



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

Efecto de los frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina: perfil de ácidos grasos e índices de riesgo y promoción a la salud de la leche

Tesis

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA
LUIS ENRIQUE LEÓN ORTIZ**



Ciudad Universitaria, CDMX

2017



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. en C.: Francisca Aida Iturbe Chiñas

VOCAL: M. en C.: Lucía Cornejo Barrera

SECRETARIO: Dra.: Claudia Delgadillo Puga

1er. SUPLENTE: M. en C.: Hiram Fernando Ramírez Cahero

2° SUPLENTE: M. en C.: Luis Alejandro Díaz Flores

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL DR. FERNANDO PÉREZ-GIL ROMO DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN SALVADOR ZUBIRÁN

ASESOR DEL TEMA: CLAUDIA DELGADILLO PUGA

SUPERVISOR TÉCNICO: ROSA MARÍA CASTILLO DOMÍNGUEZ

SUSTENTANTE: LUIS ENRIQUE LEÓN ORTIZ

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Lípidos	4
2.2 Ácidos grasos.....	5
2.2.1 Ácidos grasos saturados.....	6
2.2.2 Ácidos grasos insaturados.....	7
2.3 Colesterol.....	7
2.4 Panorama de las enfermedades en México	8
2.5 Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la salud humana.....	10
2.6 Índices de riesgo y de promoción a la salud	11
2.7 Leche	12
2.8 Leche de cabra	13
2.9 Producción de leche de cabra.....	14
2.9.1 Panorama mundial.....	14
2.9.2 Producción de leche de cabra en México	15
2.9.3 Lípidos en la leche de cabra	15
2.9.4 Síntesis de ácidos grasos de la leche.....	16
2.9.5 El colesterol en la leche	16
2.10 Factores que afectan la producción y composición de la leche	17
2.10.1 Raza	17
2.10.2 Edad, número de partos y estado de lactación, número de ordeños ...	18
2.11 Efecto de la alimentación animal en el perfil de ácidos grasos de la leche	18
2.12 <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.....	20
3. OBJETIVOS	23
3.1 General	23
3.2 Particulares	23
4. JUSTIFICACIÓN	24
5. HIPÓTESIS	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS	26
6.1 Animales y dietas	26
6.2 Muestras de leche.....	27
6.3 Análisis químico proximal de la dieta animal.....	28

6.4 Análisis químico proximal de la leche	28
6.5 Determinación del perfil de ácidos grasos	28
6.5.1 Extracción de material lipídico	28
6.5.2 Saponificación y derivatización	29
6.5.3 Análisis cromatográfico	30
6.6 Determinación del contenido de colesterol	30
6.6.1 Saponificación y derivatización	30
6.6.2 Análisis cromatográfico	31
6.7 Análisis estadísticos	32
7. RESULTADOS	33
7.1 Composición química de las dietas	33
7.2 Composición química de las muestras de leche	34
7.3 Perfil de ácidos grasos, índice trombogénico e índice de promoción a la salud	34
7.4 Contenido de colesterol e índice colesterol-grasa saturada	38
8. DISCUSIÓN	39
8.1 Contenido graso y perfil de ácidos grasos	39
8.2 Colesterol	42
8.3 Índices de riesgo y de promoción a la salud	43
9. CONCLUSIONES	47
10. PERSPECTIVAS	48
Anexo I	49
Equipos	49
Reactivos	49
Preparación de disoluciones	50
ANEXO II	51
a. Cromatograma de mezcla estándar de metiles ésteres C4-C24	51
b. Cromatograma de extracto lipídico derivatizado de leche que muestra la presencia de ésteres metílicos de ácidos grasos	52
c. Cromatograma de estándar derivatizado de colesterol	53
d. Cromatograma de extracto lipídico derivatizado de leche que muestra la presencia de colesterol	53
e. Espectro de masas de 5 α -colestano	54
f. Espectro de masas de colesterol derivatizado	54
11. REFERENCIAS	55

Índice de cuadros

Cuadro 1	Principales causas de muerte en México.....	8
Cuadro 2	Principales causas de muerte en México, 2013.....	9
Cuadro 3	Composición de leche humana y de vaca.....	13
Cuadro 4	Composición de leche de cabra.....	13
Cuadro 5	Cantidad de colesterol en leche.....	17
Cuadro 6	Distribución de insumos para las dietas experimentales.....	27
Cuadro 7	Composición química de las dietas.....	33
Cuadro 8	Composición química de la leche.....	34
Cuadro 9	Perfil de ácidos grasos de leche caprina (g /100 g FAME) e índices de riesgo y promoción a la salud.....	36
Cuadro 10	Contenido de colesterol e índice colesterol-grasa saturada de la leche caprina.....	38

Índice de figuras

Figura 1	Clasificación de lípidos.....	4
Figura 2	Ejemplo de un ácido graso saturado y uno insaturado.....	5
Figura 3	Estructura de un triacilglicérido.....	6
Figura 4	Estructura molecular de colesterol.....	7
Figura 5	Estructura ácido linoleico, ácido α -linolénico y CLA.....	11
Figura 6	Producción mundial de leche de cabra 2004-2013.....	14

Índice de imágenes

Imagen 1.	Hojas y flores de <i>Acacia farnesiana</i>	21
------------------	--	----

I. RESUMEN

El objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión creciente de frutos de *Acacia farnesiana* (Af) en la alimentación animal sobre el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol en la leche. Se trabajó con 5 grupos de cabras de la raza Alpina francesa con un tratamiento dietario distinto cada uno, dichos tratamientos fueron: la dieta base constituida por heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial (DB), se probaron tres tratamientos con 10%, 20% y 30% de Af en la dieta base y pastoreo libre (P). Las muestras de leche se agruparon en los 5 tratamientos mencionados, el análisis del perfil de ácidos grasos se realizó con cromatografía de grasas, el colesterol se identificó y cuantificó con cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. El análisis estadístico se realizó aplicando la prueba Kruskal-Wallis para $P \leq 0.05$, la comparación de medias se realizó mediante la prueba U de Mann-Whitney, utilizando el paquete estadístico SPSS versión 18.

