



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

**PRODUCCIÓN, CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y PERFIL DE ÁCIDOS
GRASOS DE LA LECHE DE CABRAS CRIOLLAS ALIMENTADAS CON
Pithecellobium dulce VS CONCENTRADO**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA:
LORENZANA MORENO ANGÉLICA VALERIA**

**TUTOR PRINCIPAL
REY GUTIÉRREZ TOLENTINO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**COMITÉ TUTOR
LUIS CORONA GOCHI
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
RUBÉN DARÍO MARTÍNEZ ROJERO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

MÉXICO, D.F. ENERO 2015



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.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la utilización de *Pithecellobium dulce* en la alimentación de cabras en lactación y su efecto en la producción y composición de la leche, incluido el perfil de ácidos grasos. Se utilizaron 10 cabras criollas de tercer y cuarto parto, distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos (T) durante el último tercio de la gestación y toda la lactancia. El T1 se alimentó con 650 g de concentrado, 50 g de premezcla mineral y 4 kg de ensilado de maíz por cabra al día; el T2 se alimentó con 2 horas diarias de pastoreo en banco de proteína de *P. dulce*, además de 1 kg de hojas de *P. dulce* fresco, 50 g de premezcla mineral y 4 kg de ensilado por cabra al día. Se obtuvo el registro (kg) de producción de leche diaria, se determinaron las características físicas (acidez y densidad) y las características químicas de la leche (% de proteína, grasa, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos) por espectrofotometría infrarroja. Se determinó quincenalmente el perfil de ácidos grasos de la grasa de la leche por cromatografía de gases con detector de ionización de flama, además el perfil de isómeros de ácido linoleico conjugado (ALC) en la grasa utilizando cromatografía líquida de alta resolución. Los resultados se analizaron mediante un modelo de medidas repetidas en el tiempo. La producción y características físico-químicas de la leche fueron similares ($P > 0.05$). Se observó interacción tiempo-tratamiento ($P < 0.05$) para sólidos totales y acidez así como para la mayoría de los ácidos grasos (excepto C18:0, C18:1n9t y C18:2) y no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) por efecto de la dieta. El isómero de ALC con mayor concentración fue C18:2 *cis*9-*trans*11, representando 89-90% del total del ALC, pero fue similar ($P > 0.05$) en ambos tratamientos. En cambio, ALC *t*10-*c*12, fue mayor ($P < 0.05$) en la leche de cabras del T2, representando mayor calidad en la leche de este último grupo. Se concluye que en la alimentación de cabras lecheras el *P. dulce* permite obtener una producción láctea, características físico-químicas y perfil de ácidos grasos similar a una dieta con concentrado.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the use of *Pithecellobium dulce* in the diet of lactating goats and their effect on production and milk composition including the fatty acid profile. 10 native goats third and fourth calving were used, randomly distributed in two treatments (T) during the last third of gestation and entire lactation. T1 was fed with 650 g of concentrate, 50 g of mineral premix and 4 kg of corn silage per goat per day; T2 was fed with 2 hours of daily grazing in *P. dulce* protein bank, plus 1 kg of *P. dulce* fresh leaves, 50 g of mineral premix and 4 kg of corn silage per goat per day. Registration (kg) daily milk production was obtained, the physical characteristics (acidity and density) and chemical characteristics of milk (% protein, fat, lactose, total solids and solids not fat) were determined by infrared spectrophotometry. The fatty acid profile of milk fat by gas chromatography with flame ionization detector, also the profile of isomers of conjugated linoleic acid (CLA) in fat using high resolution liquid chromatography were fortnightly determined. The results were analyzed using a repeated measures in time model. The production and physicochemical characteristics of milk were similar ($P>0.05$). Time-treatment interaction was observed ($P<0.05$) for total solids and acidity as well as most fatty acids (except for C18:0, C18:1 $n9t$ and C18:2) and no differences were found ($P>0.05$) by effect of diet. The CLA isomer with the highest concentration was C18:2 $c9-t11$, representing 89-90% of the CLA, but was similar ($P>0.05$) in both treatments. Instead, CLA $t10-c12$, was higher ($P<0.05$) in the milk of T2 goats, representing better quality of milk from the latter group. As a conclusion, feeding dairy goats with *P. dulce* allows a dairy production, physicochemical characteristics and fatty acid profile similar to a diet with concentrate.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
Índice de cuadros	VI
Índice de figuras	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Situación actual de la producción caprina	4
2.1.1 Inventario mundial de ganado caprino	4
2.1.2 Producción mundial de leche de cabra	5
2.1.3 Inventario nacional de ganado caprino	7
2.1.4 Producción nacional de leche de cabra	9
2.2 Morfología y fisiología de la glándula mamaria de la cabra	11
2.2.1 Morfología	11
2.2.2 Fisiología	13
2.3 La leche	14
2.3.1 Síntesis de los componentes de la leche de cabra	15
2.3.1.1 El origen de los lípidos en la leche	16
2.3.2 Leche de cabra	18
2.3.2.1 Composición y aspectos benéficos de la leche de cabra	18
2.3.2.1.1 Composición y características de la proteína	19
2.3.2.1.2 Composición y características de la grasa	20
2.3.2.1.3 Composición y características de la lactosa	23
2.3.2.1.4 Composición mineral y vitamínica de la leche de cabra	23
2.3.2.2 Propiedades físicas de la leche de cabra	25
2.4 Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra	26
2.4.1 Raza	26
2.4.2 Edad y número de parto	27

2.4.3	Tipo de parto	27
2.4.5	Estado de lactancia	28
2.4.6	Salud de la ubre	28
2.4.7	Nutrición y alimentación	28
2.5	Silvopastoreo	31
2.5.1	Ventajas de los sistemas silvopastoriles	32
2.5.2	Desventajas de los sistemas silvopastoriles	35
2.6	<i>Pithecellobium dulce</i>	35
3	OBJETIVOS	38
3.1	Objetivo general	38
3.1.1	Objetivos específicos	38
4	HIPÓTESIS	39
5	MATERIAL Y MÉTODOS	40
5.1	Características del sitio de estudio	40
5.2	Descripción de los tratamientos	40
5.2.1	Manejo de potreros	41
5.3	Variables de respuesta	42
5.3.1	Producción de leche	42
5.3.2	Características físicas de la leche	42
5.3.3	Características químicas de la leche	43
5.3.4	Perfil de ácidos grasos	44
5.3.4.1	Extracción de grasa	44
5.3.4.2	Derivatización de ácidos grasos	45
5.3.4.3	Condiciones cromatográficas	45
5.3.4.4	Detección y cuantificación de Ácido Linoleico Conjugado (ALC)	46
5.3.5	Estimación del consumo de materia seca	46
5.3.6	Composición química nutrimental del forraje	47
5.3.7	Análisis estadístico	48
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
6.1	Composición química nutrimental del forraje	50
6.2	Producción y características físico – químicas de la leche	58

6.3	Perfil de ácidos grasos de la leche	63
6.3.1	Perfil de isómeros de ALC de la leche	72
7	CONCLUSIONES	75
8	LITERATURA CITADA	76

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Principales países productores de leche entera de cabra en América	7
Cuadro 2. Distribución de la población nacional de cabras (Principales estados productores)	9
Cuadro 3. Producción nacional por estados de leche de cabra	10
Cuadro 4. Composición de leche de diferentes especies, g/100g	15
Cuadro 5. Composición mineral de la leche de cabra (ppm)	24
Cuadro 6. Diferencias en la producción y la composición de la leche de diferentes razas de cabras lecheras	26
Cuadro 7. Producción de materia seca y proteína cruda de Poró (<i>Erythrina spp.</i>) y pasto King-grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) sembrados en asociación y del pasto en monocultivo	33
Cuadro 8. Composición bromatológica de los ingredientes utilizados en el experimento	52
Cuadro 9. Fracciones de la proteína (g/100g MS) de los ingredientes utilizados en el experimento	55
Cuadro 10. Perfil de ácidos grasos (g/100g de AG) en los ingredientes utilizados en el experimento	56

Cuadro 11.	Consumo y evaluación de las dietas utilizadas en el experimento	57
Cuadro 12.	Producción y características físico-químicas de la leche de cabra	60
Cuadro 13.	Niveles de ácidos grasos en grasa láctea de cabra, oveja y vaca (g/100g de AG presentes en la grasa láctea)	64
Cuadro 14.	Efectos medios del <i>Pithecellobium dulce</i> en la dieta del animal sobre el contenido (g/100 g de AG) de grupos de ácidos grasos en la leche de cabra	65
Cuadro 15.	Efectos medios del <i>Pithecellobium dulce</i> en la dieta del animal sobre el contenido (g/100 g de AG) de ácidos grasos en la leche de cabra	68
Cuadro 16.	Composición de isómeros de Ácido Linoleico Conjugado (ALC) (% de isómero del total de ALC) de la leche de cabra	16

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Cabezas de ganado caprino en el mundo 1993 – 2013.	5
Figura 2. Producción de leche de cabra en el mundo 1992 – 2012.	6
Figura 3. Población caprina en México 2004 – 2013.	8
Figura 4. Producción de leche de cabra en México 2002 – 2012.	9
Figura 5. Corte transversal de la glándula mamaria en cabras.	12
Figura 6. <i>Pithecellobium dulce</i> .	35
Figura 7. Producción de leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y <i>Pithecellobium dulce</i> (T2) como fuente de proteína.	58
Figura 8. Contenido de Proteína, Grasa, Sólidos totales (ST) ($P < 0.05$ por efecto del tiempo) y Sólidos no grasoso (SNG) ($P > 0.05$ por efecto del tiempo), en leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y <i>Pithecellobium dulce</i> (T2) como fuente de proteína.	61
Figura 9. Cromatograma del perfil de ácidos grasos en leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y <i>Pithecellobium dulce</i> (T2) como fuente de proteína.	63

Figura 10. Contenido de Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ($P < 0.05$ por efecto del tiempo) y Ácidos grasos saturados (AGS) ($P > 0.05$ por efecto del tiempo) g/100g de grasa de la leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y *Pithecellobium dulce* (T2) como fuente de proteína.

67

1. INTRODUCCIÓN

En México la alimentación de los rumiantes en regiones tropicales se basa en el uso de los recursos forrajeros, que se caracterizan por marcadas fluctuaciones estacionales en cantidad y calidad por la madurez de los forrajes y la disponibilidad de agua. El bajo valor nutritivo de las gramíneas nativas del trópico, generalmente requiere la suplementación convencional con concentrados proteínicos, sin embargo, el uso de alimentos balanceados elaborados con granos y pastas de oleaginosas, fuente de nutrientes convencionales en la alimentación animal, es comúnmente incosteable e ineficiente. Además, hay un incremento del uso de los cereales en la producción de biodiesel, dando como resultado un importante incremento de sus precios (Molina *et al.*, 2010; Verdoljak y Zórate, 2008; Benavides, 1998). Por lo tanto, es importante desarrollar estrategias de alimentación basadas en un bajo costo y que sean efectivas para la alimentación animal utilizando insumos locales que puedan garantizar la sustentabilidad de los sistemas de producción animal y mejore los ingresos de los productores (Molina *et al.*, 2010).

Los sistemas agroforestales ofrecen una alternativa sostenible para aumentar los niveles de producción animal, con reducida dependencia de insumos externos. Una propuesta que aún no ha sido completamente evaluada es la utilización de leguminosas arbustivas, por la diversidad de funciones que pueden desempeñar dentro de los sistemas productivos del trópico. Entre ellas destaca su papel fundamental en la alimentación de rumiantes, debido a que presentan un alto contenido proteínico, aumentan la calidad y productividad de las pasturas, disminuyen la dependencia externa de nitrógeno mediante la fijación biológica y juegan un papel importante en la conservación de los ecosistemas agrícolas (Verdoljak y Zórate, 2008; Palma, 2005). Además, éstas lignifican principalmente en los tallos y no tanto en las hojas, como ocurre en la mayoría de las gramíneas

tropicales, por lo que presentan mayor estabilidad en la calidad nutrimental del follaje a través del tiempo (Torres, 2008; Ríos *et al.*, 2005).

En la alimentación del caprino, como en otras especies, se requiere de la evaluación de fuentes alternas de nutrimentos que sean producidos en forma sostenible. Es importante considerar a la cabra como una especie productiva que no puede reemplazarse por otra, dada su habilidad de utilizar recursos alimenticios lignocelulósicos bajo condiciones climáticas difíciles (Sanchez *et al.*, 2006; Gall, 1981). En lo que se refiere al comportamiento alimentario, se sabe que los caprinos tienen preferencia por el material arbustivo o arbóreo, lo que justifica la utilización de leguminosas arbóreas mantenidas en forma arbustiva como fuente proteica de su dieta (Cardozo, 2013). Diferentes leguminosas arbustivas y arbóreas han sido identificadas por su uso en la alimentación de ovejas y cabras en sistemas silvopastoriles tropicales en México, en este aspecto, el *P. dulce* se presenta con un excelente potencial forrajero, presentando una amplia distribución en el territorio nacional y alrededor de 19.6% de Proteína Bruta (PB) en las hojas, con una degradabilidad en el rumen a las 24 h de 60% de la MS, lo que significa una excelente calidad nutritiva (Avilés *et al.*, 2013; Nouel *et al.*, 2012).

La leche de pequeños rumiantes es de particular interés económico en diversas regiones del mundo (Sanz *et al.*, 2003). El interés nutricional de la leche de cabra ha sido reconocido por muchos años, su importancia en la nutrición humana depende principalmente de la calidad de la grasa láctea, debido a su alto contenido de ácidos grasos C6 a C10, la carencia de aglutinina y al alto porcentaje de ácidos grasos polinsaturados, en especial los omega 3 (ω -3) y el isómero cis - 9, trans-11 ácido linoleico conjugado (ALC) los cuales han sido asociados con efectos benéficos sobre la salud humana (Schettino *et al.*, 2011; Savoini *et al.*, 2010). En los países subdesarrollados, la producción de esta clase de leche ha llegado a constituir una estrategia útil para hacer desaparecer la desnutrición, sobre todo en la población infantil (Haenlein, 2004).

Hay muchos factores asociados con las variaciones en la producción y composición de la leche de cabra, éstos pueden ser de origen animal, es decir, relacionados con la genética, etapa de lactancia, mastitis y fermentación ruminal, o pueden ser relacionados con la alimentación (relación forraje/concentrado, calidad del forraje) y/o suplementación con diferentes fuentes de lípidos (Cannas y Pulina, 2005). La modificación de la producción y la composición de la leche, así como del perfil de ácidos grasos por vías nutricionales presenta las ventajas que, por un lado los cambios aparecen en un corto periodo de tiempo y, por otro, que cualquier cambio ocasionado es fácilmente reversible (Gómez, 2010; Bach *et al.*, 2000).

El forraje verde en la ración puede modificar características específicas de la grasa de la leche, por ejemplo, incrementa el contenido de ALC, debido a la gran cantidad de éste presente en el forraje. Sin embargo, el grado de incremento de ALC en la grasa de leche de animales en pastoreo varía de acuerdo a la especie de rumiante y la calidad del forraje. También se ha documentado que el contenido de ácidos grasos saturados es menor en el verano, cuando los animales están pastando, y más alto en el invierno debido a la alimentación en confinamiento. El contenido de los ácidos grasos insaturados muestra el patrón opuesto con la cantidad más alta en el verano (Cannas y Pulina, 2005).

Debido a la importancia de la dieta sobre la producción y composición de la leche y la necesidad de buscar opciones alimentarias para caprinos, este trabajo tuvo como objetivo utilizar *P. dulce* en la alimentación de cabras en lactación y evaluar su efecto en la producción, características físicas y químicas de la leche, contenido, perfil de ácidos grasos e isómeros del ácido linoleico conjugado de la grasa de la leche comparando la respuesta con otro grupo alimentado con concentrado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual de la producción caprina

La cabra probablemente fue de los primeros rumiantes en ser domesticados y se considera que fue hace más de 10,000 años. Desde entonces y hasta nuestros días, se ha considerado una de las especies domésticas más importantes para la especie humana como fuente de alimento (carne y leche), para su vestir; pelo y pieles, así como productora de abono orgánico de alta calidad (Trejo, 2011; Aréchiga *et al.*, 2008).

La especie caprina se ha extendido por todo el mundo, gracias a su capacidad de adaptación a diferentes climas, condiciones ecológicas y de manejo, colocándose como parte importante de la vida económica de diversos países. En muchas regiones del mundo la producción de cabras se desarrolla dentro de condiciones de producción familiar, vinculándose principalmente a la mujer y los hijos, quienes proporcionan la mano de obra o fuerza de trabajo, abarcando limitadas extensiones de terreno y generalmente en combinación con la agricultura, jugando un papel importante en la producción de alimentos (Hatziminaoglou y Boyazoglu, 2004, Dubeuf *et al.*, 2004).

2.1.1 Inventario mundial de ganado caprino

De acuerdo con la FAO, el inventario mundial de ganado caprino ha mostrado un crecimiento sostenido a través de las últimas dos décadas (Figura 1). La población estimada en 2013 fue de 1,005.6 millones de cabezas en todo el mundo. El 59.4 % de este inventario se encuentra en Asia, el 35 % en África, el 3.6 % en América y el 1.6 % en Europa. Los países con el mayor inventario caprino son China, India, Pakistán y Nigeria (FAO, 2014).

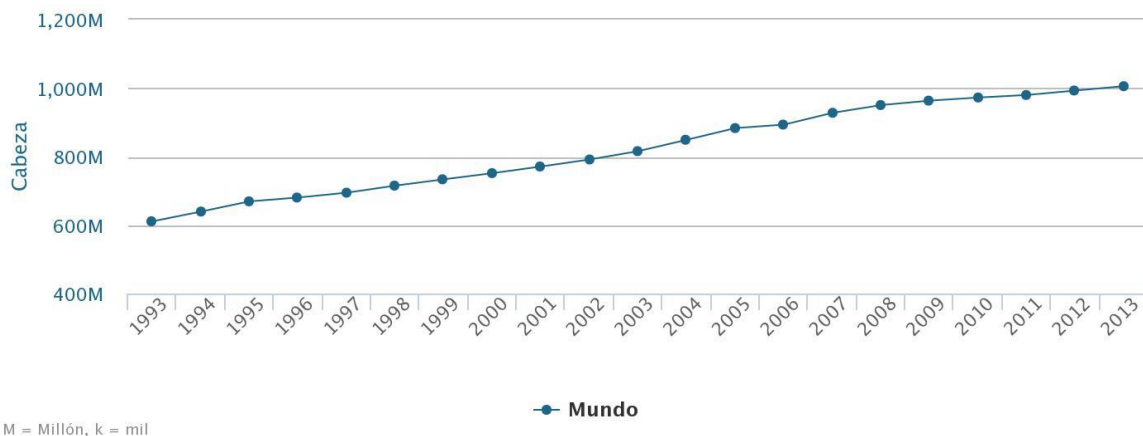


Figura 1. Cabezas de ganado caprino en el mundo 1993 - 2013 (FAO, 2014).

Más del 94% de la población mundial de cabras se encuentran en los países en vías de desarrollo y en ellos las cabras producen más leche que las ovejas, a pesar de que la población de ovinos en estos países es mayor en un 25%. La mayor parte de la producción la consume el propio criador, por lo que las cabras juegan un papel de subsistencia mucho mayor que la especie bovina y ovina (Aréchiga *et al.*, 2008).

2.1.2 Producción mundial de leche de cabra

La leche de cabra y sus derivados son alimentos que han recibido en los últimos años atención mundial. Su producción ha ido en aumento, contribuyendo a mejorar la economía de productores e industriales y a incrementar el aporte nutricional en los consumidores. En algunas regiones se consume en forma líquida aunque también se procesa obteniendo derivados, principalmente queso, además se produce dulce de leche o cajeta (Flores *et al.*, 2009).

La producción mundial de leche de cabra en 2012 alcanzó los 17.9 millones de toneladas, de las cuales alrededor del 3.7% fueron producidos en el continente Americano. Al igual que su población caprina, Asia representa el continente con

mayor producción de leche de cabra (58.3 %), sin embargo, a pesar de que Europa solo cuenta con el 1.6 % del inventario caprino a nivel mundial, produce el 18 % del total de la leche producida en el mundo. Actualmente los 5 principales países productores de leche de cabra son India, Bangladesh, Sudán, Pakistán y Francia. Dentro de la producción mundial de leche, la cabra aporta el 2.4 % del total; incrementándose considerablemente durante las últimas dos décadas en un 68.9 % (Figura 2) (FAO, 2014). Entre las razones que explican el bajo volumen de producción de leche de cabra a nivel mundial, destacan que en la mayor parte de los países hay una deficiente alimentación, consecuencia de las condiciones desfavorables en las que se desarrolla el ganado, y que los sistemas de producción se orientan principalmente a la obtención de carne (Trejo, 2011).

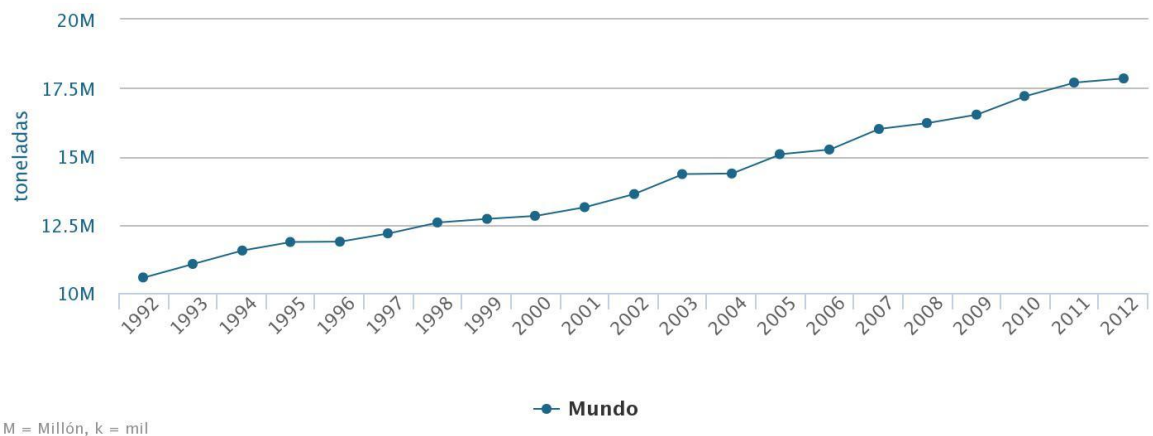


Figura 2. Producción de leche de cabra en el mundo 1992 - 2012 (FAO, 2014).

