0.0005
Baja	100%	Adipocito 7 d y 110 d	0.9868	<.0001

** Restricción en 80%, sin restricción en 100%

7.5. Componentes de la leche

7.5.1. Grasa

Para el porcentaje de grasa en leche, no se encontraron diferencias entre grupos con distintas restricciones alimenticias y condiciones corporales ($P>0.05$). En los Cuadros 8

y 9 se muestran las medias de mínimos cuadrados para el porcentaje de grasa en leche en cabras según la condición corporal y la restricción alimentaria

Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados para el porcentaje de grasa en leche en cabras según la condición corporal

Condición Corporal	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta	6.63	5.06	3.72
Baja	6.01	5.09	3.89
Error estándar	0.23	0.23	0.14
P	0.24	0.92	0.58

Cuadro 9. Medias de mínimos cuadrados para el porcentaje de grasa en leche según la restricción alimentaria

Dieta	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80%	6.63	5.06	3.72
Sin restricción 100%	6.01	5.09	3.89
Error estándar	0.23	0.23	0.14
P	0.72	0.79	0.31

7.5.2. Proteína

El grupo con CCB aparentemente produjo más proteína en leche en promedio, en comparación con el grupo CCA, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre ellos ($P > 0.05$). En los Cuadros 10 y 11 se pueden observar las medias de mínimos cuadrados para la producción de proteína en leche en cabras según la condición corporal y la restricción alimentaria

Cuadro 10. Medias de mínimos cuadrados para la producción de proteína en leche en cabras según la condición corporal

Condición Corporal	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta	3.56	3.34	3.75
Baja	3.42	3.59	3.75
Error estándar	0.08	0.14	0.06
P	0.26	0.49	0.69

Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados para el porcentaje de proteína en leche en cabras según la restricción alimentaria

Dieta	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80%	3.48	3.30	3.78
Sin restricción 100%	3.50	3.63	3.72
Error estándar	0.08	0.14	0.06
P	0.45	0.15	0.21

7.5.3 Lactosa

Los grupos sin restricción presentan una producción promedio ligeramente más elevada a la de los grupos con restricción a lo largo de toda la lactancia ($P < 0.05$), grupos con CCA muestran una mayor producción de lactosa a lo largo del estudio, en comparación con grupos con CCB donde la producción de lactosa fue menor. En los Cuadros 12 y 13

se observan las medias de mínimos cuadrados para la producción de lactosa en leche en cabras según la restricción alimentaria y la condición corporal

Cuadro 12. Medias de mínimos cuadrados para la producción de lactosa en cabras según la restricción alimentaria

Dieta	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80%	4.60	4.59	4.75
Sin restricción 100%	4.77	4.65	4.85
Error estándar	0.06	0.03	0.03
P	0.43	0.02	0.43

Cuadro 13. Medias de mínimos cuadrados para la producción de lactosa en leche en cabras según la condición corporal

Condición Corporal	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta	4.70	4.61	4.83
Baja	4.67	4.63	4.77
Error estándar	0.06	0.03	0.03
P	0.82	0.48	0.24

7.5.4. Sólidos totales

No se encontraron diferencias significativas entre grupos ($P > 0.05$), los resultados obtenidos tanto por restricción alimentaria como por condición corporal, fueron muy semejantes permaneciendo similares durante todo el estudio. En los Cuadros 14 y 15 se

exponen las medias de mínimos cuadrados para la producción de sólidos totales en leche de cabras según la restricción alimentaria y la condición corporal

Cuadro 14. Medias de mínimos cuadrados para la producción de sólidos totales en leche en cabras según la restricción alimentaria

Dieta	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80%	15.27	13.65	12.24
Sin restricción 100%	14.95	13.76	12.47
Error estándar	0.30	0.25	0.19
P	0.49	0.38	0.18

Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados para la producción de sólidos totales en leche según la condición corporal

Condición Corporal	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta	15.43	13.64	12.53
Baja	14.79	13.77	12.18
Error estándar	0.30	0.25	0.19
P	0.61	0.74	0.56

7.5.5. Producción láctea

En el presente trabajo no se observaron diferencias por efecto de las densidades energéticas suministradas, ni de la condición corporal de las hembras sobre la producción láctea estimada ($P > 0.05$). En los Cuadros 16 y 17 pueden observarse las medias de mínimos cuadrados para la producción láctea de cabras según la restricción alimentaria y la condición corporal