La inclusión de 10% y 20% de frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina no generó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácidos grasos insaturados respecto a la leche de los animales alimentados con la dieta base. Éste fue mayor en los tratamientos mencionados comparando al obtenido para la leche de pastoreo y del 30% de inclusión de frutos de *Acacia farnesiana*. La inclusión creciente de frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina disminuyó la cantidad de colesterol en la leche.

1. INTRODUCCIÓN

La leche ha sido utilizada como alimento humano por más de 8000 años ([Parodi, 2011](#)) se ha señalado que ofrece el contenido de nutrimentos necesarios para el desarrollo de los neonatos e infantes ([Amigo y Fontecha, 2011](#)). Además del aporte nutrimental, el consumo de leche de cabra puede generar algunos beneficios a la salud, por ejemplo, menor alergenicidad y mayor facilidad de absorción de la fracción lipídica que la leche bovina ([Haenlein, 2004](#); [Sumarmono et al., 2015](#)) sin embargo en los últimos 40 años se ha catalogado el consumo de leche y de otros productos alimenticios de origen animal como dañinos para la salud, debido a su contenido de ácidos grasos saturados, ya que éstos se han relacionado con el aumento de colesterol en sangre y el incremento de riesgo de desarrollar enfermedades coronarias ([Parodi, 2011](#)), sin embargo, estos componentes no son los únicos constituyentes de la grasa en los alimentos, es posible encontrar también ácidos grasos poliinsaturados con funciones biológicas benéficas para la salud, por lo que es conveniente evaluar de manera integral el riesgo o beneficio que puede tener el consumo de la grasa dietaria. Con base en estudios realizados sobre el efecto que tienen los de ácidos grasos en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares se han desarrollado índices de riesgo y de promoción a la salud que se calculan conociendo el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol de los alimentos ([Chen et al., 2004](#); [Delgadillo et al., 2014](#); [Barbieri et al., 2016](#)), entre estos índices se encuentran el índice trombogénico (IT), el índice aterogénico (IA), el índice de promoción a la salud (IPS) y el índice colesterol-grasa saturada (CGS).

Con intención de reducir el contenido de ácidos grasos saturados e incrementar los ácidos grasos poliinsaturados con actividad biológica se ha propuesto realizar cambios en la dieta del ganado lechero, ya que se ha observado que es el factor que más influye en la cantidad de grasa y perfil de ácidos grasos ([Goetsch et al., 2011](#)), en diversos estudios se ha logrado incrementar el contenido de ácidos grasos poliinsaturados alimentando al ganado con forraje fresco o pastoreo libre ([Talpur et al., 2008](#); [Tudisco et al., 2010](#); [Renna et al., 2012](#)) además de la

inclusión de suplementos en la dieta tales como aceite de semillas de soya y de canola (Schmidely y Andrade, 2011) o aceite de pescado (Tsiplakou y Zervas, 2013).

La producción de leche de cabra en México es estacional y la mayoría de los productores alimentan al ganado con forraje de la región en la que habitan. Algunas especies del género *Acacia* se encuentran en el forraje utilizado para alimentación del ganado en las regiones árida y semiárida del país, entre estas especies se ubica *Acacia farnesiana* (Cuellar *et al.*, 2012), recurso que mantiene sus frutos durante el periodo seco del año por lo que puede ser consumido por el ganado, además puede ser empleado como suplemento de las dietas de estabulación durante el invierno (García *et al.*, 2009). Cuchillo y colaboradores en 2010 reportaron un cambio en el perfil de ácidos grasos de la leche de cabras alimentadas en pastoreo, donde se identificaron especies del género *Acacia*. En este sentido, en el presente estudio se pretende determinar si puede generarse un cambio benéfico en el perfil de ácidos grasos y los valores de los índices de riesgo y de promoción a la salud de la leche por efecto de la inclusión de frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina.