La producción de leche de cabra en los países desarrollados está vinculada al incremento de la tecnología, investigación, organización, calidad y recientemente a los conceptos de seguridad social y equilibrio medio ambiental, en el sentido de la producción orgánica, además de la innovación de productos y formas de consumo de queso, principal producto de la transformación de la leche. Mientras que en los países en vías de desarrollo la producción de leche se realiza en rebaños donde la

aplicación de diversas innovaciones tecnológicas es muy reducida, sin embargo, la posesión de estos animales representa seguridad alimenticia, ahorro e inversión (Morand-Ferh *et al.*, 2004).

En el continente americano México y Brasil son los países con mayor número de cabezas de ganado caprino, sumando casi el 50 % del total de caprinos en América, sin embargo, Jamaica con solo el 1.44 % es el país con mayor producción de leche entera de cabra en el continente. Estos tres son los países más importantes de América en la cría y producción de cabras, ya que aportan el 82.5 % del total de leche producida en el continente (Cuadro 1) (FAO, 2014).

Cuadro 1. Principales países productores de leche entera de cabra en América

País	Toneladas	%
Jamaica	182,000	30.81
México	155,636	26.35
Brasil	150,000	25.39
Bolivia	30,000	5.08
Haití	28,200	4.77

FAO, 2012

2.1.3 Inventario nacional de ganado caprino

La cabra se encuentra ampliamente distribuida en el mundo, principalmente en los países tropicales entre los que se encuentra México. Los caprinos, fueron introducidos a México por los españoles después de la conquista habiéndose adaptado desde entonces en gran parte del territorio nacional, demostrando ser aptos para una producción pecuaria rentable, pero particularmente una especie muy resistente a la sequía y escasez de forrajes (Guerrero, 2010). La actividad

sostiene a más de 400 mil familias, es decir, alrededor de un millón y medio de mexicanos tiene como actividad productiva primaria o complementaria la caprinocultura, ubicada principalmente en zonas con bajos índices de desarrollo humano (SAGARPA, 2012). Cabe destacar que la utilización de esta especie se encuentra al alcance de la población rural y campesina por el reducido costo de inversión en animales, construcciones y mantenimiento (Trejo, 2011). En la última década la población caprina en México se ha mantenido estable en números absolutos, con una ligera tendencia a aumentar, sin embargo, presentó una caída importante en los últimos dos años (Figura 3).

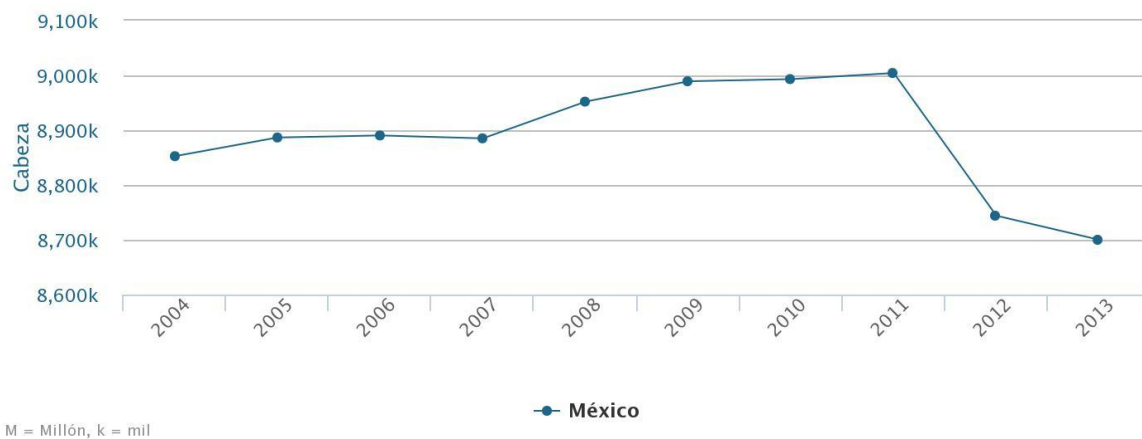


Figura 3. Población caprina en México 2004 - 2013 (FAO, 2014).

De acuerdo con el SIAP, en el 2013 México contaba con un total de 8,664,613 cabezas de caprinos, de las cuales el 64% se concentran en los sistemas de producción característicos de las zonas áridas y semiáridas y el 36% restante en la región templada del país. Así mismo, el SIAP (2013) menciona que los estados con mayor número de cabezas de ganado caprino son Oaxaca (14.4%), Puebla (14.1%), Guerrero (7.6%), Coahuila (7.4%) y San Luis Potosí (7.1%), ocupando Guerrero el tercer lugar en población (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Distribución de la población nacional de cabras
(Principales estados productores)**

Estado	Cabezas
Oaxaca	1,249,487
Puebla	1,218,318
Guerrero	660,347
Coahuila	643,305
San Luis Potosí	615,673
Zacatecas	615,355
Guanajuato	573,510
Michoacán	460,709
Nuevo León	408,096
Tamaulipas	265,902

SIAP, 2013

2.1.4 Producción nacional de leche de cabra

La producción de leche de cabra en México ha tenido un ligero incremento en la última década (Figura 4), de acuerdo con datos del SIAP la producción total de leche caprina en el 2013 fue de 152,332 toneladas.

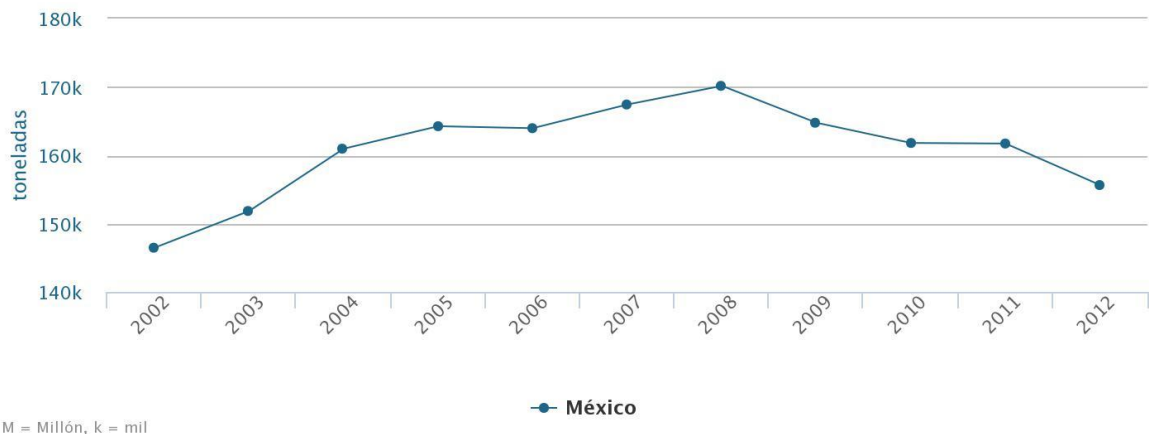


Figura 4. Producción de leche de cabra en México 2002 - 2012 (FAO, 2014).

En el Cuadro 3 se muestra la distribución nacional de la producción de leche caprina, siendo Coahuila, Guanajuato y Durango, los principales estados productores, al tener en conjunto una participación de más del 70% de la producción nacional, en tanto que Guerrero no sobresale como estado productor de leche de cabra (SIAP, 2013).

Cuadro 3. Producción nacional por estados de leche de cabra

Estado	Toneladas
Coahuila	47,442
Guanajuato	37,680
Durango	25,346
Jalisco	6,667
Chihuahua	6,385
Zacatecas	5,616
Michoacán	3,709
Tlaxcala	3,535
Nuevo León	3,149
San Luis Potosí	3,075
Baja California Sur	2,940
Veracruz	2,084
Puebla	1,889
Querétaro	1,434
Sonora	798
Baja California	449
Tamaulipas	92
Hidalgo	27
Quintana Roo	13
Colima	2
Total nacional	152,332

SIAP, 2013

En México, la demanda de derivados de leche de cabra se ha incrementado paulatinamente a través del consumo de algunas variedades de quesos y dulces. El 70% de la producción de leche de cabra total estimada se consume cruda o se utiliza para hacer quesos o dulces artesanales con una comercialización local. El 30% restante se usa en la industria; de este porcentaje, alrededor del 20% se transforma en queso y el 10% restante en cajeta (Trejo, 2011).

2.2 Morfología y fisiología de la glándula mamaria de la cabra

La glándula mamaria es una glándula epitelial exocrina, exclusiva de los mamíferos, que está extraordinariamente bien adaptada, cuantitativamente y cualitativamente, a las necesidades de crecimiento y a la conducta de cada especie (Gasque, 2008; Caja *et al.*, 2002).

2.2.1 Morfología

La ubre caprina está conformada por dos glándulas mamarias independientes, situadas en la región inguinal. Cada una de ellas finaliza en una papila o pezón cónico, prolongando la forma de la glándula en sentido cráneo-lateral, con una longitud de aproximadamente 7 a 8 cm, generalmente único, cuyo orificio externo presenta una concentración de fibras musculares circulares que lo cierra, el esfínter del pezón, que evita el flujo espontáneo de leche al exterior y cuya resistencia es necesaria vencer para permitir la salida de leche (Figura 5). La forma y volumen de la ubre de la cabra están muy relacionados con las aptitudes productivas de las distintas razas, señalándose para las lecheras una mayor longitud y aspecto periforme (García, 2012; Callejo, 2009; Ferrando y Boza, 1990).

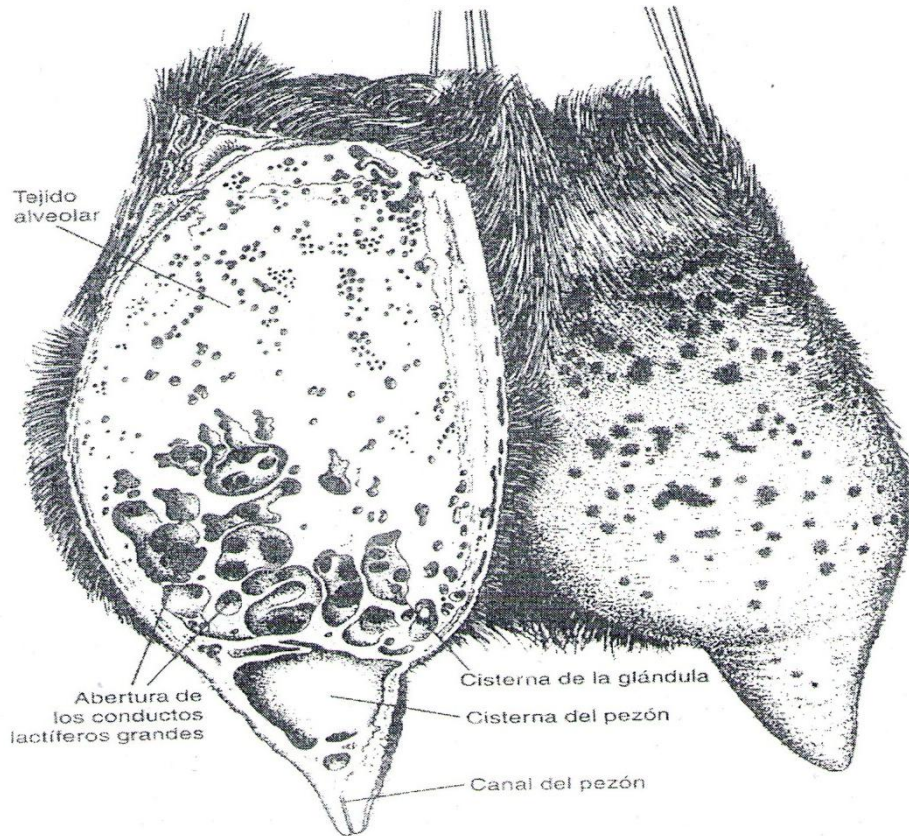


Figura 5. Corte transversal de la glándula mamaria en cabras (Cunninham, 1999).

La ubre consta de dos estructuras anatómicas: Una estructura externa formada por un grupo de ligamentos y tejido conectivo que mantienen a la ubre prácticamente adosada a la pared abdominal. La fortaleza de los ligamentos es deseable debido a que ayudan a prevenir la formación de una ubre colgante. Y una estructura interna la cual se comunica con el exterior por un solo canal del pezón y consta de una cisterna de la glándula, de la que parten una serie de conductos (interlobular e intralobular) los cuales se ramifican muchas veces hasta llegar a un pequeño conducto (interlobulillar e intralobulillar) al que drena cada alveolo (Figura 5). El alveolo es la unidad funcional de producción, sus funciones son remover nutrientes de la sangre, transformarlos a leche y descargarla en el lumen. La estructura de estos ductos y alveolos varía con las etapas de la preñez,

la lactancia y la involución mamaria. Las principales arterias que irrigan la glándula mamaria son la arteria mamaria craneal y la arteria mamaria caudal (García, 2012; Ávila, 2010; Gasque, 2008; Caja *et al.*, 2002).

2.2.2 Fisiología

Después del nacimiento de las cabras, 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. La mayor parte del desarrollo de la glándula mamaria se realiza durante la preñez, pero continúa en menor grado hasta la etapa máxima de lactación. Al final de la gestación inicia la síntesis de calostro y la ubre comienza a aumentar de tamaño en gran medida. En este momento, la prolactina aumenta considerablemente en la pituitaria y hay un aumento de la actividad de la corteza suprarrenal. Durante la lactancia, las hormonas que se requieren para su sustentación incluyen la prolactina, hormona del crecimiento, hormonas de la tiroides y paratiroides 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 principal de ésta sea al inicio de la lactación más que en el mantenimiento de la secreción de leche (García, 2012; Cunningham, 1999; Knight y Peaker, 1982)

El reflejo de eyección se activa cuando las células mioepiteliales que rodean el alveolo se contraen en respuesta a la oxitocina, hormona neurohipofisiaria liberada por reflejos neuroendocrinos provocando la expulsión de leche. Los reflejos neuroendocrinos se van a iniciar por la percepción de estímulos externos como son la llamada de la cría o el ruido de la máquina de ordeño y, sobre todo, la manipulación de la mama y esta información es conducida a los centros nerviosos superiores. Los impulsos nerviosos ascienden al cordón espinal y de ahí llegan al núcleo para-ventricular del hipotálamo y después a la glándula pituitaria posterior, donde causan la liberación de la oxitocina hacia la corriente sanguínea. Al llegar la

oxitocina a la ubre, se difunde en los capilares ocasionando las contracciones 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 la cisterna de la glándula y de la teta. Normalmente y si el animal no es perturbado, la oxitocina llega a la glándula mamaria en aproximadamente 25 segundos. Una mayor eficiencia en la respuesta de oxitocina se obtiene si la cabra es alimentada durante el ordeño. Cuando cesa la contracción de las células mioepiteliales, la presión se invierte y la leche vuelve a ascender por capilaridad (Callejo, 2009; Chandan *et al.*, 2008; Glauber, 2007; Cunningham, 1999).

2.3 La leche

Se entiende por leche al producto obtenido de la secreción de la glándula mamaria de las hembras mamíferas, sin calostro, la cual debe ser sometida a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogenización, estandarización u otras siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación NOM-155-SCFI-2003.

La leche es una emulsión de materia grasa, en forma globular, en un líquido que muestra analogías con el plasma sanguíneo. Este líquido es asimismo una suspensión de materias proteicas en suero constituido por una solución neutra que contiene, principalmente, lactosa y sales minerales. A ellos se añaden otros componentes numerosos, presentes en cantidades mínimas: lecitinas, vitaminas, enzimas, entre otros. Algunos de los cuales tienen una gran importancia debido a su actividad biológica. La función natural de la leche es la de ser el alimento exclusivo de los mamíferos jóvenes durante el periodo crítico de su existencia, tras el nacimiento, cuando el desarrollo es rápido y no puede ser sustituida por otros alimentos. La gran complejidad de la composición de la leche responde a esta necesidad, por lo que encontramos grandes diferencias en la composición de la leche de diferentes especies (Cuadro 4) (Trejo, 2011; Alais, 1985).

Cuadro 4. Composición de leche de diferentes especies, g/100g

Especie	Agua	ST	SNG	Proteína	Grasa	Lactosa	Cenizas
Humana	87.1	12.9	8.8	1.3	4.1	7.2	0.3
Vaca	87.6	12.4	8.7	3.3	3.7	4.7	0.6
Cabra	87.0	13.0	8.5	3.6	4.5	4.6	0.6
Oveja	81.6	12.9	8.8	5.8	7.5	4.4	0.9

ST = Sólidos totales

SNG = Sólidos no grasos

Fuente: Alais 1990, citado por Trejo, 2011

2.3.1 Síntesis de los componentes de la leche de cabra

El origen de los componentes de la leche resulta doble, algunos de ellos se sintetizan en las células epiteliales de la glándula mamaria a partir de precursores sanguíneos (grasa a partir de ácidos grasos, proteína a partir de aminoácidos, etc.), mientras que otros se toman ya formados a partir de una filtración selectiva de la sangre (minerales) (Sanz *et al.*, 2003). Para llevar a cabo esta síntesis, las células de la glándula mamaria requieren de todos los elementos necesarios para su metabolismo y especialmente los metabolitos como la glucosa, acetato y ácidos grasos no esterificados. Algunos lípidos y proteínas son específicos de cada especie, sin embargo la lactosa es idéntica en todas las especies (Chandan *et al.*, 2008, Knight y Peaker, 1982).

La lactosa es el principal carbohidrato de la leche, consiste en una molécula de glucosa unida a una molécula de galactosa por medio de un enlace glucosídico β 1-4, es sintetizada en la glándula mamaria. La lactosa es producida únicamente a partir de glucosa, para que la síntesis se lleve a cabo se necesitan dos moléculas de glucosa, una de ellas es isomerizada a galactosa, la condensación de estas dos moléculas forma la lactosa, este proceso es catalizado por la enzima lactosa sintetasa (Ávila, 2010; Tyler y Ensminger, 2006; Ruckebush *et al.*, 1994).

La leche tiene dos fracciones proteicas principales: caseínas, las cuales se encuentran en mayor proporción, y las proteínas del suero de la leche (albúminas). Las caseínas son sintetizadas en las células secretoras de la glándula mamaria a partir de aminoácidos obtenidos de la sangre. La biosíntesis de estas proteínas se asemeja a la de cualquier otro tejido del cuerpo. Las albúminas son producidas en el hígado y son transportadas hacia la glándula mamaria por la sangre. Su concentración en la leche refleja la concentración en el suero. Otro grupo de proteínas, menos abundante en la leche, son las inmunoglobulinas. Estas son transportadas dentro de la leche por medio de la sangre y linfa desde el bazo y los ganglios linfáticos (Gasque, 2008; Cannas y Pulina, 2005; Alais, 1985).

La leche contiene todas las vitaminas conocidas necesarias para el humano. Los principales minerales de la leche son: calcio, fósforo, potasio y magnesio. Las células secretoras de la glándula mamaria no sintetizan minerales ni vitaminas; éstos son suministrados por la sangre (Ávila, 2010; Tyler y Ensminger, 2006; Zavala, 2005). Una parte de los minerales, se encuentran libres en forma de iones en solución. El calcio y magnesio, por el contrario, se encuentran unidos a aminoácidos en las moléculas de caseína (Agudelo y Bedoya, 2005).

2.3.1.1 El origen de los lípidos en la leche

Cerca del 50% de los ácidos grasos de la leche son sintetizados en la glándula mamaria a partir de los precursores: acetato y β -hidroxibutirato obtenidos de la sangre. Esta síntesis se lleva a cabo por la acción de las enzimas: acetil-CoA carboxilasa y ácido graso sintetasa (Cannas y Pulina, 2005). Entre los precursores de los ácidos grasos de la leche de cabra, la contribución de acetato representa el 12% y el β -hidroxibutirato el 9.4% (García, 2012). La parte restante proviene tanto de la dieta (cerca del 40 – 45%) como de la movilización de las reservas de grasa corporales del animal, en proporciones variables de acuerdo con el estado de lactación. Estos porcentajes pueden variar significativamente debido a la manipulación de la dieta (Cannas y Pulina, 2005; Chilliard *et al.*, 2000).

La grasa presente en la leche de rumiantes se caracteriza por estar compuesta casi completamente por triacilglicéridos, la mayoría del glicerol utilizado en la síntesis de triacilglicéridos es sintetizado en la célula a partir de glucosa. Los ácidos grasos de cadena corta (con menos de 8 carbonos), especialmente butírico y hexanoico, son tomados directamente de la circulación o sintetizados a partir de β -hidroxibutirato (Tyler y Ensminger, 2006; Aranda y Del Prado, 2003).

Los ácidos grasos de cadena media (C8 a C14) son sintetizados en la glándula mamaria, a partir de glucosa y acetato, como principales sustratos lipogénicos. Estos son activados a acetil-CoA dentro de la glándula mamaria, seguido de su conversión a malonil-CoA, este es el paso limitante en la biosíntesis de ácidos grasos y es catalizado por la enzima acetil-CoA carboxilasa. Después las enzimas ácido graso sintetasas, alargan las cadenas de carbono a través de la condensación de unidades de dos carbonos a partir de malonil-CoA. La mitad del ácido palmítico (C16:0) proviene de la síntesis endógena mientras que la otra mitad proviene de la dieta (Cannas y Pulina, 2005; Aranda y Del Prado, 2003).

Los ácidos grasos saturados e insaturados de cadena larga (\geq C16), provienen de la dieta o de la movilización de las reservas de grasa del tejido adiposo del animal (Aranda y Del Prado, 2003). Los ácidos grasos insaturados de cadena larga inhiben la actividad de las enzimas lipogénicas de la glándula mamaria, en particular interfieren con la actividad de la acetil-CoA carboxilasa. Kitessa *et al.* (2001), mencionan que dietas con grandes cantidades de estos ácidos grasos o su infusión directamente en el duodeno de vacas y cabras disminuyen significativamente la síntesis de grasa láctea, debido al bloqueo de la síntesis endógena de ácidos grasos de cadena corta y media. La fluidez de la grasa de la leche es afectada por la actividad de la desaturasa de la glándula mamaria. De hecho la enzima Δ 9-desaturasa (la cual introduce una doble ligadura en la posición 9 de la cadena de carbonos) desatura una cantidad del ácido esteárico (C18:0) en ácido oleico (C18:1), alcanzando una relación entre estos dos ácidos

grasos que optimiza las características de la leche. La enzima $\Delta 9$ -desaturasa actúa también sobre otros sustratos como el ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico y ácido vaccénico. En este último caso, es formado el isómero *cis*-9, *trans*-11 del ácido linoleico conjugado (ALC) (Tsiplakou *et al.*, 2006; Cannas y Pulina, 2005, Chilliard *et al.*, 2003).