Cuadro 16. Medias de mínimos cuadrados para la producción láctea según la restricción alimentaria

Dieta	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Restricción 80%	3033.89	2028.04	1865.17
Sin restricción 100%	3113.06	2038.00	1873.19
Error estándar	80.47	78.54	75.39
P	0.93	0.90	0.17

Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados para la producción láctea según la condición corporal

Condición Corporal	Día 7 de lactación	Día 110 de lactación	Día 210 de lactación
Alta	3092.70	2015.15	1912.57
Baja	3054.25	2050.89	1825.79
Error estándar	80.47	78.54	75.39
P	0.84	0.99	0.21

8. Discusión

La pérdida de reservas energéticas al comienzo de la lactación es muy variable, ya que el estado nutricional del animal depende de la producción de leche o del número de crías que se encuentre amantando, en donde la pérdida de lípidos del cuerpo es generalmente más alta que en animales que se encuentran sometidos a un ordeño mecánico (33), así como del apetito de los animales y el nivel de suministro de

alimentos. Una pérdida de 30-40% de reservas energéticas iniciales (3-6 kg en ovejas y cabras, y 20-50 kg en las vacas lecheras) en las primeras 6 semanas de lactación es muy común, y puede ser hasta del 80% de la grasa corporal en animales con condición corporal baja (CCB), (1).

Los resultados obtenidos en este trabajo con relación a la condición corporal, nos indican, que a pesar de que los adipocitos presentaron un diámetro mayor en cabras con condición corporal baja (CCB) antes del parto, su diámetro promedio disminuye comparado con los adipocitos de las cabras de condición corporal alta (CCA), lo que sugiere que los procesos de almacenamiento y de movilización de las reservas grasas para la obtención de energía en ganado caprino, están relacionados con la variación del diámetro de sus adipocitos (51). En cuanto a la relación que guarda la dieta con el diámetro de los adipocitos, la lipólisis en las células grasas se encuentra positivamente relacionada con la secreción de energía en leche, pero negativamente con la obtención de energía, por lo que una dieta insuficiente en nutrientes da como resultado que el diámetro de los adipocitos se disminuya (29), por parte de la relación que existe entre la restricción alimentaria y el diámetro de los adipocitos, ésta tiene poco efecto sobre este último y la producción láctea (41).

La movilización de las grasas durante las primeras etapas de la lactancia y hasta el pico de lactación, depende claramente de la CC inicial (38), por lo cual en cabras con CC baja, con y sin restricción alimentaria, el diámetro de sus adipocitos se mantuvo constante hasta el pico de lactación, en donde comenzó a disminuir hasta el final de la misma. Las cabras de CC alta después del pico de producción láctea recuperaron, la CC y el diámetro en sus adipocitos, como ha sido reportado por Gajdusek, *et al*, 1993, quien menciona que la cantidad de grasa corporal es mayor en los primeros días de la lactación, teniendo un declive hasta el día 110, a partir del cual el diámetro comienza a

incrementarse, aumentando así su CC, disminuyendo la producción láctea, principalmente la lactosa, pero aumentando los componentes de la leche, razón por la cual se observó una asociación significativa entre los componentes de la leche y la CC en ambos grupos de CC, independientemente del nivel de restricción alimentaria.

Dentro de las razones por las cuales no se observan diferencias en producción de leche y sus componentes, se puede considerar en gran medida a la capacidad de las cabras a adaptarse a una restricción alimentaria prolongada haciendo uso de combustibles metabólicos de diferentes tejidos, principalmente tejido adiposo, músculo esquelético, lo que contribuye a la adaptación de los caprinos a una reducción en el aporte de nutrientes (38), por lo que podría sugerirse que cuando los animales tienen una reserva grasa corporal adecuada, los cúmulos de adipocitos iniciales tienen una influencia limitada en la movilización de la grasa (38). Por lo tanto, en contraste con las cabras secas (38), las cabras en lactación son capaces de movilizar una gran cantidad de lípidos del cuerpo sin problemas de salud (38), produciendo una cantidad adecuada de leche y sus componentes. Esta diferencia entre los animales lactantes de los no lactantes, se debe a una intensa movilización de lípidos del cuerpo, y la capacidad de la glándula mamaria de drenar los ácidos grasos no esterificados (1).