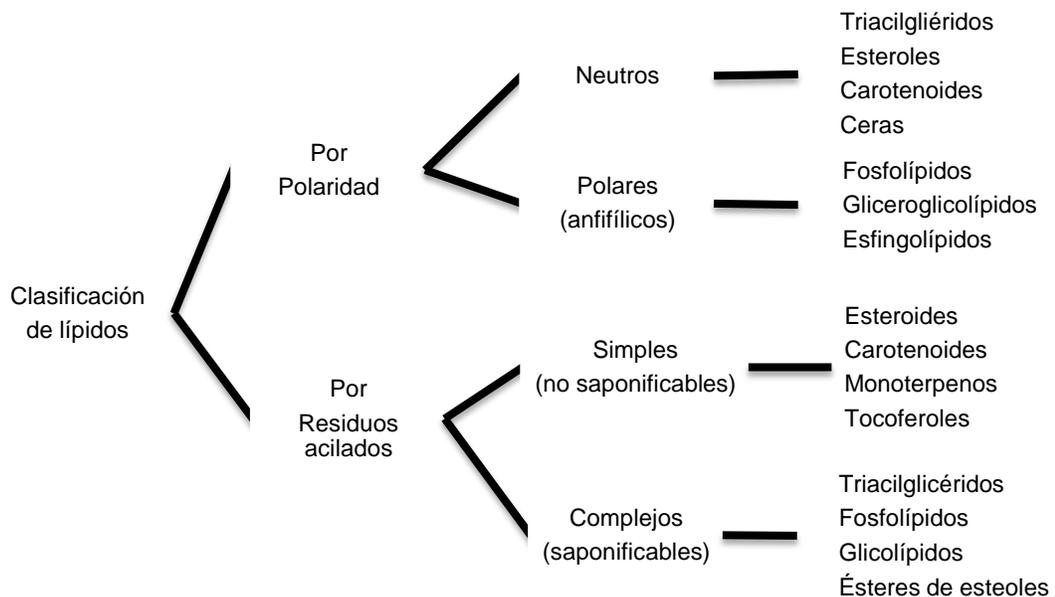
2. ANTECEDENTES

2.1 Lípidos

La palabra lípido proviene del vocablo griego *lipos* que significa grasa. Por definición son moléculas insolubles en disolventes polares como el agua pero que se disuelven en disolventes orgánicos no polares. Los lípidos constituyen uno de los tres componentes mayoritarios de los alimentos, además de ser la principal fuente de energía almacenada. Algunos lípidos tienen funciones biológicas tales como: la constitución de membranas celulares, algunos son hormonas o nutrimentos esenciales (Badui, 2006).

Las propiedades comunes de los lípidos derivan de la porción hidrocarbonada de su estructura. Algunos lípidos son anfifílicos, esto depende de los grupos funcionales que se encuentran unidos a su estructura hidrocarbonada, de acuerdo con lo anterior varían en dimensiones y polaridad. Los lípidos pueden ser clasificados de acuerdo con su polaridad o a las características de sus residuos acilados (Belitz, 2009), dicha clasificación se muestra en la Figura 1.

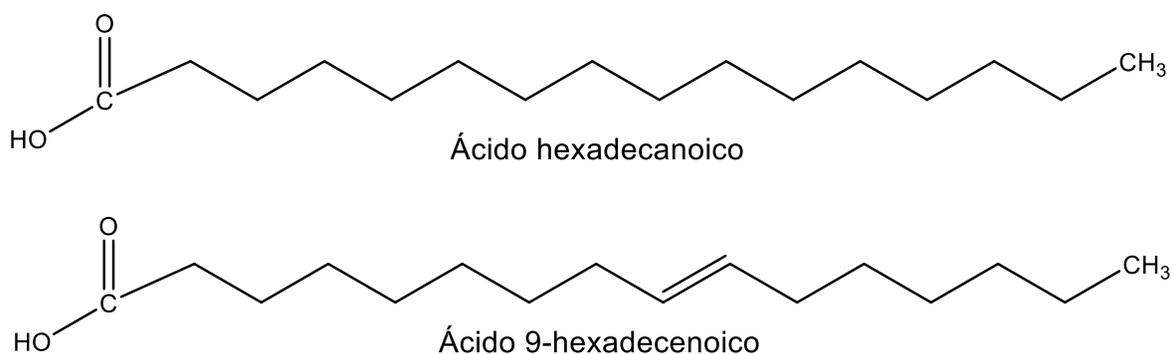
Figura 1. Clasificación de los lípidos (Belitz, 2009)



2.2 Ácidos grasos

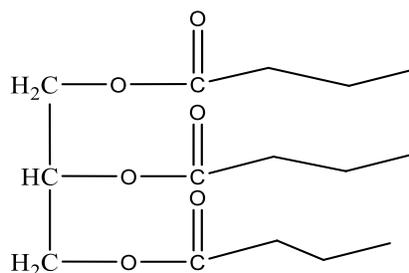
Los ácidos grasos se pueden definir como cadenas de hidrocarburos que terminan en un grupo carboxilo en un extremo y un grupo metilo en el otro (Badui, 2006). Pueden clasificarse por el grado de insaturación: a) ácidos grasos saturados, los cuales no presentan dobles ligaduras en la cadena hidrocarbonada y b) ácidos grasos insaturados, que cuentan con dobles ligaduras en la cadena hidrocarbonada, que a su vez pueden ser monoinsaturados, con un doble enlace, y poliinsaturados con dos o más dobles enlaces en la cadena de hidrocarburos (Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de un ácido graso saturado y uno insaturado (Badui, 2006)



Los ácidos grasos presentes en los alimentos se encuentran mayoritariamente esterificados a una molécula de glicerol formando triacilglicéridos (Figura 3). A los triacilglicéridos se les suele denominar propiamente como grasa, ya que representan más del 95% del peso de las grasas y aceites de los alimentos. El tipo, cantidad y distribución de los ácidos grasos definen las propiedades físicas y químicas de las grasas y aceites (Badui, 2006).

Figura 3. Estructura de un triacilglicérido (Badui, 2006)



La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) estableció en 1976 reglas para la nomenclatura de los ácidos grasos, las cuales se basan en el número de átomos de carbono, en el número y posición de los dobles enlaces tomando como referencia el grupo carboxilo (IUPAC-IUB, 2016). También se designa la actividad óptica y la configuración geométrica de los dobles enlaces, sin embargo, comúnmente se aplica la nomenclatura trivial que incluye nombres circunstanciales que indican propiedades de los ácidos grasos o la fuente de donde se aislaron por primera vez, por ejemplo, el ácido octadecenoico se conoce como ácido oleico, la palabra oleico deriva del vocablo latino *oleum*, que significa aceite (Chow, 2008).

2.2.1 Ácidos grasos saturados

Este grupo de ácidos grasos no presenta insaturaciones en la cadena hidrocarbonada. Se clasifican de acuerdo con el número de átomos de carbono que poseen, de cadena corta 4 a 10 átomos, de cadena media hasta 18 átomos de carbono y de cadena larga de más de 19 átomos de carbono (Chow, 2008).

Para nombrar a estos ácidos grasos generalmente se utilizan los nombres comunes. Las reglas oficiales para nombrarlos establecen que debe iniciarse con la palabra ácido seguida de la raíz griega correspondiente al número de carbonos de la cadena con la terminación *-ico*.