2.3.2 Leche de cabra

La leche de cabra y sus derivados son de gran importancia para la nutrición humana. Los aspectos que actualmente centran el interés por la leche de cabra son los siguientes: 1) la leche y el queso de cabra han sido de gran relevancia en la alimentación de zonas rurales y desfavorecidas, siendo la principal fuente de proteína para su población; 2) las exigencias gastronómicas de los consumidores hacen que aumente la demanda de productos derivados de la cabra, especialmente queso y yogurt, por lo que se requiere mayor conocimiento de la materia prima, en relación a los productos finales; y 3) la leche de cabra como sustituto de la tradicional leche de vaca ha comenzado a merecer la atención de gobiernos y entidades privadas, debido a su potencial de ser un alimento funcional para grupos humanos que presentan intolerancia a los lácteos de origen bovino, alergias, diabetes, desnutrición y en la lactancia de recién nacidos (Flores *et al.*, 2009; Degen, 2007; Haenlein, 2004).

2.3.2.1 Composición y aspectos benéficos de la leche de cabra

La riqueza alimentaria y nutritiva de la leche de cabra se debe a sus componentes: lípidos, proteínas, lactosa, minerales y vitaminas (Sanz *et al.*, 2003). En particular, la leche de cabra presenta al igual que la de vaca excelentes características para su consumo humano, ya sea en su forma natural o bien en términos de productos derivados de la misma. Dadas las especiales características de la leche de cabra, se adapta en excelente forma para ser suministrada a personas de edad avanzada, convalecientes, niños y personas alérgicas a la leche de vaca (Ferrando y Boza, 1990). En los países subdesarrollados, la producción de esta

clase de leche ha llegado a constituir una estrategia útil para hacer desaparecer la desnutrición, sobre todo en la población infantil (Sanz *et al.*, 2003).

2.3.2.1.1 Composición y características de la proteína

La proteína de la leche de cabra es similar a la de vaca, en cuanto a su clasificación general. Dado que el interés de la leche de los pequeños rumiantes, radica esencialmente, en que constituye una leche industrial, que se deriva en su mayor parte a la industria de transformación, especialmente para la fabricación de queso, las proteínas más interesantes resultan ser las caseínas, proteínas coagulables, que determinan el rendimiento de fabricación indicado y, por tanto, la calidad tecnológica de la leche en cuestión (Sanz *et al.*, 2003). Las caseínas constituyen más del 80% de todos los compuestos nitrogenados siendo cuatro las caseínas principales: α_{s1} , α_{s2} , β y κ . La leche de cabra es rica en la forma polimórfica α_{s2} . (Martin, 1993; Mora *et al.*, 1991). Esto es de gran importancia a nivel tecnológico, ya que aumenta la facilidad de coagulación, otorga textura a los quesos y aumenta el rendimiento. Las caseínas precipitan a un pH = 4.6 quedando constituidas por partículas complejas en forma de micelas. El tamaño de las micelas proteicas de la leche de cabra es menor (50 nm) respecto a las de vaca (75 nm) (Sanz *et al.*, 2003). En el suero de la leche encontramos β -lactoalbúminas (74%), inmunoglobulinas (18.3%) y α -lactoalbúminas (7.1%). No parece existir diferencia entre los aminoácidos presentes en las leche de cabra, oveja y vaca. Todas son ricas en lisina, uno de los aminoácidos esenciales más escasos en la dieta infantil (Park, 2000). En relación al nitrógeno no proteico, la leche caprina posee una mayor cantidad, predominando la presencia de urea (85%). De ácidos aminados simples (17%), y en menor proporción: creatinina, amoníaco y ácido úrico (Arbiza y De Lucas, 2001).

La alergia se produce por la generación en el organismo de Inmunoglobulinas E (IgE) al entrar en contacto con las proteínas de la leche, especialmente en niños donde estas suelen ser las primeras proteínas extrañas con que tienen contacto.

En este sentido las α -lactoalbúminas y β -lactoalbúminas, son menos problemáticas ya que son alterables por la acción del calor (termosensibles), y por lo tanto, su poder alergénico se inactiva en productos tratados térmicamente como son las leche en polvo o pasteurizada (Chacón, 2005). En un estudio realizado en Francia con niños que presentaban alergia a la leche de vaca, el tratamiento con leche de cabra produjo resultados positivos en un 93% de los niños y fue recomendada como un componente valioso de su nutrición debido a su baja alergenicidad y mejor digestibilidad que la leche de vaca (Haenlein, 2004).

2.3.2.1.2 Composición y características de la grasa

Los lípidos son uno de los componentes más importantes de la leche en términos nutricionales y en características tanto fisicoquímicas como sensoriales (Trejo, 2011). El valor es superior en la leche de cabra (4.8%) que en la de vaca (3.4%), existiendo diferencias en cuanto a la estructura física y perfil de ácidos grasos (Ramos, 2006). Los triacilglicéridos representan casi el 95% de los lípidos totales, mientras que los fosfolípidos rondan los 30 – 40 mg/100mL y el colesterol 10 mg/100mL. La leche de cabra excede en cantidad a la de vaca en la mayoría de los ácidos grasos esenciales de cadena corta, media y larga, así como en las cantidades de ácidos poli y mono insaturados (Chacón, 2005). De manera general, en un estudio comparativo de la composición de la leche de los rumiantes, especialmente de la cabra, frente a la de vaca, se aprecia mayor contenido de los ácidos caproico (C6:0), caprílico (C8:0), cáprico (C10:0) y láurico (C12:0), difiriendo también en cuanto al contenido en ácidos grasos de cadena ramificada (Chilliard *et al.*, 2003; Sanz *et al.*, 2003).

La calidad de la grasa de la leche de cabra, es uno de los aspectos más valorados y reconocidos de esta leche, esta calidad radica en: **1)** Su alto contenido de ácidos grasos C8 a C14, llamados Ácidos Grasos de Cadena Media (AGCM), estos alcanzan normalmente un porcentaje mayor del 30%, a diferencia de la leche de vaca que no alcanza de estos compuestos más del 20%. Estos AGCM,

especialmente los ácidos caprílico y cáprico, muestran un interés particular desde el punto de vista terapéutico, a causa de su utilidad en determinadas enfermedades metabólicas (Schettino *et al.*, 2011; Flores *et al.*, 2009; Chacón, 2005; Sanz *et al.*, 2003); Los AGCM se caracterizan por seguir en el organismo una vía de utilización metabólica distinta de los triacilglicéridos de cadena larga, ya que los ácidos grasos libres derivados de su hidrólisis, pueden ser absorbidos sin reesterificación, pasando directamente al sistema porta, siendo de esa manera transportados al hígado y tejidos periféricos. Su bajo peso molecular e hidrosolubilidad, facilita la acción de las enzimas digestivas, haciendo que su hidrólisis sea más rápida y completa que la de los triacilglicéridos de cadena larga y, a diferencia de estos, la digestión de los AGCM comienza a producirse en el estómago, ya que la lipasa gástrica, prácticamente sin acción sobre los triacilglicéridos de cadena larga, inicia la hidrólisis de los AGCM, la que será completada por la lipasa pancreática, a un ritmo cinco veces superior a la hidrólisis de los triglicéridos de cadena larga (García, 1996). Los ácidos cáprico y caprílico, así como otros ácidos constituyentes de los AGCM, han llegado a constituir tratamiento específico en pacientes afectados por diferentes casos de malabsorción, insuficiencia pancreática, fibrosis quística del páncreas, pancreatoclectomía, déficit o ausencia de sales biliares como en la hepatitis crónica o neonatal, cirrosis biliar o alcohólica, ictericia obstructiva, padecimiento de esteatorrea, e hiperlipoproteinemia, así como en los afectados de resección intestinal o los que sufren de insuficiencia coronaria, utilizándose también este tipo de compuestos, en la alimentación de pacientes desnutridos, niños prematuros, epilepsia infantil, entre otras patologías (Sanz *et al.*, 2003). **2)** La carencia de aglutinina, que es una proteína encargada de concentrar los glóbulos grasos para generar estructuras más complejas y de mayores dimensiones, por esta razón, el tamaño medio de la micela o glóbulo graso de la leche de cabra es de 2 μm , presentado un alto porcentaje de glóbulos con un tamaño de 1.5 a 3 μm , considerablemente inferiores a los que presenta la leche de vaca (4.5 μm), por lo tanto, las lipasas pueden atacar más rápidamente al haber mayor superficie de

exposición. Lo que conlleva a que la grasa de la leche de cabra tenga una mejor digestibilidad que la de vaca (Schettino *et al.*, 2011; Ramos, 2006; Chacón, 2005; Quiles y Hevia, 1994) y **3)** Al alto porcentaje de ácidos grasos polinsaturados, en especial los ω -3 y el isómero cis -9, trans-11 Ácido Linoleico Conjugado (ALC) los cuales han sido asociados con efectos benéficos sobre la salud humana (Schettino *et al.*, 2011; Savoini *et al.*, 2010).

Los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), tienen efectos positivos sobre las lipoproteínas plasmáticas humanas. El ácido oleico (C18:1) disminuye la cantidad de LDL que son lipoproteínas de baja densidad por sus siglas en inglés, sin afectar a la HDL, lipoproteína de alta densidad por sus siglas en inglés, resultando beneficioso puesto que existe una relación inversa entre la HDL y la aparición de aterosclerosis (Murphy, 2001). Los AGMI C18 trans, que aumentan el riesgo de enfermedades cardiovasculares, están presentes en menor proporción en la grasa de la leche de cabra que en la de vaca (Alonso, 1999).

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), cuyo consumo reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, no se sintetizan en cantidades apreciables en los tejidos de los rumiantes y, por tanto, su concentración en leche es, esencialmente, un reflejo de la cantidad de estos que abandona el rumen (Givens y Shingfield, 2004). Por ello, una estrategia para el aumento de la cantidad de éstos en la leche de los rumiantes es la manipulación de su alimentación (Sanz *et al.*, 2002).

El ALC se ha asociado con importantes actividades biológicas, incluyendo la anticarcinogénica y aterogénica, la reducción de los efectos catabólicos de la estimulación inmune, la mejora del crecimiento, la disminución de la grasa corporal y la regulación de la glucosa en sangre (Murphy, 2001). La leche y sus derivados son la mayor fuente de ALC en la dieta humana, y el isómero cis-9, trans-11, el más abundante en los alimentos derivados de los rumiantes, habiéndose

desarrollado una serie de estrategias nutricionales para maximizar su contenido en la leche (Chilliard *et al.*, 2000).

La composición en ácidos grasos de la grasa de la leche de cabra puede modificarse mediante la alimentación como se expondrá en un apartado posterior de este escrito, de manera que se incrementen los ácidos grasos de mayor interés para el consumo humano, disminuyendo aquellos más perjudiciales.

2.3.2.1.3 Composición y características de la lactosa

El carbohidrato mayoritario de la leche de cabra es la lactosa, cuyo porcentaje (4.1 - 4.5) es ligeramente inferior al de la leche de vaca (4.7 - 4.8), lo cual está relacionado con que esta leche presenta menos problemas asociados con la intolerancia (Ramos, 2006; Chacón, 2005). La lactosa es uno de los determinantes principales del volumen de leche debido a que representa aproximadamente la mitad de la presión osmótica en la leche y, por lo tanto, controla el volumen de agua. La secreción de lactosa dentro del alvéolo produce el arrastre de agua dentro del mismo (Ponce, 2009; Ochoa *et al.*, 2007).

2.3.2.1.4 Composición mineral y vitamínica de la leche de cabra

En el Cuadro 5 se presenta la composición mineral de la leche de cabra. Una de las mayores contribuciones de la leche de cabra a la alimentación infantil es su aporte en calcio y fósforo, con unas cantidades de 1.2 y 1 g/L respectivamente, cifras muy superiores a la leche de mujer. La leche de cabra aporta 13% más calcio que la leche de vaca y cubre muy bien los requerimientos minerales de un infante. Por el contrario, la leche de cabra al igual que otras leches de hembras domésticas e incluso la de mujer, es deficitaria en hierro (Trejo, 2011; Chacón, 2005; Sanz *et al.*, 2003; Quiles y Hevia, 1994). Es interesante notar que los requerimientos diarios de calcio y magnesio de grupos de alta sensibilidad como es el caso de mujeres embarazadas y amamantando, así como adolescentes, son apenas cubiertos por tres tazas (aprox. 900mL) de leche de vaca, mientras la

leche de cabra los cubre con solo dos porciones del mismo tamaño (600 mL) (Chacón, 2005). La cantidad de fósforo (en forma de fosfatos) que hay en la leche de cabra no solo ayuda nutricionalmente a las personas que tienen dietas basadas exclusivamente en raíces de plantas, frutas y vegetales verdes; sino que además contribuye junto con las proteínas a la alta capacidad buffer, la cual es mayor a la que presenta la leche de vaca. Lo anterior hace a este fluido muy valioso en el tratamiento de úlceras gástricas, especialmente cuando la constante irritación causada por la acción de los jugos gástricos es dañina para el revestimiento del tracto digestivo (Chacón, 2005).

Cuadro 5. Composición mineral de la leche de cabra (ppm)

Componente	ppm
Mn	0.032-0.473
Ca	807-1738
Fe	0.91-1.335
Mg	101-212
P	691-1641
Na	410-500
K	653-3055
Cu	0.081-.0937
Zn	1.48-4.93

Fuente: Cerutti *et al.* (1992); citado por Chacón (2005)

Con relación a las vitaminas y desde el punto de vista nutricional la leche de cabra provee adecuadamente vitamina A, niacina, tiamina y riboflavina. Comparada con la leche materna, la leche de cabra contiene la misma cantidad de ácido fólico y un poco menos de vitaminas del complejo B. El contenido de vitamina E suele considerarse bajo y es particularmente pobre en el caso de ácido ascórbico y

vitamina B₁₂ (Trejo, 2011; Chacón, 2005). La leche de cabra carece de pigmentos carotenoides, debido a eso, tanto la crema como la mantequilla son totalmente blancas. La determinación de la presencia de carotenos es uno de los métodos para descubrir la adulteración de la leche de cabra por la de vaca (Trejo, 2011; Flores *et al.*, 2009).

2.3.2.2 Propiedades físicas de la leche de cabra

La leche de cabra ofrece una serie de características físicas, algunas de las cuales como la densidad o el punto de congelación tienen gran interés porque permiten detectar fraudes en la leche. Algunas de las propiedades físicas como densidad o tensión superficial están en función de los componentes que forman parte de la leche, por ejemplo, la densidad de la leche de cabra es mayor cuando los contenidos de grasa y ST son elevados (Vega *et al.*, 2007; Quiles y Hevia, 2001).

La densidad láctea es el peso de la unidad de volumen a una determinada temperatura, la densidad de la leche de cabra medida a 20 °C oscila entre 1.026 y 1.042 g/mL. Siendo varios los factores que pueden influir en la misma, como temperatura, raza, fase de la curva de lactación, época del año, etc. Por regla general la acidez se expresa en grados Dornic (°D) (Quiles y Hevia, 2001).

La acidez está en función de la curva de lactación. En el momento del ordeño suele oscilar entre 14 y 16 °D, mientras que en la última fase de lactación, la acidez puede oscilar entre 16 y 18°D, debido principalmente a la mayor riqueza de caseínas (Quiles y Hevia, 2001).

De acuerdo con Trejo (2011) en cuanto a propiedades la densidad, acidez, índice de refracción y viscosidad de la leche de cabra es comparable con la leche de vaca, mientras que presenta una mayor tensión específica en la superficie.

2.4 Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra

Existen diversos factores que modifican la producción y composición de la leche, y es difícil determinar la influencia individual que ejerce cada uno de ellos. Sin embargo, se han dividido en dos tipos: 1) los de carácter genético, siendo la raza el factor principal y 2) los relacionados con el medio ambiente incluyendo la climatología, sistemas de alimentación y sistemas de manejo. La edad al parto, número de lactancias y duración de la misma son incluidos en este último grupo (Sanz *et al.*, 2003).

2.4.1 Raza

Diversos reportes han señalado diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la producción de leche en diferentes razas de cabras. De las lecheras, la Saanen es conocida como la Holstein de las cabras en el ámbito mundial, ya que produce altas cantidades de leche con bajos niveles de grasa. En el otro extremo se encuentra la raza Nubia que podría compararse también en el ganado bovino con la Jersey, ya que produce menos leche pero con un alto contenido de grasa. Otras razas como la Toggenburg, Oberhasli y Alpina están en un nivel intermedio entre las dos razas mencionadas, en cuanto a producción y contenido graso de la leche. En el Cuadro 6 se observa la producción y la composición de la leche de algunas razas de cabras lecheras (Salvador y Martínez, 2007).

Cuadro 6. Diferencias en la producción y la composición de la leche de diferentes razas de cabras lecheras

	Alpina	Saanen	Poitevine
Nº observaciones	156879	134672	639
Días en lactancia	273	278	248
kg de leche	754	774	475
Proteína (g/kg)	31,4	30,1	31,0
Grasa (g/kg)	35,8	33,3	34,6

Fuente: Hervé y Sigwald (2001); Citado por Salvador y Martínez, 2007.

2.4.2 Edad y número de parto

Estos dos factores están relacionados con el desarrollo de la glándula mamaria y el número de alvéolos mamaros desarrollados a lo largo de las gestaciones sucesivas y que no involucionan. Diversos autores mencionan que en general las razas caprinas presentan sus mayores producciones entre la tercera y cuarta lactación. Después de esto el volumen disminuye con el aumento de la edad del animal. La velocidad con la cual la producción disminuye es más baja que la velocidad con la cual aumentó hasta el máximo rendimiento lácteo (Goetsch *et al.*, 2011; Salvador y Martínez, 2007; Ferrando y Boza, 1990). Sin embargo, esto puede variar, ejemplo de ello es el estudio realizado por Dickson *et al.*, 2008 quienes observaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre las cabras de primer y segundo parto, pero no se observaron diferencias en la producción promedio entre las cabras de segundo parto en adelante. Mientras que Díaz *et al.* (2007) reportan que el número de parto afectó significativamente ($P < 0.01$) el volumen de leche producida a favor de las cabras con tres y más partos, mientras que las cabras de uno y dos partos presentaron menor producción sin diferencia estadística entre estos ($P > 0.05$).

2.4.3 Tipo de parto

De manera general varios autores reportan que la producción de leche se incrementa conforme el número de cabritos aumenta. De acuerdo a estos autores, esta mayor producción de leche de las cabras con partos múltiples, sobre las cabras con partos simples, se debe a los niveles de lactógeno placentario y al mayor estímulo que ejercen dos crías en lugar de una, sobre la succión de la ubre que conlleva a aumentar la producción de leche. Sin embargo, también reportan diferencias significativas en el porcentaje de grasa y proteína entre cabras con 1, 2, ó 3 y más crías, demostrando que las cabras con partos sencillos tenían menos leche pero más alto porcentaje de grasa y proteína (Díaz *et al.*, 2007; Salvador y Martínez, 2007)

2.4.5 Estado de lactancia

El estado de lactancia, independientemente de la especie o de la raza que se trate, tiene una gran influencia en la composición de la leche. Muchos componentes de la leche ya sea de ovejas, cabras o vacas, especialmente grasa y proteína, son altos en el calostro, al principio de la lactancia, disminuyendo su contenido cuando llegan al pico de producción de leche y luego aumentan nuevamente a medida que baja la producción. A medida que avanza la lactancia, aumenta el contenido porcentual de grasa, proteína, caseína, minerales, sólidos totales, sólidos no grasos, sodio, calcio, fósforo, magnesio y acidez titulable, mientras que el contenido de lactosa, potasio y citrato disminuyen significativamente. El estado de la lactancia también afecta el diámetro del coagulo de la grasa de la leche, el cual disminuye a medida que avanza la lactancia (Salvador y Martínez, 2007; Sheen y Riesco, 2002).

2.4.6 Salud de la ubre

Una forma rápida y eficiente de medir la salud de la ubre es la cantidad de células somáticas en leche. Las células somáticas son una expresión del grado de inflamación que presenta la glándula mamaria como consecuencia de la agresión de patógenos u otros factores de índole traumática. Algunos componentes de la leche como las proteínas del suero, lactosa, lipasa, sodio, y cloro, se incrementan cuando hay mastitis, mientras que la grasa, sólidos, caseína, calcio, fósforo, potasio y el rendimiento en queso, disminuyen cuando está presente la inflamación (Pedraza *et al.*, 2000).

2.4.7 Nutrición y alimentación

Variaciones de la dieta pueden traer cambios importantes en la producción y composición de la leche. Con el propósito de convertir nutrientes en alta producción de leche, la densidad de las proteínas y la energía del consumo de alimento diario deben incrementarse, debido a la limitada capacidad del rumen en términos de volumen. Hay que mantener una buena calidad del forraje y una

mezcla adecuada de granos para el mejor aprovechamiento en el mantenimiento de altos niveles de producción. En este aspecto, las cabras tienen ventaja sobre las vacas y ovejas, ya que además de pastar son ramoneadoras por lo cual pueden tener acceso a frutos, tallos y hojas de alto valor nutritivo (Salvador y Martínez, 2007).

Entre los componentes de la leche, la grasa es el más sensible a los cambios nutricionales de los animales. El contenido de proteína sólo puede ser modificado ligeramente. Las concentraciones de lactosa, minerales y otros componentes sólidos de la leche son poco influenciados por la dieta (Cannas y Pulina, 2005). La concentración de grasa y el rendimiento se ven afectados por varios factores nutricionales. Los más importantes son: 1) la concentración e ingesta de fuentes de fibra y carbohidratos no estructurales, 2) tamaño de las partículas de alimentos y fibras, 3) el uso de los probióticos, como la levadura, en la dieta, 4) la cantidad, características físicas y la composición en ácidos grasos de la dieta y 5) la presencia de precursores del isómero trans-10, cis-12 ácido linoleico conjugado, que puede causar la depresión de grasa láctea (Goetsch *et al.*, 2011; Cannas y Pulina, 2005).

El suministro de dietas ricas en carbohidratos no estructurales, con inadecuadas relaciones forraje-concentrado o los alimentos fibrosos en forma de pellet, pueden favorecer un cambio en los productos de la fermentación ruminal con el consiguiente aumento del propionato y la disminución en la producción de acetato y butirato, lo que modifica la cantidad y calidad de la grasa en leche (Bedolla, 2010; Sanz *et al.*, 2007; Allen, 1997). Un mínimo de 19 a 21 % de Fibra Detergente Neutro (FDN) efectiva proveniente de forrajes picados, se considera necesario para prevenir una reducción en la concentración de grasa de la leche. El nivel mínimo de fibra en las raciones debe basarse en mantener el pH del rumen a un nivel aceptable (Dwain, 2004). El contenido del ácido α -linolénico en la leche es mayor cuanto más fresco es el pasto por lo que sus niveles se ven influidos de

manera decisiva por las condiciones climatológicas y las variaciones estacionales (Gómez, 2010). Estudios han demostrado que la grasa láctea de dietas que incluyen ensilado de maíz es mayor en ácidos grasos de cadena corta y ácido linoleico pero pobre en ácido α -linolénico comparada con dietas a base de pastura o ensilado de pastos (Osmari *et al.*, 2011). De acuerdo con Ferlay *et al.* (2006) comparados con forraje fresco, los ensilados presentan desventajas en los niveles de ácidos grasos mono y poliinsaturados de la leche, incluyendo el ALC.