Durante la lactancia, el metabolismo de la cabra como el de su glándula mamaria se encuentran incrementados, requiriendo grandes cantidades de energía y nutrientes (3), y en dicho entorno la glándula transforma los nutrientes recibidos de la sangre en sus nutrientes específicos de secreción láctea como proteína, grasas, lactosa, vitaminas y minerales entre otros (16).

La glucosa sanguínea es el principal precursor de la lactosa en la leche (7), por lo cual los resultados obtenidos revelan que no hay relación entre el diámetro de los adipocitos con la producción de lactosa, (40), ya que dicho componente de la leche no se modificó

sustancialmente durante todo el estudio, además de que su concentración en la secreción láctea tiende a ser independiente de la dieta (50).

La grasa secretada en leche proviene de triglicéridos sanguíneos y en parte se sintetizan a partir también de la glucosa, produciéndose en la glándula mamaria la hidrólisis de los triglicéridos de la sangre y la transferencia de ácidos grasos de una molécula de triglicérido a otro (51) por lo cual durante periodos de balance energético negativo, sobre todo durante el pico de lactación, aumenta la movilización grasa y por esa razón en cabras tanto con condición corporal baja (CCB) como con alta (CCA) hay una disminución del diámetro de sus adipocitos en dicho periodo (52), la grasa se encuentra en altas concentraciones al inicio de la lactación, pero disminuye a lo largo de la misma (50), como se observó tanto en los grupos de CCB y CCA.

La caseína y la β lactoglobulina constituyen aproximadamente el 90% de las proteínas presentes en la leche (51), y son producidas exclusivamente por la glándula mamaria., Menciona Tasdemir (2011) (49) que un incremento en la movilización grasa para la obtención de energía, aumenta la producción láctea, sin embargo disminuye el porcentaje de proteína, pero no la producción de leche debido al incremento del consumo de energía o a la mejor eficiencia en la utilización de nuevas vías de energía, como la movilización de grasa (48); lo anterior explica por qué el grupo de CCB presentó una mayor producción de proteína y una menor pérdida del diámetro de sus adipocitos y por lo tanto de grasa, a diferencia del grupo de CCA que tuvo una producción constante (44), ya que la máxima concentración de proteínas se encuentra al inicio de la lactación, principalmente por el calostro, pero al igual que la grasa disminuyen durante el pico lactacional para incrementarse al final de la lactación (50).

9. Conclusiones

La producción láctea y sus componentes de grasa, proteína y sólidos totales disminuyeron conforme avanzó la lactancia, lo que indica que las cabras a pesar de la restricción alimentaria, son capaces de mantener una adecuada lactación y cantidad de componentes en leche, razón por la cual la hipótesis no se cumplió, al tampoco apreciarse cambios en animales con restricción alimentaria.

En el preparto las cabras con condición corporal alta (CCA) y un aporte adecuado de la dieta pueden tener adipocitos de menor tamaño y éstos incrementan su tamaño durante la lactancia asociado a procesos de almacenamiento y de movilización de las reservas.

Los adipocitos de las cabras con condición corporal baja (CCB) tienen un diámetro mayor que las cabras con condición corporal alta (CCA) antes del parto y disminuye al final de la lactación cuando los componentes de la leche también tienden a disminuir.

El tamaño de los adipocitos en las cabras empleadas en este experimento no mostró una relación con la lactosa láctea; pero sí con los porcentajes de proteína, grasa y sólidos totales de la leche durante la primera medición que se realizó.

La evaluación del diámetro de los adipocitos de la grasa caudal de cabras lecheras es una prueba alternativa de estimación de la actividad metabólica (pérdidas energéticas, eficiencia de la utilización de la energía metabolizable, etc.), así como de su relación con el estado corporal y el aporte energético al momento del parto, durante el pico de lactación y al final de la misma.