2.2.2 Ácidos grasos insaturados

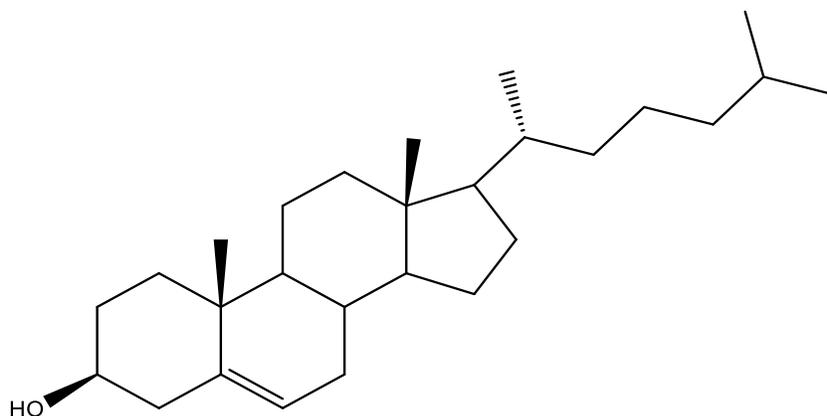
Los ácidos grasos insaturados pueden tener uno o más dobles enlaces, por tanto pueden clasificarse en monoinsaturados y poliinsaturados. Se nombran sustituyendo la terminación -ico por -enoico, si tienen más de una insaturación se agrega el prefijo di-, tri-, tetra- y así sucesivamente, se indica el número de las insaturaciones contando a partir del grupo carboxilo. Un ácido graso insaturado puede tener dos configuraciones, *cis* o *trans*, dependiendo de la posición de los grupos acilados.

Para indicar la posición de las insaturaciones suelen emplearse también la letra griega omega (ω) o la letra (n) que hacen referencia al grupo metilo terminal de la cadena hidrocarbonada de un ácido graso, se usa para hacer una denotación abreviada, tomando esto en cuenta el ácido *cis*-9,12,15-octadecatrienoico puede denominarse C18:3 ω -3 ó C18:3n-3 (Chow, 2008).

2.3 Colesterol

Es el esteroide más abundante en los tejidos animales, representa el 95%. Está constituido por el grupo perhidrociclopentanofenantreno, formado por la condensación de 4 anillos (Figura 4), puede encontrarse en forma libre o esterificado con ácidos grasos.

Figura 4. Estructura molecular de colesterol (Badui, 2006).



El colesterol forma parte de las membranas celulares y es precursor de algunas hormonas, sales biliares y vitamina D. Se encuentra presente en la yema de huevo en cantidad de 1,000 mg/100 g, en la carne de cerdo en cantidades de entre 70 y 75 mg/100 g y para la leche de vaca de 120 a 150 mg/ litro (Badui, 2006).

2.4 Panorama de las enfermedades en México

Los cambios demográficos, sociales y económicos que se han presentado en México han generado modificaciones en la esperanza de vida, en las causas de muerte y en la tasa de mortalidad de la población. En la actualidad las enfermedades crónicas no transmisibles ocupan los primeros lugares entre las causas de muerte en México (Cuadro1).

Cuadro 1. Principales causas de muerte en México

1922	1950	1970	1990	2000	2013
Neumonía Influenza	Gastroenteritis Colitis	Neumonía Influenza	Enfermedades del corazón	Diabetes mellitus	Diabetes mellitus
Diarrea Enteritis	Gripe Neumonía	Enteritis	Tumores malignos	Enfermedades del corazón	Enfermedades isquémicas del corazón
Fiebre Caquexia pelúdica	Enfermedades de la primera infancia	Enfermedades del corazón	Accidentes	Cirrosis Enfermedades del hígado	Tumores malignos
Tosferina	Accidentes Envenena- mientos	Enfermedades perinatales	Diabetes mellitus	Enfermedades cardiovascu- lares	Accidentes
Viruela	Paludismo	Tumores malignos	Afecciones generadas por el periodo perinatal	Afecciones generadas por el periodo perinatal	Enfermedades del hígado

Soto et al., 2016

En 2013 el 32% de las muertes fueron atribuidas a 3 enfermedades: la diabetes mellitus tipo 2, las enfermedades isquémicas del corazón y las enfermedades cerebro-vasculares (Cuadro 2). Dichas enfermedades comparten factores de

riesgo entre los que se encuentran el sobrepeso, la obesidad, el tabaquismo, niveles de colesterol elevado y la hipertensión arterial (Soto *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Principales causas de muerte en México, 2013

Orden	Principales Causas	Defunciones	Porcentaje
	Total	623,600	100
1	Enfermedades del corazón ^a	116,002	18.6
2	Enfermedades isquémicas del corazón	79,301	12.7
3	Diabetes mellitus	89,420	14.3
4	Tumores malignos	75, 229	12.1
5	Accidentes	36,293	5.8
6	De tráfico en vehículos de motor	15,847	2.5
7	Enfermedades del hígado	34,765	5.6
8	Enfermedad alcohólica del hígado	12,760	2.0
9	Enfermedades cerebrovasculares	32,675	5.2
10	Agresiones	23,063	3.7
11	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	20,481	3.3
12	Influenza y neumonía	17,417	2.8
13	Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal ^b	12,948	2.1
14	Dificultad respiratoria del recién nacido y trastornos originados en el periodo perinatal	5,874	0.9
15	Insuficiencia renal	11,983	1.9
16	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosomáticas	9,375	1.5
17	Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	8,303	1.3
18	Lesiones autoinflingidas intencionalmente	5,909	0.9
19	Bronquitis crónica y no especificada, efisema y asma	5,470	0.9
20	Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana	4,997	0.8
21	Las demás causas	119,270	19.1