La concentración de Proteína Bruta (PB) en la dieta afecta la producción de leche y consecuentemente, el porcentaje de proteína láctea, sin afectar mayormente el porcentaje de materia grasa, salvo que se afecte el crecimiento microbiano y la actividad celulolítica, que es la que contribuye con el sustrato para la síntesis de materia grasa en la glándula mamaria (Bedolla, 2010). Con niveles de PB dietéticos mayores a la capacidad para el uso en la síntesis de leche, la eficiencia del uso de ésta será relativamente baja, independientemente de su fuente (Goetsch *et al.*, 2011) La energía de la dieta es el factor nutricional de mayor importancia que afecta la producción y porcentaje de proteína de la leche; ya sea en cantidad, densidad energética o fuente de energía. También, bajo ciertas circunstancias productivas y de manejo alimentario, es posible usar la suplementación de aminoácidos protegidos, para mejorar el contenido de proteína de la leche (Bedolla, 2010)

En la leche, los niveles de vitamina A y D, están propensos a ser más elevados en el verano, cuando la vaca lo consume abundantemente debido a su alimentación más verde que en el invierno (Zavala, 2005). Estas variaciones estacionales son corregidas en algunos países por la adición de vitamina D.

Los ácidos grasos polinsaturados, en especial los ω -3, desafortunadamente, no pueden ser sintetizados por monogástricos o rumiantes debido a que la desaturación de los ácidos grasos no ocurre en posiciones mayores a $\Delta 9$,

impidiendo la síntesis de ácidos grasos de las familias ω -3 y ω -6, estos ácidos grasos son considerados esenciales y deben ser suministrados por la dieta. Por lo que la presencia de estos ácidos grasos en la grasa láctea depende de la cantidad de grasa protegida dietaria que escape a la biohidrogenación ruminal y sea absorbida en el intestino delgado (Savoini *et al.*, 2010). En este sentido, las leguminosas que son ramoneadas por las cabras parecen ser una fuente importante de ácidos grasos esenciales.

2.5 Silvopastoreo

Por definición, los sistemas silvopastoriles son una modalidad de los sistemas agroforestales, caracterizados por la combinación natural o una asociación dirigida de uno o varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos) dentro de potreros con especies de gramíneas y/o leguminosas herbáceas nativas o cultivadas, y su utilización por rumiantes y herbívoros en pastoreo (Palma, 2005). La interacción entre árboles, forraje y ganado se maneja para obtener productos (madera, forraje de alta calidad, ganado) de manera simultánea, intensiva y eficiente (Izaguirre y Martínez, 2008).

En general, los sistemas silvopastoriles pueden proveer ingresos económicos, a la vez que crean un sistema sostenible con múltiples beneficios ambientales. Cuando estos sistemas son bien administrados, ofrecen una variedad de oportunidades para mercadeo que pueden ayudar a estimular el desarrollo de la economía rural (Izaguirre y Martínez, 2008). Los componentes biológicos de un sistema silvopastoril son: árboles o arbustos, pasto, animales, suelo y subsuelo. La asociación de árboles leguminosos con gramíneas es una práctica que puede enfocarse de dos maneras. En la primera se aprovecha, tanto la producción de la gramínea como la producción del árbol asociado como forraje. También se ha encontrado un aumento en la cantidad de biomasa y una mejoría en el valor nutritivo de la gramínea debido a la fijación de nitrógeno, que eleva

significativamente la productividad por unidad de superficie (Camacaro *et al.*, 2004; Benavides, 1998).

2.5.1 Ventajas de los sistemas silvopastoriles

Uno de los principales beneficios de la asociación leguminosa arbórea – gramínea es el aumento del rendimiento. En algunas investigaciones se ha obtenido aumento en la cantidad de biomasa, que puede incrementar el rendimiento de nutrimentos por unidad de área (no necesariamente) hasta triplicar el obtenido con el pasto en monocultivo (Cuadro 7) (Benavides, 1998).

Los casos experimentales han mostrado resultados promisorios en silvopastoreo de *Erythrina poeppigiana* con cobertura de las gramíneas forrajeras Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*) y King-grass (*P. purpureum* x *P. typhoides*). En el primer caso, durante cinco años, el forraje cosechado de *C. plectostachyus* asociado con *E. poeppigiana* produjo 60% mayor rendimiento que la misma gramínea asociada con Laurel o Nogal (*Cordia alliodora*), un árbol maderable que no fija nitrógeno. El King-grass produjo 14% más forraje asociado con *E. poeppigiana*, comparado con la producción obtenida de la gramínea pura (Benavides, 1998).

Cuadro 7. Producción de materia seca y proteína cruda de Poró (*Erythrina spp.*) y pasto King-grass (*Pennisetum purpureum*) sembrados en asociación y del pasto en monocultivo

Parámetros	Año 1	Año 2	Promedio
Pasto y Poró en asociación			
Materia seca, t/ha/año	35.0	26.8	30.9
Proteína cruda, t/ha/año	2.87	2.74	2.81
Pasto en monocultivo			
Materia seca, t/ha/año	25.8	19.8	22.8
Proteína cruda, t/ha/año	1.18	0.94	1.03

t = tonelada

Fuente: Benavides *et al.* (1989). Citado por Benavides (2006)

Otro gran beneficio es la fijación simbiótica de nitrógeno, que realizan las leguminosas y bacterias del género *Rhizobium* que cubre las necesidades de las gramíneas. Las especies con las mejores características forrajeras son grandes extractoras de nutrimentos del suelo y no tienen la capacidad, como las leguminosas, de fijar nitrógeno, necesitando de la aplicación de altos niveles de fertilizante químico, lo cual, no solo aumenta considerablemente los costos de producción, sino que también puede causar problemas de contaminación ambiental. La presencia de una leguminosa permite eliminar la fertilización nitrogenada, con lo que se reducen sensiblemente los costos de producción (Amendola, 2009; Camacaro *et al.*, 2004; Benavides, 1998).

Las leguminosas arbóreas incrementan el nivel de nitrógeno en el suelo debido a su capacidad de fijarlo de la atmósfera, a través de la simbiosis con bacterias de la familia *Rhizobiaceae* en sus raíces, y por medio del aporte de materia orgánica al suelo a través de la caída periódica o estacional, natural o provocada (cosecha), de hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas. Por esa razón es de suponer que la leguminosa está siendo determinante en la asociación y que la fijación y

transferencia de nitrógeno a la gramínea acompañante es considerable (Amendola, 2009; Camacaro *et al.*, 2004; Botero y Russo, 1998).

Otros efectos benéficos sobre el suelo permiten que arbustos y árboles leguminosos mejoren las condiciones físicas del suelo (porosidad y densidad aparente). Su efecto de descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas. Sus raíces pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y traerlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura o para el cultivo agrícola asociado. En algunos casos, pueden incrementar la disponibilidad de fósforo (en simbiosis con micorrizas), calcio, potasio y magnesio (Botero y Russo, 1998). Se acelera el reciclaje de nutrimentos en el suelo realizado a través de los residuos de los cultivos agrícolas, de los forrajes o de las heces y orina depositadas por los animales durante el pastoreo (Botero y Russo, 1998).

Además se obtiene por la modificación del proceso de lignificación. Las especies arbustivas y arbóreas lignifican principalmente en los tallos y no tanto en las hojas, como lo hacen la gran mayoría de las gramíneas utilizadas para el pastoreo. Por lo tanto, hay una mayor estabilidad en la calidad nutrimental del forraje de las especies leñosas a través del tiempo (Botero y Russo, 1998).

Y finalmente, se presenta el efecto benéfico sobre el medio ambiente donde se desenvuelve el animal, ya que los arbustos y árboles crean un microclima favorable para los animales en pastoreo (sombra, menor radiación y menor temperatura). La intensidad de su sombra depende de la densidad y orientación de los surcos de árboles y del diámetro y estructura de sus copas. Para evitar la sombra refleja, que reduce la eficiencia fotosintética de las forrajeras herbáceas o cultivos de cobertura, las líneas o surcos de especies leñosas deben plantarse en dirección al recorrido del sol (de oriente a occidente). La sombra protege a los animales del calor excesivo causado por la radiación solar directa y les permite

mantener su temperatura corporal en un intervalo cómodo, lo cual ayuda a que exista un mayor consumo de alimento (Botero y Russo, 1998).

2.5.2 Desventajas de los sistemas silvopastoriles

También se manifiestan desventajas de la asociación de gramíneas forrajeras con las leguminosas arbóreas, ya que estas últimas pueden competir con la pastura y con los cultivos agrícolas por agua, nutrientes, luz y espacio. Los efectos de la competencia pueden ser mayores si los requerimientos de ambos componentes son similares (Botero y Russo, 1998).

Un alto número de animales o la disposición de los árboles en bloques pueden obligar a los animales a concentrarse en áreas reducidas para sombreadar. El exceso de pisoteo puede afectar la cobertura de la pastura localizada bajo la sombra y causar erosión y compactación localizada del suelo. Además, la sombra favorece la presencia de insectos picadores y parásitos que afectan a los animales (Botero y Russo, 1998).

2.6 *Pithecellobium dulce*



Figura 6. Follaje, flores y vaina, *Pithecellobium dulce* (Little, Wadsworth; 1964)

Es un árbol de tamaño mediano y crecimiento rápido nativo de los trópicos americanos

Nombres comunes. Guamuchil dulce, palo de guanoche, guamuchilo, huamúchil, huave, chucum blanco, mimosa dulcis, pinzán, etc.

Descripción. Árbol o arbusto espinoso perennifolio de 10 a 20 m de altura, tiene el tronco grueso, corteza delgada y ramas espinosas. Hojas en espiral aglomeradas, bipinnadas de 2 a 7 cm de

largo, agrupadas en 4 foliolos (hojitas). Flores pequeñas, ligeramente perfumadas blanco-cremosas, verdes o rosadas y están reunidas en racimos. Los frutos son vainas verdes y rojizas cuando maduras, de hasta 20 cm de largo, están retorcidas y presentan angostamientos a todo lo largo del fruto; se abren de ambos lados para liberar numerosas semillas. Semillas ovoides, aplanadas, morenas, rodeadas de un arilo dulce blanco o rosado que consume el humano.

Distribución. Originario de América tropical, considerado nativo de México. Ha sido extensamente introducido a otras áreas con propósitos ornamentales, para la reforestación, producción de leña, forraje y otros productos. Habita en climas cálido, semicálido y templado, desde el nivel del mar hasta los 1500 m. Tiene una amplia distribución en las zonas tropicales del país, en estados como: Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz y la zona más seca de Yucatán, en el Golfo y en el Pacífico desde Baja California y Sonora hasta Chiapas, incluyendo la cuenca del Balsas. Es una planta silvestre presente en zonas perturbadas o poco alteradas de bosque tropical caducifolio, subcaducifolio, subperennifolio y perennifolio.

Implantación. Se propaga habitualmente por semilla, pero también es posible la propagación vegetativa usando estacas grandes semiendurecidas.

Producción de forraje y valor nutritivo. Las vainas y hojas son un forraje nutritivo y palatable. Aunque la producción de biomasa de hojas es baja, estas pueden llegar a contener un 29% de proteína, y en algunas áreas los árboles se podan y las ramas se dejan en el suelo hasta que las hojuelas se caen, para ser recolectadas y dárseles al ganado. Las vainas también se pueden usar para animales, pero más a menudo se reservan para consumo humano. Olivares *et al.* (2011) estimaron una producción de follaje de 63.1 kg MS/ha, además de que lo reportan como una de las especies arbóreas de mayor importancia forrajera en el sur del Estado de México. Mientras que Hernández *et al.* (2009) encontraron 229.02 kg MS/ha exclusivamente de hojas de guamúchil a las 8 semanas de

rebrote. En cuanto a su valor nutritivo Palma (2005) reporta 19.5 % de proteína bruta (PB) y 31.8 % de Fibra Detergente Neutro (FDN), lo cual coincide con el 19.38 % de PB que reportan García y Medina. (2006), sin embargo en este mismo trabajo se observó un 43.31 % de FDN.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la utilización de *Pithecellobium dulce* como banco de proteína en la alimentación de cabras criollas en lactación y su efecto en la producción, composición y contenido de lípidos bioactivos de la leche.

3.1.1 Objetivos específicos

- Determinar la composición nutrimental (análisis químico proximal, fracciones de fibra y carbohidratos no fibrosos, fracciones de la proteína) de los ingredientes que componen la dieta.
- Evaluar la producción diaria de leche durante 120 días postparto.
- Analizar las características físico-químicas de la leche.
- Determinar el perfil de ácidos grasos en la grasa de la leche de cabra.
- Comparar la producción y composición de la leche de cabra de un grupo alimentado con *P. dulce* como parte de su dieta con la de otro grupo alimentado con concentrado.

4. HIPÓTESIS

- La producción diaria de leche durante 120 días posparto será similar en el grupo de cabras que ramonean *Phitecellobium dulce* y el grupo de cabras alimentadas parcialmente con concentrado
- Las características físico-químicas (acidez, densidad, % de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de sólidos totales y % de sólidos no grasos) de la leche de cabra serán similares en ambos tratamientos.
- La cantidad de ácidos grasos poliinsaturados será mayor en la leche del grupo de cabras que ramonean el banco de proteína de *Pithecellobium dulce*, comparativamente con el grupo que consume concentrado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Características del sitio de estudio

El trabajo de campo del presente estudio se llevó a cabo en instalaciones pertenecientes al Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), ubicado en el km 14.5 de la carretera Iguala-Cocula, en el estado de Guerrero, cuyas coordenadas geográficas son 18°16'52"N y 99°37'52"O, a una altura de 640 msnm; con una precipitación pluvial promedio anual de 767 mm, con lluvias en el verano y una temperatura promedio de 25.7 °C, con máxima de 40 °C y mínima de 10 °C, respectivamente (Sanchez *et al.*, 2006). El área se clasifica como una zona de trópico seco, con clima Awo (w) (i) g, que corresponde al más seco de los climas semihúmedos (García, 1988).

5.2 Descripción de los tratamientos

Se utilizaron 12 cabras criollas de 3^{er} y 4^{to} parto, distribuidas de manera aleatoria en dos tratamientos. Durante el último tercio de la gestación y toda la lactancia, el primer grupo (T1) se alimentó con 650 g de concentrado, 50 g de premezcla mineral y 4 kg de ensilado de maíz por cabra al día; el segundo grupo (T2) se alimentó con 2 horas diarias de pastoreo en banco de proteína de *Pithecellobium dulce* (Guamúchil), además de 1 kg de hojas de *Pithecellobium dulce* fresco, 50 g de premezcla mineral y 4 kg de ensilado de maíz por cabra al día. Las dietas se elaboraron para atender las necesidades específicas de energía y proteína calculadas para la especie caprina de acuerdo con lo establecido en el NRC, 2007.

Con el propósito de que las cabras pudieran parir de manera agrupada para hacer coincidir el inicio de la lactancia entre los tratamientos evaluados, se procedió a establecer un programa de sincronización de estros utilizando dispositivos

intravaginales (CIDR[®] Laboratorios Pfizer) conteniendo 0.3 g de progesterona por 11 días, más 200 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG) administradas intramuscularmente al retirar los dispositivos de la vagina. Una vez removidos los dispositivos, se procedió a la detección de estros cada 12 h mediante machos provistos con mandil. De 18 cabras que recibieron el CIDR, tres no presentaron estro o perdieron el dispositivo. Las que manifestaron celo fueron servidas del 11 al 14 de octubre del 2011, por dos machos de la raza Nubia que mostraron ser fértiles en empadres anteriores, los cuales se mantuvieron separados del rebaño hasta el inicio de las montas. De 14 cabras que finalmente quedaron gestantes, se separaron las 12 con peso más uniforme para iniciar el estudio.

Los partos en el grupo Testigo ocurrieron entre los días 5 al 10 de marzo de 2012, de los cuales cuatro fueron dobles y dos sencillos, con pesos al nacimiento promedio de 2.75 ± 0.60 kg; mientras que para el grupo de Guamúchil ocurrieron entre los días 6 al 12 de marzo de 2012 (excepto 2), de los cuales tres fueron dobles y tres sencillos, con pesos al nacimiento promedio de 2.80 ± 0.58 kg.

5.3 Manejo de potreros con *P. dulce*.

El área de pastoreo la integraron cuatro potreros con cuatro surcos de 20 m de largo cada uno con una separación entre ellos de 1.62 m, establecidos cada uno con 12 arbustos de *P. dulce*, en promedio 48 - 49 arbustos/potrero, los arbustos se mantenían en base a podas mensuales a una altura de 1.20 m. Los animales que integraron el T2, grupo con banco de proteína de Guamúchil se sometieron previamente al inicio del experimento a un periodo de adaptación a la ingestión de follaje de esta leguminosa durante una semana. Para ello, las cabras fueron introducidas a uno de los cuatro potreros del banco de proteína durante 1.5 horas por día. Durante el periodo de evaluación, las cabras del T2 se manejaron dentro del banco de proteína bajo un sistema de pastoreo rotativo, introduciendo al rebaño durante dos horas diarias por siete días en cada uno de los potreros. Mediante este sistema se dio oportunidad que se produjeran los rebrotes y la

cobertura de hojas y tallos al 100% de los arbustos, al permitírseles un descanso de tres semanas antes de volver a ser ramoneados.

5.4 Variables de respuesta

5.4.1 Producción de leche

El registro de producción de leche se realizó desde los tres días después del parto una vez que ya no existía presencia de calostro, al mismo tiempo que los cabritos fueron separados de manera definitiva de las madres. El muestreo para estimar producción de leche duró 120 días. Las cabras fueron ordeñadas manualmente, todos los días, por la mañana (7:00 h), para obtener el registro (kg) de producción de leche diario, mediante una báscula digital (Marca Torrey, 10000 +/- 5 g). El muestreo para estimar producción de leche duró 120 días.

Debido a que dos cabras, una de cada tratamiento evaluado, presentaron problemas sanitarios durante el periodo de muestreo, fueron removidas del experimento aproximadamente un mes después de que parieron. Quedaron, por tanto, cinco repeticiones en cada tratamiento.

5.4.2 Características físicas de la leche

Semanalmente con la leche producida por cada cabra los jueves por la mañana se tomó una muestra de 250 mL, para realizar el análisis de acidez y densidad en el Laboratorio de Zootecnia (Sección Lácteos) del CSAEGRO. La acidez se determinó por el método de titulación con NaOH 0.1 N (Pinto *et al.*, 1996), mientras que la densidad fue evaluada por medio de la utilización de un lactodensímetro graduado a 20 °C (Pinto *et al.*, 1996).

5.4.3 Características químicas de la leche

Adicionalmente los viernes por la mañana se tomó, de cada animal, una muestra de leche (50 mL) en envases de vidrio, con el propósito de determinar sus características químicas. A las muestras inmediatamente después de obtenida la leche mediante ordeña manual, se les aplicó el Sistema Lactoperoxidasa (15 mg de Percarbonato de sodio más 30 mg de Tiocianato de sodio por litro de leche) NMX-F-718-COFOCALEC-2006. Al término de la ordeña fueron transportadas inmediatamente (durante 3 horas) a la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Xochimilco (UAM-X), en una hielera que contenía los envases de vidrio herméticamente cerrados y en refrigeración (con bolsas de hielo y refrigerantes). El Sistema Lactoperoxidasa es un sistema natural que sirve para eliminar las bacterias presentes en los fluidos biológicos (leche, saliva, etc.), y consiste en la oxidación de los iones tiocianato por la acción de la enzima lactoperoxidasa en presencia de peróxido de hidrógeno, y la consecuente acción de dichos iones oxidados sobre los grupos de sulfidrilo libres, inactivando varias enzimas vitales para el metabolismo bacteriano, disminuyendo la capacidad reproductora de las bacterias, retardando, por lo tanto, el deterioro de la leche cruda en un periodo de entre 8-120 horas, dependiendo de la calidad inicial y la temperatura (Ludeña *et al.*, 2006; Zapico, 1993). El análisis de la composición química de la leche se realizó en el Laboratorio de Lácteos de la UAM-X mediante un espectrofotómetro infrarrojo (Milko-scan 133B, Foss Electric, Hillerod, Dinamarca). Se retiró de la hielera la muestra de 50 mL, y una vez homogenizada, se colocó en baño de agua hasta alcanzar una temperatura de 40 °C. La muestra se introdujo en el aparato Milkoscan para la determinación del porcentaje de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y sólidos no grasos. Se analizó por duplicado cada muestra, sin rebasar una diferencia de más de 0.02% de grasa, en caso contrario se realizó un tercer análisis.

5.4.4 Perfil de ácidos grasos

Además, quincenalmente de cada cabra se obtuvo una muestra de 550 mL de leche en envases de vidrio para la extracción de grasa. Las muestras fueron transportadas a la UAM-X, en una hielera que contenía los envases de vidrio herméticamente cerrados y en refrigeración, utilizando el procedimiento descrito anteriormente, además de que también se aplicó el Sistema Lactoperoxidasa, al momento de tomar las muestras. Esta muestra se preparó de la siguiente manera: primero se realizó la extracción de grasa, posteriormente se realizó la derivatización de ácidos grasos, para que finalmente se realizará el análisis del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases con detector de ionización de flama. Se determinó el Índice de aterogenicidad (IA) utilizando la fórmula descrita por Ulbricht y Southgate (1991), citada por Tsiplakou *et al.* (2010).

$$IA = (C12:0 + 4 * C14:0 + C16:0) / (AGMI + AGPI)$$

5.4.4.1 Extracción de grasa

La extracción de grasa se realizó en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la UAM-X, para ello se colocaron 250 mL de cada muestra de leche en un matraz volumétrico de 500 mL y se adicionaron 250 mL de una solución detergente (50 g de hexametáfosfato de sodio <grado comercial> y 24 mL de Tritón X-100 <grado químicamente puro, Bio-Rad> disueltos en un litro de agua). El matraz se agitó vigorosamente durante 20 segundos y se colocó en un baño de agua a 90 °C, hasta lograr una clara separación de la materia grasa en el cuello del matraz. La grasa se extrajo con una pipeta Pasteur y se filtró a 50 °C a través de papel filtro Whatman #2 de 15 cm de diámetro, utilizando sulfato de sodio anhidro. La grasa purificada proveniente de cada muestra se conservó en tubos de ensayo de vidrio almacenados a -20 °C (Schettino *et al.*, 2011), para la posterior determinación de su perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la UAM-X.