Se sugieren estudios complementarios a futuro para seguir evaluando a cabras en lactación, someterlas a mayores restricciones alimentarias para poder observar un mayor efecto sobre el diámetro de sus adipocitos, puesto que en este trabajo el impacto fue mínimo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1.** Chilliard, Y., Robelin, J and Redmon B. 1984. In vivo estimation of body lipid mobilization and reconstitution in dairy cattle. *Canadian J. Anim. Sci.* 64: 236-242.
- 2.** Rojas, A, Rojas, R. 2009. Características de la raza Bóer. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile
- 3.** Agraz, A. 1984. *Caprinotecnia*. Ed. Limusa. México. Vol. 1.
- 4.** Blanchard N. 2001. Avances de la explotación caprina en Venezuela y pertinencia de su desarrollo. Facultad de agronomía, Maracay. Venezuela. 25-34
- 5.** Lopez–Villalobos, N., R. V. Lemus, C. W. Holmes, and D. J. Garrick. 2001. Lactation curves for milk traits, live weight and body condition score for heavy and light Holstein–Friesian cows. *Proc. N. Zealand Soc. Anim. Prodi.* 61: 217–220.
- 6.** Arbiza. A. 1986. *Producción de caprinos*. Primera Edición AGT Editores, México
- 7.** Silvia Reyes González. Adipocito, adipogénesis, tejido adiposo como órgano de secreción interna. Departamento de especialidades en endocrinología y nutrición
- 8.** M. J. Moreno, J. A. Martínez. 2001. El tejido adiposo: órgano de almacenamiento y órgano secretor. Departamento de fisiología y nutrición, Universidad Navarra
- 9.** Russel, A.J., Donney, J.M., and Gunn, R.G. 1969. Subjetive assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 72: 451-454.
- 10.** Isidro Guajardo Hernández. 2011. Evaluación de la condición corporal en pequeños rumiantes. Servicio de extensión rural.

11. Gibon. A. 1987. Méthodes d estimation de letat corporel chez la breis. Symposium. Santorem. Portugal.
12. Waltner, S.S., McNamara, J.P., Hillers, J.K., and Brown, D.L. 1994. Validation of indirect measures of body fat in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2570-2579.
13. Geneser. 2007. Adipose tissue morphology. Alihaud G Editors. Progress in Obesity Research. London
14. Banks W. 1996. Histología Veterinaria Aplicada. El manual moderno. Mexico. Segunda Edición.
15. Frandson. R. 1995. Anatomía y fisiología de los animales domésticos. 5 edición, 560 pp.
16. Bedolla. D. 2010. Métodos de detección de la mastitis bovina. Facultad de medicina veterinaria de San Nicolás de Hidalgo
17. Hauner. H. 1996. Development of white tissue. James Editors. Handbook of obesity. New York.
18. Ruckebusch. Y. 1994. Fisiología de pequeñas y grandes especies. 1ª ed. Ed. El manual moderno. México. PP. 862
19. Cunningham. J. 2000. Fisiología Veterinaria. 3ª edición. Editorial McGraw Hill Interamericana. México. 2000
20. Delfa, R., González, C., Teixeira, A., Gosalvez, L.F. y Tor, M. 1995. Relationship between fat depots, carcass composition, live weight and body condition scores in Blanca Celtibérica goats. *Options Méditerranées. Serie A: Seminaires Mediterraneus. Etat corporel des brevis et des chevres*, 27: 10-17.
21. Santucci, P., and Maestrini, O. 1985. Body composition of dairy goats in extensive systems of production: method of estimation. *Annales Zoothecchnic.* 34 (abst.): 473-474.

22. Smith, T.R., and McNamara, J.P., 1990. Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation. 6. Cellularity and hormone-sensitive lipase activity as affected by genetic merit and energy intake. *J. Dairy Sci.* 73: 772-783.
23. García, M.E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climatológica de Köppen. Offset Larios S.A. (editor), México.
24. Hood, R.L. 1982. Relationship among growth, adipose cell size and lipid metabolism in ruminant adipose tissue. *Fed. Proc.* 41: 2555.
25. INRA, 1981. Prévission de la valeur nutritive des aliments des ruminants. INRA Paris.
26. Jefferies, B.C. 1961. Body condition scoring and its use in management. *Tams. J. Agric.* 32, 19-21.
27. Matheus, N y Figueredo, A. peso Corporal: Su relación con la concentración sérica de proteínas, lípidos y glucosa en cabras mestizas y criollas. 2004;1:8 UKL.
28. McNamara, J.P. and Hillers, J.K. 1986a. Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation 1. Lipid synthesis in response to increased a milk production and decreased energy intake. *J. dairy Sci.* 69: 3032-3041.
29. McNamara, J.P., and Hillers, J.K., 1986b. Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation 2. Lipolysis response to milk production and energy intake. *J. Dairy Sci.* 69: 3042-3050.
30. McNamara, J.P., 1991. Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74: 706-719.
31. McNamara, J.P., Harrison, J.H., Kincaid, R.L. and Waltner, S.S. 1995. Lipid metabolism in adipose tissue of cows fed high fat during lactation. *J. dairy Sci.* 78(12): 2782-2796.