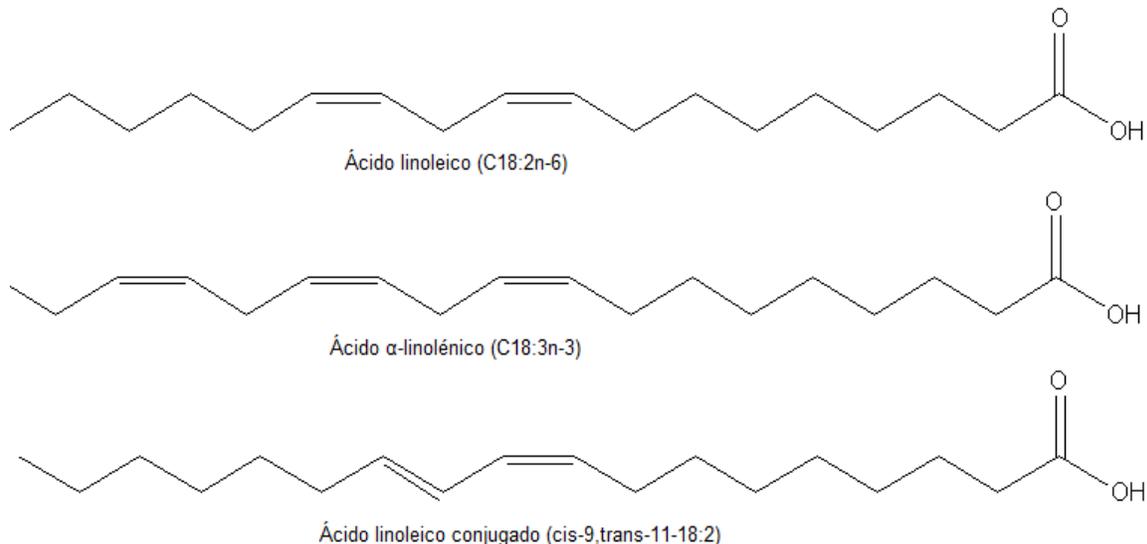
Soto *et al.*, 2016. ^aSe excluye el paro cardíaco, ^bIncluye tétanos neonatal.

2.5 Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la salud humana

La ingesta de lípidos está generalmente relacionada con obesidad y el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, sin embargo, el consumo de algunos ácidos grasos como los ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n-6, en cantidad adecuada puede tener algunos beneficios, por ejemplo, la reducción de niveles de colesterol en sangre (Mingrou, 2009). Entre las funciones fisiológicas de los ácidos grasos n-3 y n-6, principalmente el ácido linoleico, el ácido α -linolénico (Figura 5), y algunos compuestos derivados de su metabolismo, son constituyentes de las membranas celulares del sistema nervioso central y la retina (Chow, 2008); se ha observado que se reduce la mortalidad de pacientes con cardiopatías al incluirse ácidos grasos n-3 en su dieta (Endo y Arita, 2016).

El ácido linoleico conjugado (CLA, por sus siglas en inglés) es un grupo de isómeros del ácido linoleico con dobles ligaduras conjugadas en las posiciones C8 y C10, C9 y C11 o C10 y C12, siendo el más abundante el isómero *cis-9,trans-11-18:2*. Son sintetizados por fermentación microbiana en el tracto digestivo de los rumiantes, por lo que se encuentran predominantemente en productos lácteos o en la carne, el consumo de CLA puede tener algunos beneficios en la salud, entre ellos se ha encontrado que puede disminuir el riesgo de padecer cáncer de mama, disminuye la cantidad de colesterol en sangre y la agregación plaquetaria por tanto tiene efecto hipotensivo, funciona también como modulador de la respuesta inmune, tiene efecto antiinflamatorio, antioxidante y ayuda a disminuir los niveles de glucosa en sangre (Chow, 2008; Yang *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2016; Viladomiu *et al.*, 2016).

Figura 5. Estructuras de ácido linoleico, ácido α -linolénico y CLA.



2.6 Índices de riesgo y de promoción a la salud

El consumo de grasa proveniente de alimentos de origen animal está generalmente asociado con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, esto debido al contenido de ácidos grasos saturados y colesterol, sin embargo, los componentes mencionados no son los únicos constituyentes de la grasa en los alimentos, es posible encontrar también ácidos grasos poliinsaturados con funciones biológicas benéficas para la salud humana, por lo que es conveniente evaluar de manera integral el riesgo o beneficio que puede tener el consumo de la grasa dietaria. Con base en estudios realizados sobre el efecto que tienen los de ácidos grasos en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares se han propuesto índices de riesgo y de promoción a la salud que se calculan conociendo el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol de los alimentos ([Chen *et al.*, 2004](#); [Delgadillo *et al.*, 2014](#); [Barbieri *et al.*, 2016](#)), entre estos índices se encuentran el índice trombogénico (IT), el índice aterogénico (IA), el índice de promoción a la salud (IPS) que es el inverso al índice aterogénico y el índice colesterol-grasa saturada (CGS), se calculan de la siguiente manera:

$$IT = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{(0.5 \sum MI) + (0.5(n - 6)) + (3(n - 3)) + (n - 3/n - 6)}$$

$$IPS = \frac{n - 6 + n - 3 + \sum MI}{C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0}$$

$$(CGS) = (1.01 \sum AGS) + (0.05 \times \text{mg colesterol})$$

Donde:

C14:0 = contenido de ácido mirístico; C16:0 = contenido de ácido palmítico; C18:0 = contenido de ácido esteárico; $\sum MI$ = suma de ácidos grasos monoinsaturados; n-6 = contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-6; n-3 = contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-3; $\sum AGS$ = suma de ácidos grasos saturados.

2.7 Leche

La leche es el producto de la secreción natural de las glándulas mamarias de las vacas sanas o de cualquier otra especie animal, excluido de calostro, el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen su inocuidad; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación ([NOM-243-SSA1-2010](#); [NOM-155-SCFI-2012](#); [NOM-043-SSA2-2012](#)).