5.4.4.2 Derivatización de ácidos grasos

La metilación de los ácidos grasos se hizo por el método del ISO 15885 IDF 184 2002. Se pesaron 25 mg de grasa láctea en un tubo Eppendorf y se adicionaron 200 μ L de n- hexano más 50 μ L de una solución de hidróxido de potasio en metanol 2 N (0.5 g/5 mL), se agitó en vortex durante un minuto y se dejó reposar en un baño de hielo para evitar pérdida de los ácidos grasos saturados. Se adicionaron 0.13 g de hidrogeno sulfonato de sodio, se resuspendió en vortex durante 10 segundos para proceder a centrifugar a 14 000 RPM durante 5 minutos en una microcentrifuga de tubo Eppendorf, se tomaron 100 μ L del sobrenadante y se vertieron a un vial ámbar de 2 mL y a este se le adicionaron 400 μ L de n- hexano agitando de nuevo en vortex durante 10 segundos, para proceder a su inyección al cromatógrafo de gases. Se utilizó un estándar de Supelco 37 Component FAME Mix analytical standard (ésteres metílicos de ácidos grasos, FAME, por sus siglas en inglés) para posteriormente inyectar 1 μ L de las muestras en el cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama.

5.4.4.3 Condiciones cromatográficas

Se utilizó un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama, Shimadzu GC-2010 Plus, utilizando una columna capilar de Supelco (SPTM2560, Fused Silica, Cat. No. 24056) de 100m, 0.25 mm ID y 0.2 μ m DF, con las siguientes condiciones de operación: la temperatura del horno a 140 °C, temperatura del detector a 270 °C y temperatura del inyector a 250 °C. Se utilizó el siguiente programa de temperaturas: T1= 140 °C que se mantuvo durante cinco minutos, después con incremento de 5 °C/minuto hasta T2= 195 °C, manteniéndola durante un minuto, elevando 6 °C/minuto hasta llegar a T3= 220 °C manteniéndola por 20 minutos para luego incrementar 5 °C/minuto hasta llegar a T4= 240 °C durante 5 min, acumulándose un tiempo total de 50.17 minutos. Se utilizó como gas acarreador nitrógeno a una presión de 32.5 psi y un flujo de 10

mL/minuto, modo de inyección Split. El registro e integración de los picos cromatográficos se realizó mediante el software Shimadzu GCsolution Chromatography Data System Version 2.4. Se inyectó 1 µL del estándar de Supelco 37 Component FAME Mix analytical standard de 100 mg con número de catálogo 18919-1AMP, al inicio de cada corrida y cada 5 muestras; además de inyecciones de hexano, como solvente, para asegurar la limpieza de la columna cromatográfica.

5.4.5 Detección y cuantificación de Ácido Linoleico Conjugado (ALC)

Se utilizó un equipo HPLC marca Hitachi modelo Elite La Chrom, equipado con detector UV/Vis, utilizando una longitud de onda a 233 nm. La columna utilizada fue de acero inoxidable con 4.6 mm de diámetro interno x 250 mm de longitud y tamaño de partícula de 5 µm (ChromoSpher 5 lipid column, Varian Chrompack), utilizando el software EZChrom Elite-Enterprise para el registro e integración de los picos.

Se acondicionó la columna con una fase móvil de hexano-acetonitrilo (99:1 v/v) a un flujo de 1 mL/min durante 2 horas con agitación constante. La fase móvil para la separación del ALC fue de hexano-acetonitrilo (99.9:0.1 v/v), se operó isocráticamente a un flujo de 1 mL/minuto, permitiendo estabilizar el equipo con estas condiciones durante 30 minutos antes de la inyección. El volumen de inyección fue de 30 µL, con un tiempo de corrida de 50 minutos. Para la identificación de los picos se utilizó el estándar Linoleic acid, conjugated methyl ester (Sigma No. Cat.O5632-250mg)

5.5 Estimación del consumo de materia seca

La estimación de consumo de materia seca del banco de proteína se realizó por medio de la diferencia de peso de la biomasa de forraje disponible (materia seca) presente antes de la introducción de los animales al potrero, y el forraje residual después de que éstos salían del potrero (7 días de ocupación). Se protegió con

mallas de alambre un arbusto antes de que los animales entraran al potrero, y se deshojó por completo 7 días después, una vez que el rebaño experimental ya había consumido el forraje de ese potrero; al momento de remover a los animales del potrero, también se deshojó un arbusto contiguo que sí fue ramoneado (forraje anterior al pastoreo) y por diferencia del material vegetativo (peso de las hojas) presente en estos arbustos, y la posterior deshidratación de una muestra representativa de hojas de cada arbusto en estufa de aire forzado mantenida a 55° C, hasta peso constante, se estimó el consumo de materia seca (Herrero *et al.*, 2001). Una desventaja de esta técnica consiste en que la precisión depende de las estimaciones correctas de la masa de forraje y su acumulación durante el período de pastoreo, por tanto, es útil para sistemas con periodos de pastoreo relativamente cortos y presiones de pastoreo altas (Mejis *et al.*, 1982), similares a las condiciones de la presente investigación. Como se indicó anteriormente las muestras se pesaron en una báscula de plataforma Torrey con capacidad de 10 kg +/- 0.005, inmediatamente después de ser colectadas, y enseguida se colocaron en bolsas de papel que fueron sometidas a secado en estufa de aire forzado a 55 ° C; se registró el nuevo peso y se calculó el porcentaje de humedad y materia seca del material vegetativo. Las muestras se conservaron en bolsas de papel para su posterior análisis en la etapa de laboratorio.

5.6 Composición química nutrimental del forraje

En el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM a las muestras de forraje (hojas de Guamúchil, ensilado de maíz) y concentrado obtenidas se les realizaron las siguientes determinaciones de acuerdo con los métodos establecidos por la A.O.A.C. (1990): porcentaje de humedad (% Hum) (método 930.04), proteína bruta (PB) por el método de Kjeldahl (N x 6.25) (método 955.04) y cenizas (Cen) (por calcinación a 550 ° C) (método 930.05). Las determinaciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se realizaron de acuerdo con el método de Van Soest *et al.* (1991) modificado por

Waldern, las de fracciones de proteína (A, B1, B2, B3 y C), según las características del sistema de carbohidratos y proteína (CNCPS, por sus siglas en inglés, propuesto por de la Universidad de Cornell) basado en las determinaciones de Krishnamoorthy *et al.* (1982), se determinó el % de proteína insoluble (%PINS); el % de proteína soluble verdadera (% PSV); el % de proteína en el residuo de la FDN (% PBFDN) y el % de proteína en el residuo de la FDA (% PBFDA), los análisis se hicieron por duplicado, con los resultados en función al protocolo indicado por Tylutki *et al.* (2008) la cuantificación de las fracciones de proteína se realizó en la forma siguiente:

- % Fracción A = % PB - % PINS – % PSV.
- % Fracción B1 = % PSV.
- % Fracción B2 = % PINS - % PBFDN
- % Fracción B3 = % PBFDN - % PBFDA.
- % Fracción C = % PBFDA

5.7 Análisis estadístico

La comparación de la producción, características físico-químicas y perfil de ácidos grasos de las muestras de leche obtenidas en el T1 y T2 (grupo testigo y grupo complementado con *Pithecellobium dulce*) se realizó mediante el modelo de medidas repetidas en el tiempo, utilizando el procedimiento de repeated time incluido en el programa estadístico SAS (2002).

Modelo estadístico:

Donde:

Características físicoquímicas y perfil de ácidos grasos en el -ésimo muestreo con el -ésimo tratamiento, con interacción del -ésimo muestreo y -ésimo tratamiento y el error experimental en el -ésimo muestreo, -ésimo tratamiento y -ésima cabra

- = media poblacional
- = efecto del tratamiento
- = error asociado a las unidades experimentales
- = efecto del muestreo
 - = interacción tratamiento * muestreo
- = error asociado a dichos periodos

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Composición química nutrimental del forraje

Los resultados de la composición química proximal y fracciones de la fibra de los ingredientes utilizados en la alimentación de las cabras, se muestran en el Cuadro 8. El *P. dulce* presentó una mayor cantidad de proteína bruta (PB) (18.25%) en comparación con el resto de los ingredientes. Para que un árbol o arbusto pueda ser calificado como forrajero debe reunir ventajas de tipo nutricional, productivo y versatilidad agronómica, sobre otros forrajes utilizados tradicionalmente. En tal sentido, el *P. dulce* presentó un valor superior al 12% de PB, el cual es el nivel recomendado para la elección de especies leñosas forrajeras para la alimentación de rumiantes ya que aportan los niveles de nitrógeno que éstos requieren (Pinto *et al.*, 2010; Milera, 2006), por lo que se puede considerar como una importante fuente de proteína vegetal.

Así mismo, Benavides (1998) menciona que el contenido en PB del follaje de numerosas especies de árboles y arbustos generalmente duplica o triplica al de los pastos; llegando a compararse incluso con el de los concentrados comerciales, lo cual coincide con lo obtenido en el presente estudio ya que el contenido de PB del *P. dulce* fue mucho mayor al encontrado en el ensilado (6.60%) e inclusive en el concentrado (12.47%).

En cuanto al contenido de fracciones de la pared celular (FDN y FDA), reportes en la literatura señalan que altas concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) en forrajes se asocia con un menor consumo, y alta concentración de fibra detergente ácido (FDA) se asocia con baja digestibilidad ruminal (El Hassan *et al.*, 2000). Sin embargo, los valores promedio de fracciones de la fibra contenidas en el *P. dulce* fueron relativamente bajos (40% FDN y 30% FDA) con relación a los niveles

observados en el ensilado, ya que este último tenía un grado de lignificación avanzado. En este aspecto, las especies arbustivas y arbóreas presentan una importante ventaja sobre las gramíneas ya que lignifican principalmente en los tallos y no tanto en las hojas, como lo hacen la gran mayoría de las gramíneas utilizadas para el pastoreo. Por lo tanto, hay una mayor estabilidad en la calidad nutricional del forraje de las especies leñosas a través del tiempo, confirmando lo indicado por Botero y Russo (1998) quienes señalan que las gramíneas manifiestan mayor cantidad de FDA y mayor grado de lignificación de sus hojas que las leguminosas (Lorenzana, 2011).

En cuanto al contenido de EE el mayor valor fue registrado en los forrajes de la presente investigación, y fue similar entre ensilado de maíz y hojas de la leguminosa *P. dulce*, no obstante debe tenerse presente que buena parte de la materia orgánica soluble en éter no corresponde a lípidos sino a pigmentos que no aportan energía, en cambio el contenido de EE en el concentrado aunque es menor, éste si corresponde en su mayoría al contenido de triacilglicéridos del alimento (Juárez y Montero, 2014).

En lo que se refiere al contenido de cenizas que representa la proporción de material inorgánico y la mayor fuente de elementos minerales para el ganado, una concentración más elevada se registró en el concentrado. El contenido encontrado en *P. dulce* en la presente investigación coincide con el 9.5% reportado por Nouel *et al.* (2012), pero mayor a lo señalado por Delgado (2007) y García y Medina (2006), de 7.8% y 6.46%, respectivamente. Para el ensilado de maíz la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2004), señala que la cantidad de cenizas de un ensilado de maíz con 20 a 25% de MS es de 6.26%, lo cual coincide con lo obtenido en el presente estudio.

Cuadro 8. Composición bromatológica de los ingredientes utilizados en el experimento

Ingrediente	% MS	% PB*	% CEN*	% EE*	% FDN*	% FDA*	
Concentrado	93.60	12.47	19.86	3.91	52.49	24.78	
Ensilado	1	23.58	6.48	6.48	7.19	72.37	36.55
	2	27.16	6.28	5.57	7.66	61.33	33.98
	3	26.32	6.74	5.59	7.72	64.21	33.28
	4	26.48	6.91	5.29	7.52	68.53	35.55
Guamúchil	Sem 2	30.05	14.31	10.06	8.61	34.89	23.45
	Sem 4	30.92	17.87	9.66	9.41	44.11	32.87
	Sem 6	28.89	17.07	7.73	9.04	39.77	28.94
	Sem 8	29.15	19.95	10.23	6.71	39.08	29.83
	Sem 10	28.32	20.74	8.24	9.50	36.90	24.90
	Sem 12	29.34	17.78	10.64	8.55	49.47	38.21
	Sem 14	28.46	19.69	12.56	6.80	36.39	24.53
	Sem 16	29.45	18.59	8.96	5.78	42.30	28.63

*Expresadas en Base Seca (BS)
 MS=Materia Seca, EE=Extracto Etéreo, CEN=Cenizas, PB=Proteína Bruta
 FDN=Fibra Detergente Neutra, FDA=Fibra Detergente Acida.

El contenido de PB de *P. dulce* resultó mayor que el reportado por Virgüez *et al.* (2004) quienes mencionan un 11.3% de PB en la época seca y 13.0 % de PB en época semi-seca, así como el 13.2% de PB indicado por Nouel *et al.* (2012), ambos estudios hechos en Venezuela. Sin embargo, este porcentaje es ligeramente menor a los obtenidos en estudios realizados en Chiapas por Pinto *et al.* (2010) y por Delgado (2007) en Michoacán, que indican 24.0 % y 19.5 % PB respectivamente. En el mismo sentido los resultados obtenidos por Palma (2005) en un estudio realizado en Colima, reportan menor porcentaje de PB (16.5 %), pero mayor cantidad de MS, 45.3 %, lo que puede estar asociado a que el

contenido de nutrimentos se ve influenciado por la edad de la planta. En cambio en el ensilado de maíz la FEDNA (2004) reporta 9.2 % de PB, que es mayor al obtenido en el presente estudio.

En relación al contenido de las fracciones de pared celular los valores de FDN registrados para el *P. dulce* en el presente estudio (Cuadro 8) son semejantes a los informados por Nouel *et al.* (2012; 40.0% FDN, 30.0% FDA), similares también a los reportados por Pinto *et al.* (2010; 37.8 % FDN, 26.0 % FDA). Contrario a lo anterior, Delgado (2007) obtuvo valores menores para ambas fracciones, reportando 15.0% FDA y 31.8% FDN. Mientras que García y Medina (2006) encontraron un valor semejante para FDN (43.35%), pero diferente para FDA (22.71%). Los resultados de la presente y otras investigaciones confirman que la composición química del follaje de árboles y arbustos forrajeros, como *P. dulce* cambia de una región a otra, e inclusive de una estación a otra dentro de la misma región. De ahí la importancia de realizar este tipo de estudios en donde se evalúan las características de estas alternativas de alimentación en base a arbustivas de las diferentes regiones del país.

En el Cuadro 9 se muestran las fracciones de proteína de los ingredientes utilizados. Se puede observar que, aunque la concentración de PB es mayor en el *P. dulce* en relación al concentrado, algunas fracciones de la proteína como la A y la B1, tienen valores muy similares entre ambos insumos. Sin embargo, las mayores diferencias se observan en las fracciones B2 y B3 siendo más altas en el *P. dulce*. Estas fracciones representan una mejor calidad de la proteína ya que la fracción B2 corresponde a la proteína verdadera poco soluble no ligada a la FDN la cual se utiliza lentamente en el rumen entre el 70 y 85%; el resto pasa al intestino delgado donde es completamente digerida. La B3 es la fracción de la proteína protegida (blindada por la FDN de la dieta) de mayor eficiencia para el rumiante ya que es proteína verdadera que en el rumen se utiliza sólo el 10-25 % y el resto pasa al intestino delgado donde las proteasas intestinales digieren el

80% de esta proteína (Tylutki *et al.*, 2008). Sin embargo, otro aspecto importante a destacar es la mayor cantidad de fracción C encontrada en el *P. dulce* lo cual implicaría una desventaja ya que corresponde al nitrógeno verdadero ligado a la FDA (lignocelulosa ó lignocarbhidratos), que no es digestible por los rumiantes (Chamorro, 2002). Una explicación de esta mayor proporción de proteína indigestible en el *Pithecellobium* puede ser su unión a taninos condensados que de acuerdo con Juárez *et al.*, 2002 y García y Medina, 2006, están presentes en mayor cantidad en esta leguminosa que en el ensilado de maíz o en los ingredientes de origen vegetal que integran el concentrado. Sin embargo, cuando el contenido de las fracciones de proteína se expresa como porcentaje de la proteína total presente en cada ingrediente, se observó que la fracción A representó: 26.7 %, 43.5 % y 17.5 %; la fracción B1: 1.9 %, 4.9 % y 1.0 %; la fracción B2: 57.8 %, 35.6 % y 57.3 %; la fracción B3: 13.0 %, 8.0 % y 13.1 %; la fracción C: 0.4 %, 8.1 % y 11.1 %; para concentrado, ensilado de maíz y *Pithecellobium dulce*, respectivamente. Por tanto, la comparación de las fracciones de proteína entre ingredientes debe hacerse utilizando su cantidad como proporción de la proteína total. En lo que respecta al ensilado de maíz, la fracción A fue superior a la fracción B2, mientras que la fracción B1 fue superior en este ingrediente comparado con el porcentaje registrado en concentrado y en *P. dulce*.

Cuadro 9. Fracciones de la proteína (g/100g MS) de los ingredientes utilizados en el experimento

		PB	A	B			C
				B1	B2	B3	
Concentrado		12.47	3.35	0.24	7.21	1.62	0.05
Ensilado	1	6.48	1.75	0.46	2.59	0.92	0.76
	2	6.28	2.93	0.31	2.23	0.33	0.49
	3	6.74	3.43	0.26	2.45	0.23	0.37
	4	6.91	3.41	0.26	2.10	0.63	0.50
Guamúchil	Sem 2	14.31	1.62	0.31	8.90	1.62	1.86
	Sem 4	17.87	3.49	0.08	10.19	1.77	2.34
	Sem 6	17.07	2.68	0.13	10.15	1.62	2.49
	Sem 8	19.95	4.99	0.17	11.13	1.80	1.86
	Sem 10	20.74	4.29	0.26	12.53	1.98	1.68
	Sem 12	17.78	3.83	0.13	8.91	3.06	1.86
	Sem 14	19.69	3.66	0.19	10.91	3.33	1.59
Sem 16	18.59	1.48	0.21	10.71	3.97	2.22	

Expresadas en Base Seca (BS)

A=nitrógeno no proteico, B1=proteína verdadera soluble rápidamente degradable en rumen, B2=proteína verdadera soluble lentamente degradable en rumen, B3= proteína verdadera insoluble ligada a la fibra detergente neutro, equivale a proteína protegida de la fermentación ruminal (porque está blindada por la FDN) pero se digiere en intestino, C=proteína insoluble indigestible ligada a la fibra detergente ácido.

En el Cuadro 10 se muestra el perfil de ácidos grasos de los ingredientes utilizados. *P. dulce* fue particularmente rico en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), que comprendían el 66.4 % del total de ácidos grasos, el concentrado y el ensilado registraron una concentración de 36.2 % y 36.5 %, respectivamente, sin embargo, la proporción de AGPI en estos fue prácticamente un 50 % menor de la obtenida en *P. dulce*.

Cuadro 10. Perfil de ácidos grasos (g/100g de AG) en los ingredientes utilizados*

	Concentrado	<i>P. dulce</i>	Ensilado
Ácidos grasos			
Σ AGS	29.61	28.00	41.74
Σ AGMI	34.24	5.62	21.72
Σ AGPI	36.15	66.38	36.54

*Expresadas en Base Seca (BS)

AGS= Ácidos Grasos Saturados, AGMI= Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGPI= Ácidos Grasos Poliinsaturados.

En cuanto al perfil de ácidos grasos, los resultados coinciden con lo reportado por Renna *et al.* (2012b) quienes mencionan que la proporción mayoritaria del total de ácidos grasos en pastos frescos está dada por los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) seguida de los ácidos grasos saturados (AGS) y finalmente los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), lo cual coincide con los valores obtenidos tanto para *P. dulce* como para el ensilado en el presente estudio. No es así para el ensilado de maíz, en el que es mayor la proporción de AGS, seguida por la concentración de AGPI; representando los AGMI en el ensilado la menor cantidad de la grasa del ingrediente. En cambio en el concentrado en primer lugar está el porcentaje de AGPI, seguido de cerca por la cantidad de AGMI y por último el porcentaje de AGS. Además, seguramente por los granos y subproductos que son utilizados en un alimento de este tipo la proporción de los distintos tipos de AG fue similar, a diferencia de los forrajes frescos.

En el Cuadro 11 se muestra el Consumo de Materia Seca (CMS) de las cabras en ambos tratamientos así como los aportes tanto de PB como de Energía Metabolizable (EM) de ambas dietas. En el anexo 1 se encuentra la estimación del CMS de *P. dulce* en el banco de proteína cuyas cantidades promedio se incluyen en la evaluación de las dietas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Consumo y evaluación de las dietas utilizadas en el experimento

Ingrediente	Consumo		Aporte			
	kg BH	kg MS	%PB	EM Mcal/kg	kg PB	EM Mcal/día
T1						
Concentrado	0.650	0.608	4.479	0.923	0.076	1.564
Ensilado de maíz	4.000	1.035	4.036	1.583	0.068	2.682
Premezcla mineral	0.050	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
Total		1.694	8.515	2.506	0.144	4.245
T2						
<i>P. dulce</i> en pastoreo	0.362	0.066	0.903	0.124	0.012	0.165
<i>P. dulce</i> en corral	1.000	0.183	2.496	0.342	0.033	0.456
Ensilado de maíz	4.000	1.036	5.126	2.011	0.068	2.683
Premezcla mineral	0.050	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
Total		1.335	8.524	2.476	0.114	3.305

Las dietas tuvieron prácticamente el mismo porcentaje de PB (8.5) y Mcal EM/kg (2.5), sin embargo, el CMS fue diferente entre los dos tratamientos siendo mayor en el T1, por lo tanto, los consumos de kg de PB y Mcal EM/día también fueron poco más elevados en este tratamiento. De acuerdo con el NRC (2007) el requerimiento de PB para cabras de 50 kg en lactancia con una producción de leche entre 0.88 y 1.61 kg/día es de 0.109 kg PB, que es menor a lo aportado por las dietas en el presente estudio, lo cual indica que había el aporte de PB necesario para cubrir los requerimientos nutricionales de estos animales. Mientras que, de acuerdo con los requerimientos establecidos por el NRC (2007), la cantidad de EM requerida es de 3.70 Mcal/día, esta cantidad es menor a la aportada por el T1, y mayor a la aportada por el T2. Esto indica que los animales del T1 consumieron suficiente cantidad de EM, sin embargo, los que recibieron el T2 tuvieron un déficit de EM.

6.2 Producción y características físico – químicas de la leche

Al analizar la cantidad de leche producida, se observa que no existió diferencia ($P>0.05$) entre ambos tratamientos. En la Figura 7, se muestra gráficamente la producción diaria de leche, durante los 120 días de prueba ($n = 10$). Como se puede observar se mantiene una producción muy similar entre ambos tratamientos a lo largo del tiempo.