32. National Research Council. 2004. Nutrient requeriment of goats: Angora, Dairy and Meat goats in temperate and tropical countries. National Academic Press. Washington.
33. Boquier. F. 2000. Effect of body composition on the duration of the postpartum an ovulatory period in milked ewes submitted to two photoperiods. *Reprod. Nutr. Dev.* 395-403
34. Robelín, J., et Agabriel, J. 1986. Estimation de l'état d'engraissement des bovins á partir de la taille des cellules adipeuses. *Bull. Tech. CRZV. Theix INRA.* 66: 37-41.
35. SAS Institute Inc, 2007. SAS Institute.
36. Susmel, P., and Canavese, B., Prediction of body fat in lactating ewes using the diameter of subcutaneous adipocyte cells or body condition score. *Serie A: Options Méditerranée.*
37. Susmel, P., and Canavese, B., Prediction of body fat in lactating ewes using the diameter of subcutaneous adipocyte cells or body condition score. *Serie A: Options Méditerranée*
38. Cowan. R.T. 1982. A note of the effect of body fatness and level of food intake on the rate of fat loss in lactating ewes. *Anim Prod.* 355-357
39. V. Jimeno, P.G. Rebollar y T. Castro, 2003 *Nutrición y alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX Curso de especialización FEDNA*
40. D. Zygoiannis, 1987. The milk yield and milk composition of the Greek indigenous goat (*Capra prisca*) as influenced by duration of suckling period. Department of animal husbandry, faculty of veterinary medicine, University of Thessaloniki, Greece

41. R. Attale, R. L. Richtert. Size distribution of fat globules in goat milk. Cooperative agricultural research center, 77843
42. A. L. Goetsch, G. Detweiler, T. Sahlu, R. Puchala, L. J. Dawson. 2001. Dairy goat performance with different dietary concentrate levels in late lactation, Small ruminant research, 41 117-125
43. H. Ilahi, P. Chastin, F. Bouvier, J. Arhainx, E. Ricard, E. Manfredi, 1999. Milking characteristics of dairy goats, Small ruminant research, 34 97-102
44. Mainak Das, Mahendra Singh. 1999. Variation in blood leucocytes, somatic cell count, yield and composition of milk of crossbred goats. Small ruminant research, 35 169-174
45. Beatriz Rosas Gutiérrez. 2005. Relación entre la producción de leche, su composición química y rendimiento en la elaboración de queso, en cabras lecheras. Posgrado interinstitucional en ciencias pecuarias
46. Lucas Galván Dimas. 2010. Impacto de la mastitis caprina en el conteo de células somáticas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
47. M. J. Moreno, J. A. Martínez. 2001. El tejido adiposo: órgano de almacenamiento y órgano secretor. Departamento de fisiología y nutrición, Universidad Navarra
48. M. Görgülü. 2011. Lipid metabolism in ruminants. University of Harran, Urfa Turkey
49. A. R. Tasdemir. 2011. Influencia de la grasa dietética, L-carnitina y niacina en la producción y composición de la leche de vacas lecheras en lactación media. University of Nigde, Turkey

- 50.** Héctor Manterola. 2003. Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en la leche, una necesidad de corto plazo. Universidad de Chile
- 51.** Chacón V. A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra y sus variaciones en el proceso agroindustrial. Agronomía Mesoamericana
- 52.** J. A. Mendizábal, R. Eguinoa, P. Arana. 2004. Acumulación/Movilización de reservas grasas, especie caprina versus especie ovina. Universidad pública de Navarra. 176. 50080, Zaragoza
- 53.** J. A. Mendizábal, R. Eguinoa, P. Arana. 2004. Variación de la actividad lipogénica en cabras de raza blanca celtibérica según su estado corporal. Universidad pública de Navarra. 176. 50080, Zaragoza