La leche contiene los nutrimentos necesarios para garantizar el óptimo desarrollo de los neonatos, además provee de factores de crecimiento e inmunoglobulinas que ayudan a fortalecer el sistema inmune. Sus constituyentes se presentan en distintos estados de dispersión que se encuentran en equilibrio, la lactosa, sales y vitaminas hidrosolubles, existen en disolución; las proteínas, tanto las del suero como la caseína forman una dispersión coloidal; la grasa y los componentes liposolubles se encuentran como emulsión.

La proporción de los componentes de la leche varía por diversos factores, entre ellos la especie, edad del animal, etapa de lactación, número de partos y la alimentación. De manera general la leche está constituida por agua entre 85% y 87%, de 3% a 5% de grasa, de 3% a 3.7% de proteínas, entre 4.4% y 4.7% de hidratos de carbono (lactosa) y de 0.71% a 0.75% de minerales. En el Cuadro 3 se muestra la composición de la leche de vaca y de leche humana (Badui, 2006; Belitz, 2009; Tamime, 2009).

Cuadro 3. Composición de leche humana y leche de vaca (g /100 g)

Especie	Sólidos totales	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas
Humano	12.2	3.8	1	7	0.2
Vaca	12.7	3.7	3.44	4.8	0.7

Tamime, 2009

2.8 Leche de cabra

La leche de cabra contiene nutrimentos necesarios para el cuerpo humano. Su composición en cuanto a la cantidad de sólidos totales es similar a la leche de vaca aunque sí se presentan variaciones en la composición de sus constituyentes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición de leche de cabra (g/100 g)

	Sólidos totales	Grasa	Proteína cruda	Caseína	Lactosa	Cenizas
Amigo y Fontecha, 2011	12.90	4.10	3.50	2.90	4.50	0.80
Thum et al., 2015	11.5	3.6	3.0	--	4.7	--

Entre los beneficios a la salud que aporta el consumo de leche de cabra se ha encontrado un menor índice de alergenicidad comparado con la leche de vaca, se presenta mayor contenido de vitamina A, ayuda al desarrollo del tracto digestivo y a la protección de la mucosa intestinal. En comparación con la grasa de leche bovina la fracción lipídica de la leche de cabra presenta mejor digestibilidad, por lo que se ha utilizado en el tratamiento de infantes con desnutrición para ayudar en la ganancia de peso ([Haenlein, 2004](#); [Sanz Sampelayo et al., 2007](#); [Silanikove et al., 2010](#); [Kapila et al., 2013](#); [Sumarmono et al., 2015](#); [Kalyankar et al., 2016](#)).

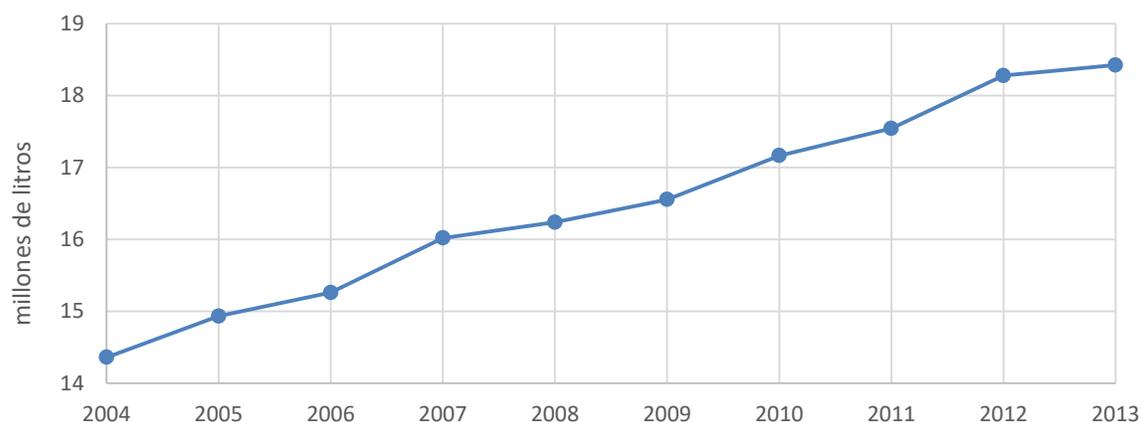
2.9 Producción de leche de cabra

2.9.1 Panorama mundial

La leche de cabra se produce en regiones áridas y semiáridas del mundo. En los países en desarrollo se utiliza generalmente para el autoconsumo y se comercializa a baja escala dentro de la comunidad de los productores. En los países desarrollados se cuenta con la infraestructura adecuada para realizar la selección genética de las razas lecheras para obtener mayor rendimiento en la producción ([FAO, 2016](#)).

En los últimos 10 años la producción mundial de leche de cabra ha aumentado alrededor de 4 millones de litros (Figura 6).

Figura 6. Producción mundial de leche de cabra 2004-2013 ([FAO, 2016](#)).



El continente que registra mayor producción es Asia con el 56.7% del total, África registra el 24%. Los 5 países con mayor producción son India, Bangladesh, Sudán, Pakistán y Francia (FAO, 2016).

2.9.2 Producción de leche de cabra en México

La mayor parte de los rebaños de cabras de las regiones áridas de México están destinados a la producción de carne, mientras que en las regiones de clima templado se ha desarrollado más ampliamente la producción de hatos lecheros debido a que se cuenta con agostaderos más productivos que en las zonas áridas. La producción de leche de esta especie en el país es estacional debido a la baja inversión en tecnología; en los meses de julio a septiembre se tiene mayor disponibilidad de este producto pecuario y decrece a partir de octubre.

El consumo de leche de cabra es mayoritariamente en subproductos como queso y dulces, el consumo de leche fluida es mínimo (Cuellar *et al.*, 2012).