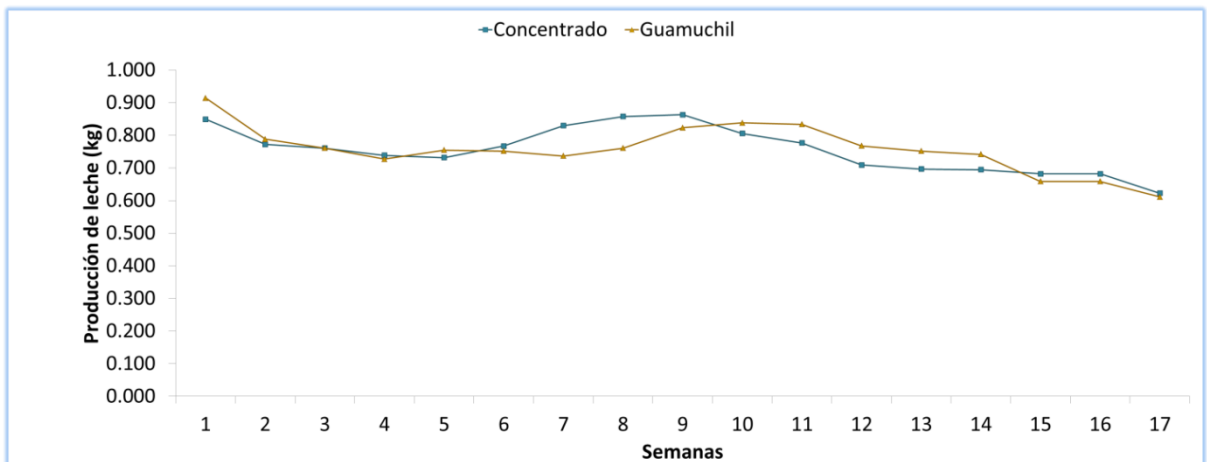


Figura 7. Producción de leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y *Pithecellobium dulce* (T2) como fuente de proteína.

La producción media de leche de 756 g fue ligeramente inferior a los 904 g/cabra/día obtenidos por Costa *et al.* (2002), en cabras también mestizas en una región semiárida y utilizando *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* en la alimentación; al igual que la producción registrada por Herrera *et al.* (2009), de 880 g/cabra/día utilizando Morera (*Morus alba*) en la alimentación de cabras en lactación, siendo estas tres un recurso arbóreo para la alimentación de rumiantes,

con un porcentaje de PB muy similar al *P. dulce*. Al respecto, Milera (2006) menciona que el uso de *L. leucocephala* como banco de proteína en la alimentación de bovinos lecheros incrementó significativamente la producción (10.1 vs 9.6 litros/vaca/día), además de que repercute en ahorros en el uso de concentrado al compararlo con el testigo que solo disponía de la gramínea *Panicum máximum*. En el presente estudio se observó un patrón irregular en las curvas de lactancia, ya que las máximas producciones se presentaron en las semanas 1 y 9 (Figura 7). A pesar de que la literatura indica que una curva típica de lactancia en caprinos está caracterizada por una fase de ascenso y un periodo de producción máxima que generalmente se logra entre la segunda y cuarta semanas de lactancia seguido por una fase de descenso continuo. Sin embargo, varios investigadores han señalado que las fases que determinan la forma de la curva están afectadas por factores genéticos y ambientales (Ángel *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2007; Ferrando y Boza 1990). El patrón de lactancia obtenido en la presente investigación coincide con lo reportado por Sánchez *et al.* (2006) quienes mencionan que las producciones máximas ocurrieron de igual manera entre las semanas 1 y 9, posteriormente desciende paulatinamente la producción.

En el Cuadro 12 se registra el análisis estadístico de la producción y de las características físico – químicas de la leche de cabra de los tratamientos evaluados en el presente estudio. La producción y composición fueron afectadas en gran medida por el factor tiempo ($P < 0.05$), aunque solo el porcentaje de sólidos totales y acidez presentaron diferencias ($P < 0.05$) en la interacción tiempo – tratamiento. Sin embargo, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) por efecto del tratamiento. Los constituyentes de la leche de cabra presentan valores promedios compatibles con los informados en la literatura consultada (Inglingstad *et al.*, 2014; Herrera *et al.*, 2009; D'Urso *et al.*, 2008; Degen, 2007; Salvador *et al.*, 2006).

Cuadro 12. Producción y características físico-químicas de la leche de cabra

Variable	Media		ee	P > F		
	T1	T2		Tx	Periodo	Interacción
Producción	0.755	0.757	0.225	0.986	0.004	0.704
Grasa	4.415	4.180	0.011	0.451	0.035	0.202
Proteína	3.430	3.291	0.002	0.302	< 0.0001	0.116
Lactosa	4.715	4.575	0.001	0.087	0.001	0.209
ST	13.143	12.628	0.204	0.285	< 0.0001	0.030
SNG	8.700	8.456	0.003	0.165	0.075	0.466
Acidez	20.269	19.982	1.574	0.502	< 0.0001	0.011
Densidad	1.031	1.032	0.000	0.790	< 0.0001	0.783

T1 = Grupo alimentado con concentrado comercial como fuente proteica.

T2 = Grupo alimentado con *Pithecellobium dulce* como fuente proteica.

Producción = kg; Grasa, Proteína, Lactosa, Sólidos totales (ST), Sólidos no grasos (SNG) = %; Acidez = °Dornic

Tx = significancia para (s) Tratamientos; Periodo = (s) semana; Interacción = (s) Interacción periodo*tratamiento.

ee- error estándar de la media

Durante el período de lactación ocurren importantes cambios tanto en la producción de leche como en los principales componentes (% de grasa, % de proteína, % de ST y % de SNG), esto puede observarse en las Figuras 7 y 8. En las últimas semanas de muestreo se presentó un incremento del porcentaje de estos componentes, que puede deberse a un efecto de dilución, debido a que para ese momento la producción de leche empezó a disminuir, lo que indica que la leche se torna más concentrada al final de la lactación. Este es un comportamiento común, reportado por otros autores (Frau *et al.*, 2010; Keskin *et al.*, 2004).

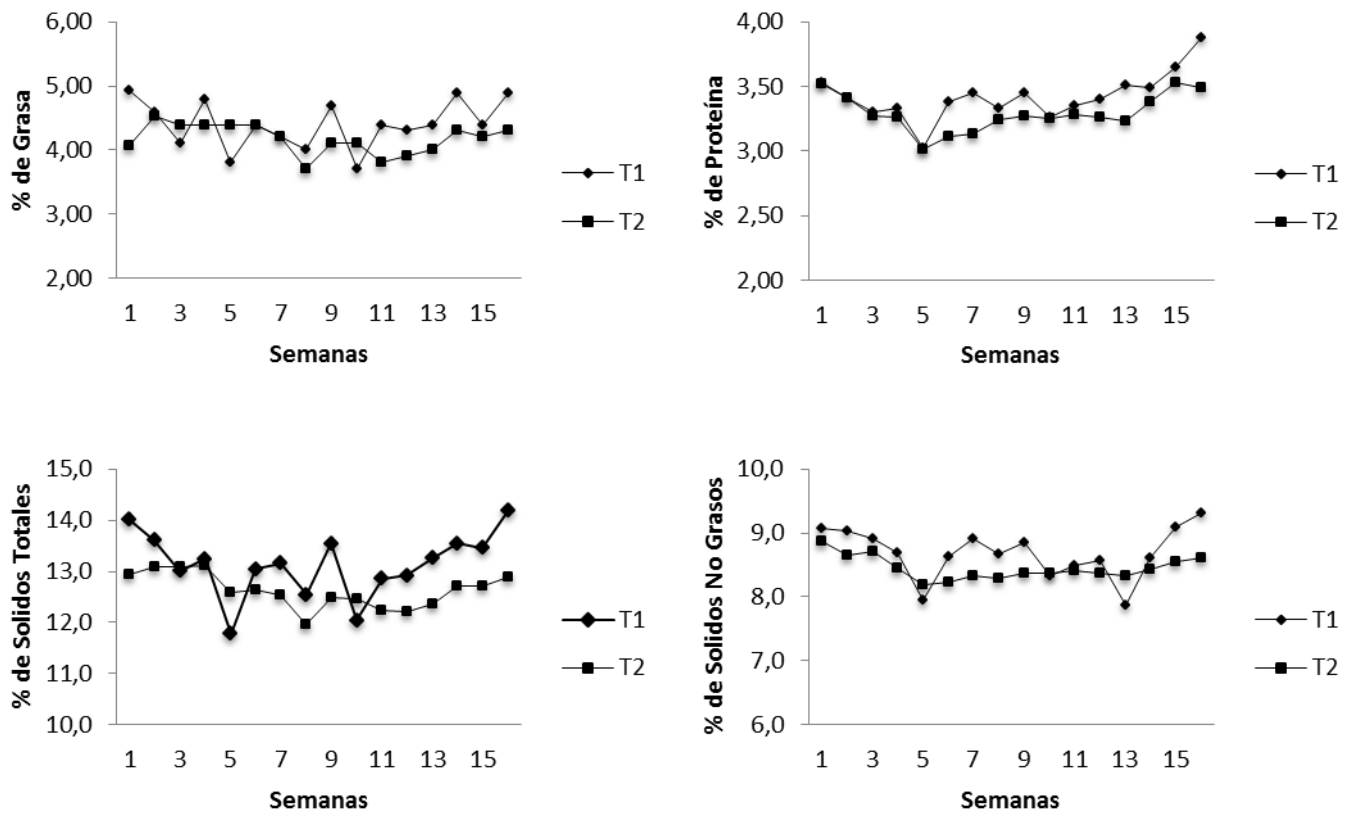


Figura 8. Contenido de Proteína, Grasa, Sólidos totales (ST) ($P < 0.05$ por efecto del tiempo) y Sólidos no grasoso (SNG) ($P > 0.05$ por efecto del tiempo), en leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y *Pithecellobium dulce* (T2) como fuente de proteína.

Costa *et al.* (2002) mencionan resultados similares a los obtenidos en la presente investigación (Cuadro 12), ya que no encontraron diferencia significativa ($P > 0.05$) entre tratamientos, al utilizar: T1 – 800 g/día/cabra de ración balanceada + pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en verde y picado, abastecido *ad libitum*; T2 – 400 g/día/cabra de ración balanceada + pasto elefante en verde y picado, abastecido *ad libitum* + heno de gliricidia (*Gliricidia sepium*) *ad libitum*; T3 – 400 g/día/cabra de ración balanceada + pasto elefante en verde y picado, abastecido *ad libitum* + heno de Leucaena (*Leucaena leucocephala*) *ad libitum*. Aunque reportan valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio tanto para grasa (3.80 %) como para proteína (3.06 %).

De igual forma Clavero y Razz (2003) no encontraron diferencias estadísticamente significativas en la producción (kg/día) de grasa, proteína y sólidos totales de la leche de cabras alimentadas con pasto Buffel + *L. leucocephala* contra pasto Buffel + concentrado, obteniendo, en términos generales, valores muy similares a los obtenidos en el presente estudio (0.84 y 0.74 kg de leche/cabra/día; 3.3 y 3.2 % de grasa; 3.06 y 3.10 % de proteína y 17.5 y 17.9 % de sólidos totales para las cabras alimentadas con Leucaena y concentrado, respectivamente). También Casamassima *et al.* (2001) reportan que no hubo diferencias en la producción, porcentaje de grasa y de proteína de la leche de ovejas manejadas en dos sistemas de producción diferentes, un grupo en corral y el otro en pastoreo. Al respecto D'Urso *et al.* (2008), similar a lo obtenido en el presente estudio mencionan que no hubo diferencias en la producción promedio de leche (kg/animal/día) entre un grupo de cabras alimentadas en corral, contra un grupo de cabras alimentadas en pastoreo; sin embargo, en el estudio de D'Urso y colaboradores (2008), a diferencia de la presente investigación, el grupo de cabras alimentadas en condiciones de pastoreo presentó una mayor producción de grasa en leche contra el grupo alimentado en estabulación (4.60 vs 3.79 %, $P < 0.01$). De igual manera, la cantidad de lactosa también presentó diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, reportando 4.67 vs 4.59 % para el grupo de estabulación y pastoreo, respectivamente. Herrera *et al.* (2009), también obtuvieron resultados diferentes a los que se registran en el presente estudio, ya que encontraron que el porcentaje de grasa (4.23), proteína (3.68), caseína (3.06), sólidos totales (12.35) y sólidos no grasos (8.12) fueron más altos en la leche de cabras alimentadas con Morera, comparada con la de cabras alimentadas solo con pasto Estrella Africana (*Cynodom nlemfluensis*). Finalmente, Morand-Fehr *et al.* (2007) en una compilación de diversos experimentos reporta que hay una diferencia en la cantidad de grasa de la leche entre animales en confinamiento y animales en pastoreo y menciona que ésta puede estar influida por diversos factores como un efecto de dilución causado por variaciones en la

producción de leche y diferentes niveles de fibra y grasa en las dietas debido a condiciones agro-climáticas.

6.3 Perfil de ácidos grasos de la leche

La materia grasa obtenida a partir de las leches de cabras en condiciones de alimentación diferente, T1 (Tratamiento testigo) y T2 (alimentación con ramoneo de *P. dulce*), se caracterizaron por tener un perfil similar de ácidos grasos (AG) (Figura 9). El número de AG registrados en cada una de las muestras de grasa láctea fue 22, identificándose en primer lugar al ácido butírico (C4) y progresivamente a los demás AG de cadenas hidrocarbonadas corta, media y larga; siendo mayoritarios cáprico (C10), mirístico (C14), palmítico (C16), esteárico (C18) y oleico (C18:1), aunque también fue importante la presencia de caproico (C6), caprílico (C8) y láurico (C12)

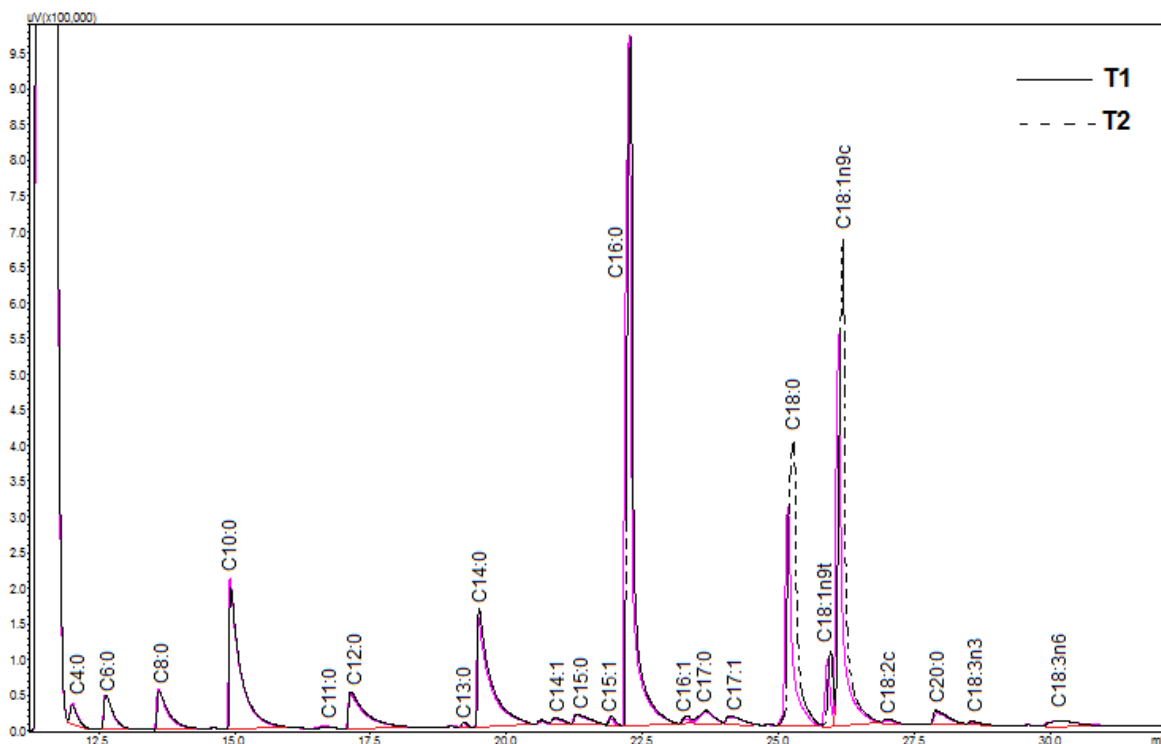


Figura 9. Cromatograma del perfil de ácidos grasos en leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y *Pithecellobium dulce* (T2) como fuente de proteína.

Estudios realizados en diferentes tiempos y partes del mundo han identificado diversos perfiles de AG presentes en grasa láctea de rumiantes (Markiewicz *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 1998). Por ejemplo, en trabajos de México, España; Brasil y Polonia se han informado entre 12 y 23 AG, con concentraciones diversas, en la leche de rumiantes (Markiewicz *et al.*, 2013; De Pellegrini *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 1998).

Sin embargo, en leche de cabra la composición de AG se ha reportado que es similar a la obtenida en el presente estudio (Cuadro 13), siendo común que los AG mayoritarios sean de cadena hidrocarbonada saturada larga, destacando el palmítico, esteárico, e insaturada el oleico y linoleico, como fue el resultado del presente estudio con leche de cabra. Sin embargo, una característica que distingue a la leche de cabra de la leche de vaca y oveja, es el alto contenido de C6, C8 y C10, causando el aroma particular de la leche de este pequeño rumiante (Cuadro 13). Además, se ha documentado que estos AG tienen un efecto positivo en la salud humana, ya que presentan actividad antimicrobiana y viral, así como disminución de depósitos de colesterol (Markiewicz *et al.*, 2013).

Cuadro 13. Niveles de ácidos grasos en grasa láctea de cabra, oveja y vaca (g/100g de AG presentes en la grasa láctea)

Ácido graso (g/100 g)	Cabra	Cabra*	Oveja	Vaca
Caproico (C6)	2.78	2.93	1.87	2.01
Caprílico (C8)	2.92	3.93	1.87	1.39
Caprico (C10)	9.59	11.1	6.63	3.03

Fuente: Markiewicz *et al.*, 2013; *: este estudio.

Los resultados de los grupos de ácidos grasos (AG), así como el índice de aterogenicidad (IA) y los AG de manera individual se reportan en los Cuadros 14 y 15 respectivamente. El perfil de ácidos grasos de la grasa láctea fue afectado

($P < 0.05$) en gran medida por el factor tiempo, solo tres AG (C18:0, C18:1n9t y C18:2) no presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la interacción tiempo – tratamiento. Sin embargo, ningún AG, ni grupo de AG presentó diferencias significativas entre tratamientos por efecto de la dieta. Estas diferencias en la interacción pueden ser atribuidas principalmente al estado de lactancia, por ejemplo, está documentado que los mayores cambios en los AG de la leche de cabras, se producen en la lactancia temprana debido principalmente a la movilización de lípidos como consecuencia de una fase de balance energético negativo en los animales (Renna *et al.*, 2012b; Osmari *et al.*, 2011). Otro factor importante es la variación en el perfil de ácidos grasos de los forrajes (*P. dulce*) debido a los días de rebrote, climatología y cantidad de agua, entre otros factores.

Cuadro 14. Efectos medios del *Pithecellobium dulce* en la dieta del animal sobre el contenido (g/100 g de AG) de grupos de ácidos grasos en la leche de cabra

Variable	Tratamiento		P<**		
	1	2	Dieta	Semana	Interacción
AGS	72.85	72.35	0.736	0.069	0.006
AGMI	22.51	23.07	0.679	0.039	0.033
AGPI	1.43	1.31	0.153	<0.001	0.012
IA*	2.77	2.59	0.480	< 0.001	<0.001

AGS= Ácidos Grasos Saturados, AGMI= Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGPI= Ácidos Grasos Poliinsaturados.

*. Índice de Aterogenicidad (IA) = (C12:0 + 4*C14:0 + C16:0)/(AGMI +AGPI) Descrito por Ulbricht y Southgate (1991), citado por Tsiplakou *et al.* (2010)

** : Probabilidad de significancia atribuible a los efectos para el *Pithecellobium dulce* en la dieta, tiempo en la dieta (semana) y su interacción.

Similar a los resultados obtenidos en el presente estudio, Laurence *et al.* (2009) no registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) al comparar los ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la leche de cabras alimentadas con heno de grama nativa contra ensilado de maíz. En forma similar, Tsiplakou *et al.* (2010) al

comparar un sistema de producción convencional contra un sistema de producción orgánico, no obtuvieron diferencia en el contenido de estos grupos de ácidos grasos en la leche de cabras. De igual manera, Osmani *et al.* (2011) no encontraron diferencias significativas en las concentraciones de ácidos grasos de cadena media y larga al comparar tres dietas a base de sorgo, maíz y heno de Morera, en la alimentación de cabras en lactación, sin embargo, obtuvieron diferencia ($P < 0.05$) en el IA, contrario a lo obtenido en el presente estudio, aquellos investigadores reportaron mayor IA para la leche de cabras alimentadas con maíz en comparación con las que se alimentaban con heno de Morera (2.81 y 2.23 % respectivamente). Difiriendo de los resultados del presente estudio, D'Urso *et al.* (2008) también reportan diferencia ($P < 0.05$) entre un grupo de cabras alimentadas en corral, contra un grupo de cabras alimentadas en pastoreo, obteniendo mayor cantidad de AGMI (19.07 vs 20.32 g/100g de AG) y AGPI (3.67 vs 4.0 g/100g de AG) para las cabras que se encontraban en pastoreo. Al respecto Renna *et al.* (2012a) señalan que al disminuir la cantidad de forraje fresco (30% vs 10%) en la dieta de cabras lecheras, se incrementa la cantidad de AGS (67.60 vs 72.26 g/100g de AG) y el IA (2.28 vs 3.52) y a su vez disminuyen los porcentajes de AGMI (27.63 vs 23.93 g/100g de AG) y AGPI (4.73 vs 3.78 g/100g de AG), los cuales son capaces de ejercer múltiples beneficios a la salud humana (Gutiérrez *et al.*, 2012).