La producción nacional en 2014 fue de 152,910 litros de leche. Los 5 estados con mayor producción son Coahuila, Guanajuato, Durango, Jalisco y Chihuahua, juntos suman el 81.2% de la producción total (SIAP, 2016).

2.9.3 Lípidos en la leche de cabra

La fracción lipídica de la leche está constituida mayoritariamente por triacilglicéridos, entre 96% y 98%, se encuentran en menor proporción fosfolípidos, ácidos grasos libres, mono- y diacilglicéridos, colesterol y ésteres de esteroides. Los lípidos se encuentran formando una emulsión grasa en agua en pequeñas partículas dispersas denominadas glóbulos, con un diámetro de entre 2 μm y 15 μm , rodeados por una membrana que deriva de las células epiteliales de la glándula mamaria. Dicha membrana está compuesta por fosfolípidos, proteínas, enzimas como la fosfatasa alcalina, colesterol y algunas sales (Badui, 2006; Walstra *et al.*, 2006; Tamime, 2009).

La proporción de ácidos grasos define las características físicas y químicas que presenta la fracción lipídica de la leche, la proporción de grasa y de ácidos grasos puede presentar cambios por factores intrínsecos, como la especie, la raza, etapa de lactación, número de partos, edad y salud de las hembras lactantes o factores extrínsecos como la zona geográfica, el clima y el régimen de alimentación (Goetsch *et al.*, 2011), siendo este último factor el de mayor influencia sobre la cantidad de grasa y el perfil de ácidos grasos de la leche (Chung *et al.*, 2016). De manera general, del total de ácidos grasos en la leche de cabra, entre 67% y 75% corresponde a ácidos grasos saturados, los ácidos grasos monoinsaturados ocupan entre 20% y 32%, los ácidos grasos poliinsaturados se encuentran entre 1% y 6% (Amigo y Fontecha, 2011; Kalyankar *et al.*, 2016).

2.9.4 Síntesis de ácidos grasos de la leche

Los ácidos grasos presentes en la leche se encuentran en forma de triacilglicéridos. La mayor parte de los ácidos grasos de 4 a 15 átomos de carbono y aproximadamente el 50% de C16:0 son sintetizados en la glándula mamaria, aunque también provienen del plasma sanguíneo, los ácidos grasos de más de 16 átomos de carbono son transferidos del plasma sanguíneo a la leche, éstos a su vez pueden provenir de la dieta o del tejido adiposo. Se ha observado que en el inicio de la lactación la fuente mayoritaria de ácidos grasos de cadena larga es el tejido adiposo, al entrar en la última etapa de lactación la principal fuente de éstos es la dieta (Aranda y Del Prado, 2003; Chilliard *et al.*, 2007). Los ácidos grasos monoinsaturados en la leche pueden provenir de la dieta o pueden sintetizarse en la glándula mamaria por la enzima esteroil-CoA 9-desaturasa, que sintetiza también gran parte de la cantidad de CLA a partir del ácido vaccénico C18:1 *trans*-11 (Tudisco *et al.*, 2014).

2.9.5 El colesterol en la leche

El colesterol puede constituir hasta el 0.5% de la fracción lipídica de la leche, ayuda en la formación de membranas celulares y de algunas hormonas. Algunos

experimentos realizados con marcadores radioactivos de carbono indican que aproximadamente el 20% del colesterol presente en la leche es sintetizado en la glándula mamaria y el 80% proviene del suero sanguíneo. La cantidad de colesterol presente en la leche varía dependiendo de la especie de que se trate en el Cuadro 5 se muestra la cantidad de colesterol de la leche de algunas especies de rumiantes ([Ontsouka y Albrecht, 2014](#)).

Cuadro 5. Cantidad de colesterol en leche

Especie	Colesterol (mg/100 g grasa)
Vaca	239-300
oveja	290
cabra	340

Ontsouka y Albrecht, 2014

El contenido de colesterol en la leche puede verse afectado por factores genéticos y ambientales, principalmente por la alimentación suministrada al ganado ([Barlowska y Sz wajkowska, 2011](#)).

2.10 Factores que afectan la producción y composición de la leche

La producción y composición de la leche puede variar debido a diversos factores que pueden clasificarse en a) intrínsecos: la raza, edad, número de partos, estado de lactación y salud general de las hembras b) extrínsecos: clima, zona geográfica, número de ordeños y alimentación ([Goetsh *et al.*, 2011](#)).

2.10.1 Raza

Existe dificultad para evaluar de manera independiente cada factor que influye en la producción y composición de la leche, ya que el efecto observado es resultado de la interacción de más de un factor. En un estudio realizado con 8 razas de cabras lecheras (Dwarf Nigeriana, Sable, Nubia, Toggenburg, Alpina, Sanen, La Mancha, Oberhasli) bajo el mismo sistema de producción se observó que la concentración de grasa en leche tiene una relación inversa con el volumen de

producción, es decir, la leche de las razas en las que se observó mayor producción registró menor contenido de grasa ([Goetsh et al., 2011](#)).

2.10.2 Edad, número de partos y estado de lactación, número de ordeños

Se ha informado que la producción de leche, la proporción de proteína y grasa son menores para las cabras en su primer parto, elevándose la producción y concentración de grasa en los partos 3 y 4, después del quinto parto la producción y concentración de grasa disminuyen. Al inicio del periodo de lactación se observa mayor concentración de proteína y grasa en la leche, la proporción de estos componentes registra una disminución al alcanzarse el pico máximo de producción y vuelve a aumentar al acercarse al final de la lactación cuando el volumen de producción disminuye ([Goetsh et al., 2011](#)).