La composición de la grasa láctea también se ve afectada por la etapa de lactación (Figura 10). Los AGMI, AGPI e IA presentaron cambios ($P < 0.05$) según la semana de la lactación (Cuadro 14). En relación a los AGS, Strzalkowska *et al.* (2009) reportan que éstos disminuyen conforme la lactación avanza, mientras que Escolar (2007) menciona que tienen una tendencia de aumento progresivo desde el inicio al final de la lactación, sin embargo, en la presente investigación no se encontraron estas diferencias a lo largo del estudio. En el caso de los AGMI Escolar (2007) menciona que hay un descenso de éstos conforme la lactación avanza, lo cual coincide con la presente investigación. Los AGPI son, debido a su

efecto favorable sobre la salud de los consumidores, el grupo más valioso de ácidos grasos. En la grasa láctea examinada en la presente investigación, el contenido de AGPI incrementó significativamente conforme la lactancia avanzó, esto coincide con lo reportado por Strzalkowska *et al.* (2009) quienes obtuvieron valores de 2.82 % al inicio de la lactancia y obteniendo su valor máximo (4.73 %) al final de la misma.

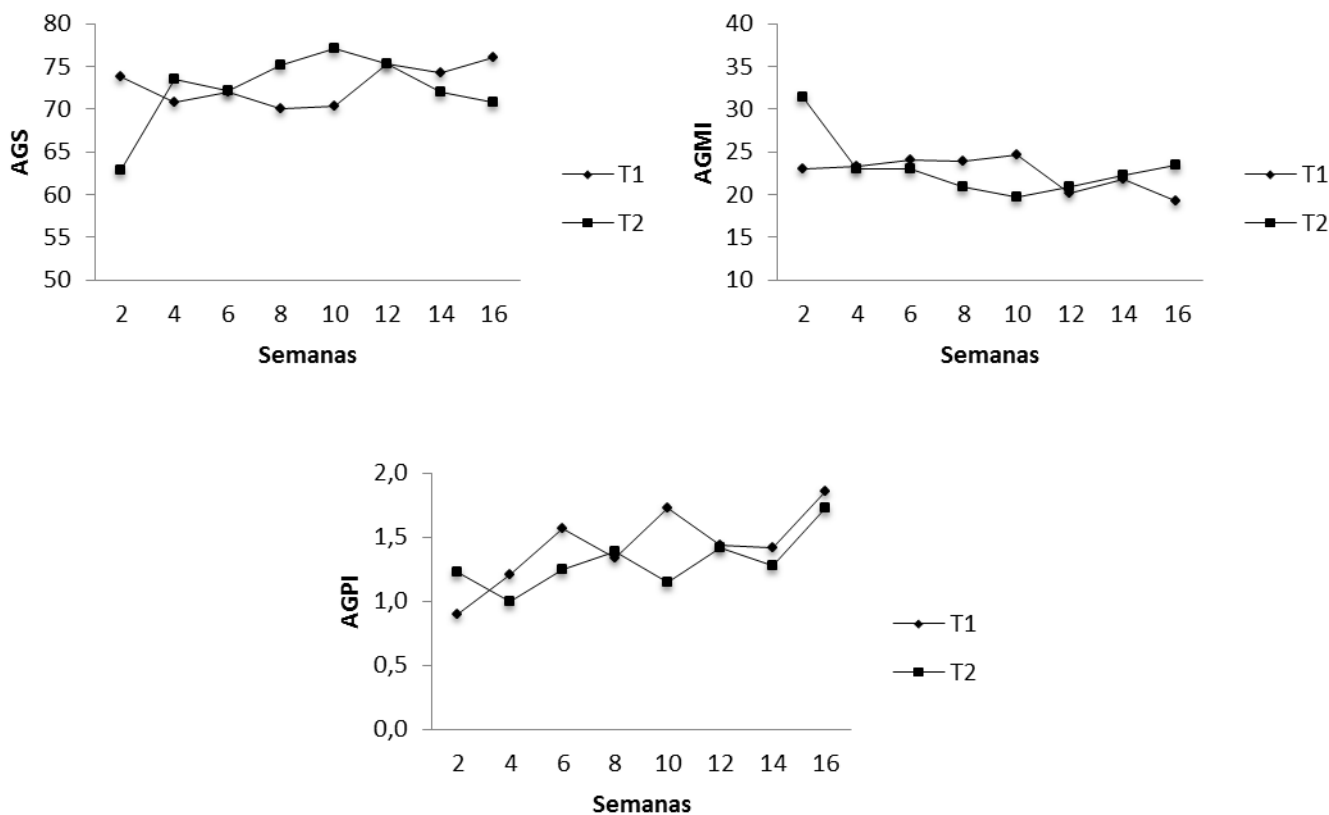


Figura 10. Contenido de Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ($P < 0.05$ por efecto del tiempo) y Ácidos grasos saturados (AGS) ($P > 0.05$ por efecto del tiempo) g/100g de grasa de la leche de cabras mestizas alimentadas con concentrado comercial (T1) y *Pithecellobium dulce* (T2) como fuente de proteína.

En el Cuadro 15 se muestra el análisis estadístico y los valores de AG mayoritarios presentes en la grasa láctea correspondientes a los tratamientos 1 y 2. Los ácidos grasos de la leche de cabra de la presente investigación registran

valores promedios compatibles con la literatura consultada (Tudisco *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2009; D'Urso *et al.*, 2008; Tsiplakou *et al.*, 2008; Tsiplakou y Zervas 2008;).

Cuadro 15. Efectos medios del *Pithecellobium dulce* en la dieta del animal sobre el contenido (g/100 g de AG) de ácidos grasos en la leche de cabra

Variable	Tratamiento		Gran media	P<**		
	1	2		Dieta	Semana	Interacción
C4:0	2.14	2.35	2.25	0.329	<0.001	0.004
C6:0	2.88	2.98	2.93	0.523	0.149	<0.001
C8:0	3.36	3.42	3.39	0.725	0.881	<0.001
C10:0	1.13	1.10	1.12	0.718	0.143	<0.001
C12:0	4.00	3.89	3.95	0.693	0.001	0.005
C14:0	8.59	8.12	8.36	0.369	<0.001	0.001
C15:0	0.51	0.50	0.50	0.556	<0.001	0.003
C15:1	0.35	0.36	0.35	0.527	0.031	0.014
C16:0	26.09	24.43	25.26	0.171	<0.001	<0.001
C16:1	0.19	0.19	0.19	0.658	0.038	0.001
C17:0	0.29	0.29	0.29	0.767	0.029	<0.001
C17:1	0.48	0.50	0.49	0.499	<0.001	<0.001
C18:0	11.59	13.22	12.41	0.133	0.034	0.377
C18:1n9t	3.19	3.02	3.11	0.744	0.688	0.064
C18:1n9c	18.31	19.00	18.65	0.492	<0.001	<0.001
C18:2	0.27	0.25	0.26	0.488	<0.001	0.057
C20:0	2.15	2.12	2.13	0.885	<0.001	<0.001
C18:3	0.34	0.33	0.33	0.475	0.047	0.023
ALC*	0.82	0.74	0.78	0.276	<0.001	0.003

*: Ácido linoleico conjugado.

** : Probabilidad de significancia atribuible a los efectos para el *Pithecellobium dulce* en la dieta, tiempo en la dieta (semana) y su interacción.

Aunque la distribución de los valores no permitió identificar ($P > 0.05$) diferencia entre los AG de los dos tratamientos por efecto de la dieta, se puede apreciar que a través del tiempo el T1 presentó el valor más alto (26.1%, $P < 0.05$) para el palmítico (C16:0), en tanto que en el T2 fue (24.43%), y este ácido graso manifestó interacción con la dieta. Una probable explicación podría ser la incorporación de concentrado en la dieta del T1, ya que es bien conocido el alto contenido de aceite de palma en los concentrados de rumiantes y su riqueza en el contenido de ácido palmítico (44%) (Tres *et al.*, 2013) Por otra parte, mientras que los niveles más altos del T2 se obtuvieron para los AG: butírico (2.3%), esteárico (13.2%) y oleico (19.0%). El contenido mayor del ácido graso insaturado oleico en la leche del T2 es evidencia del efecto dieta sobre el contenido de este ácido graso en la leche de las cabras alimentadas con *P. dulce*, particularmente debido a la ausencia del concentrado, ya que existe suficiente información científica que menciona que la dieta de los rumiantes basada en el pastoreo, está correlacionada con el aumento de los ácidos grasos insaturados de cadena larga (Tsiplakou *et al.*, 2010; Tudisco *et al.*, 2010; Baltusnikiene *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos del perfil de ácidos grasos en el presente estudio coinciden con lo obtenido por Laurence *et al.* (2009) utilizando una dieta a base de ensilado de maíz contra heno de grama nativa, quienes no encontraron diferencia significativa entre tratamientos además de que reportan concentraciones muy similares de los diferentes ácidos grasos a las obtenidas en este estudio. Tudisco *et al.* (2010) también informan concentraciones similares, al utilizar heno de alfalfa en un sistema de producción orgánico contra un sistema convencional en donde la alimentación está basada en el uso de concentrados comerciales, sin embargo, observaron diferencias entre tratamientos en algunos AG insaturados C18:1 c-9 (17.1 y 19.1 g/100g de AG), C18:1 t-11 (1.70 y 1.83 g/100g de AG), C18:2 (2.07 y 2.77 g/100g de AG) y C18:3 (0.57 y 0.81 g/100g de AG), obteniendo la mayor concentración de éstos en el sistema de producción orgánico. Estos valores coinciden con los obtenidos en el presente estudio para C18:1 c-9 (18.65 g/100g de AG), sin embargo, los valores para C18:2 y C18:3 fueron menores en el

presente estudio (Cuadro 15). Por otro lado, Tsiplakou *et al.* (2010) en Grecia reportan una mayor concentración solo de C18:2n-3 en un sistema de producción orgánica contra uno convencional. Algunos otros estudios como el realizado por Shingfield *et al.* (2013) si han encontrado diferencias significativas, ellos mencionan que la leche de rumiantes en pastoreo contiene menores proporciones de AG de cadena corta y mayores de C18:1 t-11, ALC c-9 t-11, C18:2n-6 y C18:3n-3 comparada con la de los que son alimentados con forraje henificado o ensilado, no obstante, tales resultados no pueden ser comparados con los de esta investigación porque aquellos autores hacen una referencia general a la leche, sin especificar lo que sucede con la leche de cabra. En cambio, D'Urso *et al.* (2008) mencionan que encontraron diferencia estadísticamente significativa para C18:1 cis 9 y C18:1 trans 11 al probar un grupo de cabras alimentadas en corral, contra un grupo de cabras alimentadas en pastoreo reportando los valores 15.26 y 16.35 g/100g de AG en C18:1 cis 9 ; así como 1.68 y 1.80 g/100g de AG en C18:1 trans 11 para el grupo estabulado y en pastoreo respectivamente. Por su parte Li *et al.* (2014) registraron diferencias significativas en la concentración de algunos AG (C15:0, C17:0, C18:0, C18:1) al aumentar el tamaño de partícula de los forrajes usados en la alimentación de cabras lecheras, lo cual implicaba mayor cantidad de FDN en la dieta. Los autores concluyeron que el perfil de ácidos grasos de la leche podría utilizarse para reflejar el cambio en las bacterias celulolíticas en respuesta a diferentes niveles de FDN en la dieta.

El nivel del AG omega 3 (linolénico) fue de 0.33 g/100 g de AG, mientras que la relación $\omega 6/\omega 3$ fue de 0.79 para T1 y 0.76 para T2 lo que podría dar un valor agregado a este tipo de leche, ya que se ha informado ampliamente que una alta cantidad de omega 3 y una baja relación $\omega 6/\omega 3$ son efectivos en la disminución de padecimientos cardiovasculares (Davidson, 2006; Hu *et al.*, 2002). El AG omega 3 disminuye la agregación plaquetaria, la viscosidad de la sangre y el fibrinógeno, reduciendo así, la tendencia a la formación de trombos (Simopoulos, 2008). Respecto a la importancia de la relación $\omega 6/\omega 3$ en la alimentación humana,

Simopoulos (2008) menciona que cantidades excesivas de omega 6 y una relación $\omega 6/\omega 3$ demasiado alta promueven la aparición de algunas enfermedades en el humano, como: problemas cardiovasculares, inflamatorios, autoinmunes y cáncer. La relación óptima puede variar con relación a la enfermedad resultante de una predisposición genética, sin embargo, es más deseable una relación baja para reducir el riesgo de muchas de las enfermedades crónicas de alta prevalencia en las sociedades occidentales, así como en los países en desarrollo.

El ácido linoleico conjugado (ALC), quizás el AG funcional de los de mayor importancia en la grasa láctea de cabra, no presentó diferencia ($P>0.05$) entre ambos tratamientos, contrario a lo que reportan D'Urso *et al.* (2008) ya que ellos señalan que presentaron mayor cantidad de ALC ($P<0.01$) cabras alimentadas en pastoreo (0.84 g/100g de AG) contra cabras alimentadas en estabulación (0.56 g/100g de AG). De igual manera Tsiplakou *et al.* (2006) registraron diferencia ($P<0.05$) entre la cantidad de ALC encontrado en leche de ovejas suplementadas con concentrado en comparación con la de ovejas alimentadas únicamente en pastoreo, siendo mayor el contenido en la leche de éstas últimas. Por su parte Tudisco *et al.* (2010) coinciden con lo obtenido en la presente investigación, ya que informan que no encontraron diferencias ($P>0.05$) entre cabras alimentadas en un sistema de producción orgánico en pastoreo contra cabras alimentadas en corral (0.87 vs 0.58 g/100g de AG, respectivamente). Sin embargo, en el presente estudio la interacción dieta x semana de lactación fue significativa ($P=0.003$) indicando probablemente que con mayor proporción de leguminosa en la dieta, la cantidad de ALC podría ser mayor en las cabras alimentadas con banco de proteína.

6.3.1 Perfil de isómeros de ALC en la leche de cabra

Los resultados obtenidos en los valores de los isómeros de ácido linoleico conjugado (ALC) de la leche de cabra de los tratamientos evaluados en el presente estudio se presentan en el Cuadro 16. Se encontraron diferencias por efecto de la interacción dieta x semana de lactancia solo para los isómeros: Total *t-t*, *t11 - c13* y *c7 - t9*. No se registraron diferencias por efecto del tiempo de lactancia para la mayoría de los isómeros *t-t* lo que indica que estos tiene una aportación constante a lo largo de la lactancia, a diferencia de los isómeros *c,t-t,c* que presentaron mayor variación de acuerdo con la semana de lactancia. En relación con el efecto del tratamiento se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en las sumatorias de los isómeros *t-t* al igual que para los isómeros *c,t-t,c* y algunos isómeros como el *t11 - t13*, *t10-c12*, *c9 - t11* y *c7 - t9*. Como se esperaba de acuerdo con lo reportado por otros autores (Renna *et al.*, 2012a; Pajor *et al.*, 2009; D'Urso *et al.*, 2008; Tsiplakou *et al.*, 2006;), el isómero con mayor presencia fue el C18:2 *cis9-trans11* (ácido ruménico) con valores del 89-90% del total del ALC.

Cuadro 16. Composición de isómeros de Ácido Linoleico Conjugado (ALC) (% de isómero del total de ALC) de la leche de cabra

Isómeros ALC	Tratamiento		P<**		
	1	2	Dieta	Semana	Interacción
Total t-t	4.38	5.42	0.050	0.209	0.057
t12 - t14	0.44	0.51	0.343	0.212	0.217
t11 - t13	0.51	0.76	0.002	0.565	0.006
t10 - t12	0.78	1.12	0.015	0.780	0.484
t9 - t11	0.81	0.72	0.567	0.924	0.884
t8 - t10/t7-t9	1.85	2.34	0.012	0.027	0.206
Total c-t, t-c	95.62	94.58	0.020	0.115	0.177
t11 - c13	0.58	0.88	0.089	<0.001	0.031
t10 - c12	1.16	1.87	0.011	0.004	0.077
c9 - t11	90.07	89.00	0.071	0.023	0.259
c7 - t9	3.81	2.80	0.004	0.002	0.000

** : Probabilidad de significancia atribuible a los efectos para el *Pithecellobium dulce* en la dieta, tiempo en la dieta (semana) y su interacción

De acuerdo con lo señalado por otros autores (Renna *et al.*, 2012a; Pajor *et al.*, 2009; D'Urso *et al.*, 2008; Tsiplakou *et al.*, 2006) el isómero con mayor presencia fue el C18:2 *cis9-trans11* (ácido ruménico) con valores del 89-90% del total del ALC. El ácido linoleico conjugado C18:2 *cis9-trans11* (ALC *c9-t11*) es el isómero de ALC de mayor importancia, ya que se ha informado que tiene diversas propiedades benéficas para la salud humana como efectos anticancerígenos y antiaterogénicos (Pajor *et al.*, 2009). Al respecto Renna *et al.* (2012a) reportan que la cantidad de ALC *c9-t11* disminuyó de manera significativa (P<0.01) de 0.98 a 0.72 g/100g al disminuir la cantidad de forraje fresco de 30 a 20% en la dieta, respectivamente. De manera similar Pajor *et al.* (2009) registraron diferencia estadística para ALC *c9-t11* entre un grupo de cabras alimentadas en pastoreo (0.66 g/100g), contra un grupo de cabras alimentadas en estabulación a base de concentrados (0.49 g/100 g). D'Urso *et al.* (2008) también mencionan diferencia

($P < 0.01$) para este isómero reportando 0.778 vs 0.513 g/100g para animales en pastoreo vs animales en estabulación. Aunque los valores de este isómero encontrados en esta investigación presentan promedios compatibles con los de los autores previamente mencionados (0.746 y 0.589 g/100g, para T1 y T2, respectivamente) éstos, de manera contraria, no presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos por efecto de la dieta.

Algunos otros isómeros de ALC aunque menores también son importantes debido a las actividades biológicas en las que tiene lugar, tal es el caso del ALC ϵ 10-c12, producido en el rumen probablemente como resultado de una población de bacterias menor o una vía de biohidrogenación alternativa en el rumen, lo que es importante debido a que ayuda a la pérdida de peso y mejora en la masa muscular (Rodríguez *et al.* 2009; Tsiplakou *et al.*, 2006). Al respecto, Pajor *et al.* (2009) al igual que D'Urso *et al.* (2008) reportan diferencia ($P < 0.05$) entre tratamientos ambos probando cabras alimentadas bajo condiciones de pastoreo contra cabras alimentadas en estabulación, lo cual coincide con lo informado en la presente investigación, obteniendo el mayor valor para T2 (0.013 vs 0.010 g/100g).

7. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que en las condiciones bajo las cuales estuvieron los animales, la producción diaria de leche durante 120 días posparto fue similar en el grupo de cabras que ramoneaban *Phitecellobium dulce* y el grupo de cabras alimentadas parcialmente con concentrado.
- Las características físico-químicas (acidez, densidad, % de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de sólidos totales y % de sólidos no grasos) de la leche de cabra, no se modifican al alimentar a los animales con *Phitecellobium dulce* comparativamente con animales alimentados con concentrado.
- El perfil de ácidos grasos de la leche del grupo de cabras que ramoneaban el banco de proteína de *Pithecellobium dulce*, fue similar al perfil del grupo de cabras que consumían concentrado.
- El isómero C18:2 *cis9-trans11* fue el de mayor presencia con valores del 89-90% del total del ALC ($P > 0.05$).
- El ALC $t10-c12$, fue mayor en la leche de las cabras del T2 ($P < 0.05$) representando por ello mayor calidad en la leche de cabras alimentadas con *P. dulce*.

LITERATURA CITADA

- Agudelo GD, Bedoya MO. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. Revista Lasallista de Investigación 2005; 2: 38-42.
- Alais C. Ciencia de la leche. 4^a edición. Ed. Reverte. Barcelona, España. 1985.
- Allen S. Relationships between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. J Dairy Science. 1997; 80(7):1447-1462.
- Alonso L, Fontecha J, Lozada L, Fraga MJ, Juárez M. Fatty acid composition of caprine milk: major, branched-chain, and trans fatty acids. J Dairy Science 1999; 82(5):878-884.
- Amendola MR. Especies forrajeras disponibles en México. Memorias del I Congreso Internacional del Borrego "Alternativas de producción ovina ante el incremento de los costos de insumos". 2009 abril 21 y 22; Pachuca (Hidalgo) México; Revista del borrego.
- Ángel P, Agudelo D, Restrepo L, Cañas J, Cerón M. Curvas de lactancia de cabras mestizas utilizando modelos matemáticos no lineales. Revista Lasallista de Investigación. 2009; 6(1):43-49.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 15th Edition. USA. Association of Official Analytical Chemists. 934.01, 954.01, 962.09, 920.29, 942.05. 1990.
- Aranda BC, Del Prado MM. El origen de los lípidos en la leche. Rev ContactoS 2003; 48:65-70.
- Arbiza AS, De Lucas TJ. La leche caprina y su producción. 1^a edición. Editorial Mexicanos unidos. México, D.F. 2001
- Aréchiga CF, Aguilera JI, Rincón RM, Méndez de Lara S, Bañuelos VR, Meza HC. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. Tropical and Subtropical Agroecosystems 2008; 9(1):1-14.
- Ávila TS. Producción de leche con ganado bovino. 2^a edición. México, D.F: Manual moderno. 2010.
- Avilés NJ, Valle CJ, Castrejón PF, Angeles CS, Vargas BE. Digestibility of Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*)-based diets supplemented with four levels of *Gliricidia sepium* hay in hair sheep lambs. Tropical Animal Health and Production. 2013;45(6):1357-1362.

- Bach AA, Torre C, Hernández PE, Legaz HE, García JC. Efecto de la nutrición sobre el perfil de ácidos grasos en la leche de ovino y su aplicación en la elaboración de quesos enriquecidos en ácidos grasos esenciales. Memorias de XXV Jornadas Científicas y IV Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia; 2000 septiembre 28-30; Teruel, España. pp:323-326.
- Baltusnikiene A, Bartkeviciute Z, Cernauskiene J. Fatty acids content composition of milk fat from cows consuming pasture and total mixed ration. Veterinarija Ir Zootechnika T 2008; 42(64):28-33.
- Bedolla OE. Efecto de la suplementación de dos tipos de ácidos grasos sobre la composición de la leche en vacas F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) durante el posparto temprano (Tesis de licenciatura). Morelia (Michoacán) México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2010.
- Benavides JE. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. [Conferencia electrónica] FAO, Departamento de Agricultura y Protección al consumidor, sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica", 1998. Disponible en: <http://www.fao.org/AG/AGa/AGAP/FRG/AGROFOR1/bnvdes23.pdf>.
- Botero R, Russo RO. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. [Conferencia electrónica] FAO, Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor, sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica". 1998. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm>.
- Caja G, Such X, Roval M, Molina M, Fernández N, Torres A, Gallego L. Aptitud al ordeño mecánico y morfología mamaria en ovino lechero. Memorias de XXVII Jornadas Científicas y VI Jornadas Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 2002 septiembre 19-21. Valencia, España. pp:19-48
- Callejo A. Breve introducción a la anatomía de la ubre y fisiología del ordeño. 2º Curso de explotaciones agropecuarias. Ordeño mecánico. Universidad Politécnica de Madrid. 2009. Disponible en: http://ocw.upm.es/produccion-animal/ordeno-mecanico/Tema_1._Anatomia_y_Fisiologia/breve-introduccion-a-la-anatomia-de-la-ubre-y-a-la-fisiologia-del-ordeno.
- Camacaro S, Garrido JC, Machado W. Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek* y su transferencia a las gramíneas asociadas. Zootecnia tropical 2004; 22(1):49-69.

- Cannas A y Pulina G, editor. Dairy Goats Feeding and Nutrition. 1st ed. Italia: Bologna. 2005.
- Cardozo VJ. El matarratón (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de rumiantes (Tesis de especialización). Bogotá, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2013.
- Casamassima D, Sevi A, Palazzo M, Ramacciato R, Colella G, Bellitti A. Effects of two different housing systems on behavior physiology and milk yield of Comisana ewes. Small Ruminant Research. 2001; 41:151-161.
- Chacón VA. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. Agronomía Mesoamericana 2005; 16(2):239-252.
- Chamorro D. Importancia de la proteína en la nutrición de rumiantes con énfasis en la utilización de proteínas de especies arbóreas. Memorias del Seminario – Taller Internacional sobre Manejo de la Proteína en Producción de Ganado Bovino. 2002. CORPOICA – ACCI. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Chandan RC, Kilara A, Shah N. Dairy Processing and Quality Assurance. 1st edition. Iowa, USA: Wiley- Blackwell. 2008.
- Chilliard Y, Ferlay A, Mansbridge R, Doreau M. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated fatty acids. Annales de Zootechnie. 2000; 49:181–205.
- Chilliard Y, Ferlay A, Rouel J, Lamberet G. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. J Dairy Science 2003; 86:1751-1770.
- Clavero T, Razz R. The performance of goats browsing *Leucaena leucocephala* in the semi-arid areas of northwest Venezuela. Rev. Cient. Facult. Cienc. Veter. Univ. Zulia. 2003; 13:460-463.
- Costa R, Martins T, Araújo J, Wanderley A, Silva J, Cruz G, Vásquez S. Utilización de *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) y *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) en la alimentación de cabras en lactación. Memorias de XXVII Jornadas Científicas y VI Jornadas Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 2002 septiembre 19-21. Valencia, España.
- Cuninham GL. Fisiología veterinaria. 2^a ed. Ed. McGraw-Hill Interamericana. México, 1999.

- Davidson M. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease reduction. *The American Journal of Cardiology* 2006; 98(4):1-76.
- De Pellegrini L, Ribeiro A, Gusso A, Mattanna P, Buzatti D. Analysis of fatty acid profile of bovine, caprine and ovine milk cows. *UTFPR*. 2012; 7:1-3.
- Degen A. Sheep and goat milk in pastoral societies. *Small Ruminant Research*. 2007; 68:7-19.
- Delgado SJ. Valor nutricional y usos tradicionales de las especies arbóreas del municipio de Nocupétaro, Michoacán (Tesis de licenciatura). Morelia, Mich. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2007.
- Díaz G, Torres H, Ochoa C, Urrutia M. Número de parto, tipo de parto y periodo de lactancia como factores que modifican la producción de leche en cabras Nubia. *Memorias del V Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos*. 2007. Mendoza, Argentina.
- Dickson L, Gamarra I, Salvador A, Monasterio L. Producción de leche y duración de la lactancia en cabras mestizas de la raza canaria en Venezuela. *Archivos de Zootecnia*. 2008; 57(217):63-66.
- D'Urso S, Cutrignelli M, Calabro S, Bovera F, Tudisco R, Piccolo V, Infascelli F. Influence of pasture on fatty acid profile of goat milk. *J Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2008; 92:405-410.
- Dubeuf JP, Morand-Fehr P, Rubino R. Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research* 2004;51(2):165-173.
- Dwain BL. Estrategias nutricionales para cambiar los componentes de la leche. *Memorias de II seminario sobre alimentación y manejo de ganado lechero "Efecto de la proteína de Soya, los aminoácidos y los micro-minerales en la producción"*; 2004 junio 23 y 25; Queretaro, Qro y Guadalajara, Jal. México.
- El Hassan S, Lahlou A, Newbold C, Wallace J. Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. *Animal Feed Science and Technology*. 2000; 86(1-2):27-37.
- Escolar E. Composición en ácidos grasos a lo largo de la lactación de la leche de oveja Guirra vs Manchega (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 2007.
- FAO. Faostat Statistical Database Results. 2014.

- FEDNA. Calsamiglia S, Ferret A, Bach A. Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 2004; 70p.
- Ferlay A, Martin B, Pradel Ph, Coulon J, Chilliard Y. Influence of Grass-Based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. J Dairy Science. 2006; 89:4026-4041.
- Ferrando G, Boza J. Lactación de la cabra y factores que la regulan. Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental 1990; 2:47-78.
- Flores CM, Pérez LR, Basurto SM, Jurado GM. La leche de cabra y su importancia en la nutrición. Tecnociencia 2009; 2(3):107-113.
- Frau S, Togo J, Pece N, Paz R, Front G. Estudio comparativo de la producción y composición de leche de cabra de dos razas diferentes en la provincia de Santiago del Estero. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 2010; 109(1):9-15.
- Gall C. Milk Production En: Goat production. Ed. Academic Press. London. 1981.
- García MC. Composición química, fermentación *in vitro* de leguminosas arbóreas y producción de leche en cabras lecheras a partir de la suplementación con oleaginosas. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de México. Edo Méx, Méx. 2012.
- García D, Medina M. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. Zootecnia Tropical. 2006; 24(3):233-250.
- García E. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, México DF: UNAM, 1988.
- García UM. Utilidad terapéutica de los triglicéridos de cadena media (MCT). Dietas cetogénicas en la epilepsia infantil. Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria 1996; 16(1):7-35.
- Gasque GR. Enciclopedia bovina. 1ª edición. México, DF: FMVZ-UNAM. 2008.
- Givens DI, Shingfield KJ. Foods derived from animals: the impact to animal nutrition on their nutritive value and ability to sustain long-term health. Nutrition Bulletin 2004; 29(4):325-332.

- Glauber CE. Fisiología de la lactación en la vaca lechera. *Veterinaria Argentina* 2007; 24(234):274-281.
- Goetsch AL, Zeng SS, Gipson TA. Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research* 2011; 101:55-63.
- Gómez CP. Efecto de la suplementación de la dieta ovina con distintas fuentes lipídicas sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. (Tesis doctoral). Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. 2010.
- Guerrero CM. La caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales* 2010;1(1):1-8.
- Gutiérrez R, Vega S, Radilla C, Radilla M, Coronel S, Coronado M. The importance of the fatty acids of milk in human nutrition. In: Rekik, B. "Milk Production". Nova Science Publishers, Inc. 2012. New York, USA.
- Haenlein GF. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research* 2004; 51:155-163.
- Hatziminaoglou Y, Boyazoglu J. The goat in ancient civilizations: from the Fertile Crescent to the Aegean Sea. *Small Ruminant Research* 2004; 51:123-129.
- Hernández HH, Martínez RR, Carrillo PS, Brito GJ, Rubio RM, Sánchez OR. Componentes de rendimiento en un establecimiento asociado, de Clitoria y Guamúchil, en el trópico seco de México. *Memorias de VI Simposio Internacional de Pastizales*. 2009 noviembre 4-7. Monterrey (Nuevo León) Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Herrera C, Vargas R, Boschini F, Chacón V. Variación bromatológica de la leche de cabras Lamancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agronomía Mesoamericana*. 2009; 20(2):381-390.
- Herrero M, Ramírez A, Joaquin N. Manejo y evaluación de pasturas tropicales. 1ª ed. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT). Bolivia. 2001.
- Hu F, Bronner L, Willet W, Stampfer M, Rexrode K, Albert C, Hunter D, Manson J. Fish and Omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in women. *J American Medical Association*. 2002; 287(14):1815-1821.
- Inglingstad R, Steinshamn H, Dagnacew B, Valenti B, Criscione A, Rukke E, Devold T, Skeie S, Vegarud G. Grazing season and forage type influence goat milk composition and rennet coagulation properties. *J Dairy Science*. 2014; 97:3800-3814.
- ISO 15884:2002 (IDF 182: 2002). Milk fat - Preparation of fatty acid methyl esters.

- Izaguirre FF, Martínez TJ. El uso de árboles multipropósito como alternativa para la producción animal sostenible. *Tecnología en marcha* 2008; 21(1):28-40.
- Juárez F, Montero M. Manual de laboratorio de nutrición animal. Short Course #1 “Evaluación nutricional de forrajes en la región del Golfo de México. Proyecto: “Decision support of ruminant livestock systems in the Gulf Region of Mexico. Cornell University. Disponible en: http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse1/portada_conf.cfm. Consultada: 24 de octubre de 2014.
- Juárez F, Montero M, Serna C, Canudas E. Evaluación nutricional de gramíneas forrajeras tropicales para bovinos. “La Posta” Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2002. Veracruz, México
- Keskin M, Avsar Y, Bur O. A comparative study on the milk yield and milk composition of two different goat genotypes under climate of the Eastern Mediterranean. *J Veterinarian Animal Science* 2004; 28:531-536.
- Kitessa M, Gulati K, Ashes R, Fleck E, Scott W, Nichols D. Utilization of fish oil in ruminants II. Transfer of fish oil fatty acids into goats’ milk. *Animal Feed Science and Technology*. 2001; 89:201–208.
- Knight C, Peaker M. Development of the mammary gland. *J Reproduction and Fertility* 1982; 65:521-526.
- Krishnamoorthy U, Muscato TV, Sniffen CJ, Van Soest PJ. Nitrogen Fraction in selected feedstuffs. *J Dairy Science* 1982; 65:217-225.
- Laurence B, Shingfield K, Rouel J, Ferlay A, Chilliard Y. Effect of plant oils in the diet on performance and milk fatty acid composition in goats fed diets based on grass hay or maize silage. *British Journal of Nutrition* 2009; 101:213-224
- Li F, Li Z, Li S, Ferguson J, Cao Y, Yao J, Sun F, Wang X, Yang T. Effect of dietary physically effective fiber on ruminal fermentation and the fatty acid profile of milk in dairy goats. *J Dairy Science*. 2014; 97(4):2281-2290.
- Little EL, Wadsworth FH. Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. *Agricultural Handbook, USDA Forest Service* 1964; 249:338-340
- Lorenzana A. Comportamiento en pastoreo y productivo de ovinos en praderas de *Cenchrus ciliaris* y *Gliricidia sepium* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 2011.
- Ludeña F, Peralta S, Arroyo O, Fung L, Gonzales C. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la leche de cabra y su conservación mediante la

- activación del sistema de lactoperoxidasa. Mosaico científico. 2006; 3(1):17-26
- Markiewicz M, Czyzak G, Lipinska P, Wojtowski J. Fatty acid profile of milk – A review. Bull Vet Inst Pulawy. 2013; 57:135-139.
- Martin P. Polymorphisme génétique des lactoprotéines caprines. Lait 1993; 73(5-6):511-532.
- Meijs JAC, Walters RJ, Keen A. Sward methods. En: J D Leaver ed. Herbage intake handbook, The British Grassland Society; 1982; 11-36.
- Milera M. Sistemas de producción de leche a partir de recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. Pastos y forrajes. 2006; 29(2):109.
- Molina AE, Morales GE, Martín GA, Ben SH, Nefzaoui A, Sanz SM. Effects of partial replacement of concentrate with feed blocks on nutrient utilization, microbial N flow, and milk yield and composition in goats. J Dairy Science 2010;93:2076-2087.
- Mora GA, Kumosinki A, Farrell HM. Quantification of α_{s1} -casein in goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds using reversed-phase high performance liquid chromatography. J Dairy Science 1991; 74(10):3303-3307.
- Morand- Fehr P, Boutonnet JP, Devendra C, Dubeuf JP, Haenlein GF, Holst P, Mowlem L, Capote J. Strategy for goat farming in the 21st century. Small Ruminant Research 2004; 51(2):175-183.
- Morand-Fehr P, Fedele V, Decandia M, Le Frileux Y. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. Small Ruminant Research 2007; 68:20-34.
- Murphy JJ. Milk fat composition and nutritional value. Teagasc, Dairy Production Research Centre, Moorepark, Fermoy, Co Cork, Ireland. 2001. pp:255-257
- National Research Council, 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. *National Academy Press*. Washington DC. USA.
- Norma Mexicana NMX-F-718-COFOCALEC-2006. Sistema Producto Leche Alimentos Lácteos. Guía para el muestreo de leche y productos lácteos. Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados A.C.

- Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- Nouel BG, Rincón GJ, Tovar Y, Rojas J, Sánchez BR. Evaluación preliminar del Yacure *Pithecellobium dulce* en raciones para cabras en crecimiento confinadas. *Zootecnia Tropical* 2012; 30(4):361-367.
- Ochoa CM, Torres HG, Mandeville P, Díaz GM. Effects of physiological and management factor son the milk composition of Rambouillet ewes. *Agrociencia* 2007; 41:263-270.
- Olivares PJ, Avilés NF, Albarrán PB, Rojas HS, Castelán OO. Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2011; 14:739-748.
- Osmari EK, Cecato U, Macedo FA, Souza NE. Nutritional quality indices of milk fat from goats on diets supplemented with different roughages. *Small Ruminant Research*. 2011; 98:128-132.
- Pajor F, Galló O, Steiber O, Tasi J, Póti P. The effect of grazing on the composition of conjugated linoleic acid isomers and other fatty acids of milk and cheese in goats. *J Animal and Feed Sciences* 2009; 18:429-439.
- Palma JM. Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en investigación Agropecuaria [en línea]* 2005; 9(1). Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=83709101>. ISSN 0188-7890.
- Park YW. Comparison of mineral and cholesterol composition of different commercial goat milk products manufactured in USA. *Small Ruminant Research* 2000; 37(1-2):115-124.
- Pedraza GC, Mansanilla MA, Fajardo RP Agüero EH. Cambios en la producción y composición láctea por efecto del incremento de células somáticas en leche de vacas. *Agricultura Técnica* 2000; 60(3): 251-258.
- Pérez N, Díaz G, Gutiérrez R, Vega S, Urbán G, Prado G, González M, Ramírez A, Pinto M. Composición en ácidos grasos de la grasa de leches pasteurizadas mexicanas. *Vet Méx.* 1998; 29(4):329-335.
- Pinto CM, Vega y León S, Pérez FN. Métodos de análisis de la leche y derivados. Garantía de calidad. Universidad Austral de Chile. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco. 1996.

- Pinto R, Hernández D, Gómez H, Cobos MA, Quiroga R, Pezo D. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas México: usos y características nutricionales. 2010; 26(1):19-31.
- Ponce P. Composición láctea y sus interrelaciones: expresión genética, nutricional, fisiológica y metabólica de la lactación en las condiciones del trópico. Rev Salud Animal 2009; 31(2):69-76.
- Quiles A, Hevia M. Propiedades físicas de la leche de cabra. Rev. Ganadería. 2001; 6:53-55.
- Quiles A, Hevia M. La leche de cabra. Universidad de Murcia. Población, S. L. 1994.
- Ramos ME. Utilización de diversas leguminosas grano en la producción de la leche de cabra. Análisis de su valor nutritivo y calidad de leche producida (Tesis). Granada, España. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 2006.
- Renna M, Cornale P, Lussiana C, Malfatto V, Mimosi A, Battaglini L. Fatty acid profile of milk from goats fed diets with different levels of conserved and fresh forages. J Dairy Technology. 2012a; 65(2):201-207.
- Renna M, Lussiana C, Cornale P, Fortina R, Mimosi A. Changes in goat milk fatty acids during abrupt transition from indoor to pasture diet. Small Ruminant Research. 2012b; 108:12-21.
- Ríos PL, Rondón MZ, De Combellas J, Álvarez ZR. Uso de morera (*Morus sp.*) y mata ratón (*Gliricidia sepium*) como sustitutos del alimento concentrado para corderos en crecimiento. Zootecnia Tropical 2005; 23(1): 49-60.
- Rodríguez L, Harte F, Fontecha J. Fatty acid profile and CLA isomers content of cow, ewe and goat milks processed by high pressure homogenization. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2009; 10:32-36.
- Ruckebush Y, Phaneuf LP, Dunlop R. Fisiología de pequeñas y grandes especies. 1ª ed. Ed. El Manual Moderno. México, 1994.
- Salvador A, Martínez G, Alvarado C, Hahn M. Composición de leche de cabras mestizas Canarias en condiciones tropicales. Zootecnia Tropical 2006; 24(3):307-320.
- Salvador A, Martínez G. Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra: Revisión bibliográfica. Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias 2007; 48(2):61-76.

- Sánchez RI, Martínez RR, Torres HG, Becerril PC, Mastache LA, Suárez EJ y Rubio RM. Producción de leche y curvas de lactancia en tres razas de cabras en el trópico seco de México. *Veterinaria México* 2006; 37(4):493-502.
- Sanz SM, Chilliard Y, Schmidely Ph, Boza J. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 2007; 68:42-63.
- Sanz SM, Fernández JR, De la Torre G, Ramos E, Carmona FD, Boza J. Calidad de la leche de los pequeños rumiantes. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental* 2003; 16(1):155-166.
- Sanz SM, Pérez L, Martín AJ, Amigo L, Boza J. Effects of concentrates with different contents of protected fat rich in PUFAs on the performance lactating Granadina goats: Part II. Milk production and composition. *Small Ruminant Research* 2002; 43(2):141-148.
- SAS institute. 2002. The SAS system for windows.
- Savoini G, Agazzi A, Invernizzi G, Cattaneo D, Pinotti L, Baldi A. Polyunsaturated fatty acids and choline in dairy goats nutrition: Production and health benefits. *Small Ruminant Research* 2010; 88:135-144.
- Schettino B, Pérez J, Gutiérrez R, Vega y León S, Faure R, Escobar A. Análisis de la robustez en la determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa en leche de cabra. *Salud Animal* 2011; 33(2):83-89.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Programa Nacional Pecuario 2007-2012.
- Sheen RS, Riesco DA. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pucallpa). *Rev de Investigaciones Veterinarias del Perú* 2002; 13(1):25-31.
- Shingfield K, Bonnet M, Scollan N. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *J Animal Bioscience* 2013; 7:132-162.
- Simopoulos AP. The importance of the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental Biology and Medicine* 2008; 233(6):674-688.
- Strzalkowska N, Józwik A, Bagnicka E, Krzyzewski J, Horbanczuk K, Pyzel B, Horbanczuk J. Chemical composition, physical traits and fatty acid profile of goat milk as related to the stage of lactation. *Animal Science Papers and Reports*. 2009; 27(4):311-320.

- Torres RJ. Rentabilidad de los sistemas silvopastoriles en la producción ovina. Memorias de II Congreso de Rentabilidad de la Ganadería Ovina; 2008 abril 9-12; Querétaro (Querétaro) México; Revista del Borrego.
- Trejo SJ. Efecto del pastoreo con adición de un suplemento láctico, sobre el contenido de ácidos grasos, compuestos orgánicos volátiles y características sensoriales del queso de leche de cabra (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 2011.
- Tres A, Ruiz C, Van der Veer G, Van Ruth S. Geographical provenance of palm oil by fatty acid and volatile compound fingerprinting techniques. *Food Chemistry*. 2013; 137:142-150.
- Tsiplakou E, Kominakis A, Zervas G. The interaction between breed and diet on CLA and fatty acids content of milk fat of four sheep breeds kept indoors or at Grass. *Small Ruminant Research* 2008; 74:179-187.
- Tsiplakou E, Kotrotsios V, Hadjigeorgiou I, Zervas G. Differences in sheep and goats milk fatty acid profile between conventional and organic farming systems. *J Dairy Research*. 2010; 77:343-349.
- Tsiplakou E, Mountzouris K, Zervas G. Concentration of conjugated linoleic acid in grazing sheep and goat milk fat. *Livestock Science* 2006; 103:74-84.
- Tsiplakou E, Zervas G. The effect of dietary inclusion of olive tree leaves and grape marc on the content of conjugated linoleic acid and vaccenic acid in the milk of dairy sheep and goats. *J Dairy Research* 2008 ;75:270-278.
- Tudisco R, Cutrignelli M, Calabro S, Piccolo G, Bovera F, Guglielmelli A, Moniello G, Infascelli F. Influence of organic systems on milk fatty acid profile and CLA in goats. *Small Ruminant Research* 2010; 88:151-155.
- Tyler HD, Ensminger ME. *Dairy Cattle Science*. 4th edition. Columbus, Ohio: Pearson Prentice Hall. 2006.
- Tylutki TP, Fox DG, Durbal VM, Tedeschi LO, Russell JB, Van Amburgh ME, Overton TR, Chase LE, Pell AN. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology* 2008; 143:174-202.
- Ulbricht L. Southgate A. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet*. 1991; 338:985-992.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Science*; 1991; 74:3588-3597.

- Vega S, Gutiérrez R, Ramírez A, González M, Díaz G, Salas J, González C, Coronado M, Schettino B, Alberti A. Características físicas y químicas de leche de cabra de razas Alpino francesa y Saanen en épocas de lluvia y seca. *Salud Animal* 2007; 29(3):160-166.
- Verdoljak JJ, Zórate FP. Uso de leguminosas tropicales en la alimentación de ovinos de pelo. [Conferencia electrónica] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2008. Argentina. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/pastura/art/past21.htm>
- Virgüez R, González E, Chacón E, Rodríguez U. Morfología, fenología y producción de biomasa aérea del *Pithecellobium dulce*, en una zona de monte espinoso tropical. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 2004; 12(1):67-71.
- Zapico LP. El sistema de la lactoperoxidasa en leche de cabra. Aplicación a la mejora de su calidad microbiológica. (Tesis doctoral). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 1993.
- Zavala PJ. Aspectos nutricionales y tecnológicos de la leche. Dirección General de Promoción Agraria, Perú. 2005.

ANEXOS

Anexo 1. Estimación del CMS de *P. dulce* en el banco de proteína.

Semana	g/semana/grupo	g/día/grupo	g/animal/día
1	2068.72	295.53	59.11
2	2628.20	375.46	75.09
3	2630.04	375.72	75.14
4	1643.12	234.73	46.95
5	1855.92	265.13	53.03
6	2252.84	321.83	64.37
7	3184.44	454.92	90.98
8	2632.64	376.09	75.22
9	2064.69	294.96	58.99
10	2645.20	377.89	75.58
11	2619.54	374.22	74.84
12	2071.76	295.97	59.19
13	2131.04	304.43	60.89
14	2207.04	315.29	63.06
15	3037.56	433.94	86.79
16	2054.64	293.52	58.70
17	1548.88	221.27	44.25
Promedio			66.01