Al comparar la producción de leche, el contenido de grasa y proteína de dos grupos de cabras Murciano-Granadina, un grupo con un ordeño al día y otro con dos, se registró mayor volumen de leche con dos ordeños diarios pero menor proporción de grasa y proteína que la leche proveniente del grupo con un solo ordeño ([Salama et al., 2003](#))

2.11 Efecto de la alimentación animal en el perfil de ácidos grasos de la leche

Existen tres sistemas de alimentación de ganado caprino: 1) pastoreo en el que se incluyen recursos forrajeros de vegetación nativa, 2) estabulación en el que se tienen forrajes de corte, henificados o ensilados y concentrados de granos, 3) en el que se utiliza combinación entre pastoreo y los alimentos elaborados para estabulación. La alimentación que rige la producción del ganado así como la calidad de los insumos ejercerá un efecto en la producción de la leche y la proporción de sus constituyentes así como en el perfil de ácidos grasos ([Goetsch et al., 2011](#); [Arbizaa y de Lucas, 2001](#); [Cuellar et al., 2012](#)).

Los resultados de algunos estudios mencionan que en la leche de ganado alimentado con libre pastoreo aumenta la concentración de ácidos grasos

insaturados sobre todo de C18:3n-3 y CLA; registrándose al mismo tiempo una disminución en la concentración de ácidos grasos saturados de cadena media en comparación con la leche de ganado alimentado con concentrados de cereales en estabulación (Chilliard *et al.*, 2007; Cuchillo *et al.*, 2010; Goetsch *et al.*, 2011), incluso se tiene el mismo efecto al realizar el cambio abrupto de alimentación con heno y cereales en estabulación al libre pastoreo (Renna *et al.*, 2012). Este cambio en el perfil de ácidos grasos puede explicarse si se toma en cuenta que la concentración de C18:3n-3 en los forrajes frescos es muy alta, lo que genera que haya mayor producción de los subproductos de la hidrogenación de este ácido graso en el rumen que dan origen a la síntesis de CLA, además de que la fracción sin hidrogenación se transfiere a la leche y aumenta así la cantidad de C18:3n-3 (Chilliard *et al.*, 2007).

El pastoreo o alimentación con forrajes frescos no es la única manera para obtener mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados en la leche, un efecto similar se observa al enriquecer la dieta con semillas o extractos de semillas con alto contenido de ácidos grasos C18:1 y C18:3n-3 (Schmidely y Andrade, 2011; Tsiplakou y Zervas, 2013). Para lograr una mayor eficiencia se ha documentado que los lípidos de estos recursos forrajeros o extractos es preferible que se encuentren protegidos contra la hidrogenación generada por los microorganismos del rumen (Gadeyne *et al.*, 2016; Cabiddu *et al.*, 2010). En este sentido, se ha reportado algunas estrategias de protección valorando el papel del contenido de compuestos fenólicos presentes en los forrajes; destacándose los taninos (Márquez y Suárez, 2008) y la actividad de la enzima polifenol oxidasa; ambos compuestos influyen en el metabolismo de la microbiota ruminal reduciendo la hidrogenación de los ácidos grasos poliinsaturados C18, a través de dos mecanismos: 1) los ácidos fenólicos presentes en la fuente de alimentación pueden ser oxidados por acción de la polifenol oxidasa, los compuestos resultantes (quinonas) pueden formar complejos con la fracción proteínica, esta unión puede disminuir la lipólisis y la hidrogenación de los ácidos grasos en el rumen. 2) Los taninos presentes pueden generar cambios en la población de algunos microorganismos del rumen como *Butyrovibrio fibrisolvens*, una de las

especies más activas en la hidrogenación, lo que provoca cambios en los patrones de fermentación ruminal (León *et al.*, 2011; Cabiddu *et al.*, 2010; Márquez y Suárez, 2008), resultando en mayor transferencia de ácidos grasos poliinsaturados (C18:3, C18:1 *trans*-11, C18:2 *cis*-9-*trans*-11) a la leche. Esta transferencia fue identificada por León y colaboradores en 2011, al alimentar ovejas lecheras con distintas especies vegetales de leguminosas ensiladas, cuantificando el contenido de los ácidos grasos poliinsaturados C18 consumidos en la dieta, su flujo hacia el duodeno, además del porcentaje de biohidrogenación del ácido linoléico (C18:3), destacándose al trebol rojo como el recurso forrajero con mayor influencia sobre la biohidrogenación.

2.12 *Acacia farnesiana* (L.) Willd.

El género *Acacia* es el segundo más grande de la familia de las leguminosas, cuenta con aproximadamente 1350 especies ampliamente distribuidas en el mundo, la mayor abundancia de este género se encuentra en Australia con 957 especies, seguida de América con 185, África con 144 y Asia con 89 (Maslin *et al.*, 2003).

En particular *Acacia farnesiana* (Af) o sus sinónimos *Mimosa farnesiana* L., *Vachellia farnesiana* L (Sistema Nacional de Información Forestal, SNIF, 2012), se presenta como un arbusto espinoso de 1 a 2 m de altura con hojas bipinadas y alternas, espinas de 4.5 cm de largo muy aguzadas (Imagen 1). En América, esta especie se encuentra distribuida desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina (Gómez *et al.*, 1970; Rojas-Rodríguez y Torres-Córdoba, 2012) mientras que en México se distribuye desde el sur de Sonora hasta Chiapas, principalmente en el bosque tropical caducifolio, en climas cálidos y semicálidos (Rzedowski, 1988). Af es ampliamente utilizada en la medicina popular en la región del semiárido mexicano como infusiones de hojas, raíces, cortezas o sus mezclas, principalmente en la región de la Mixteca Poblana, además es considerado un importante recurso forrajero para el ganado caprino de la región.

En la literatura se han descrito diferentes grupos de metabolitos secundarios obtenidos del género *Acacia* tales como aminos, alcaloides, aceites esenciales, aminoácidos no proteinicos, cumarinas, diterpenos, ácidos grasos, triterpenos, fitoesteroles, saponinas, flavonoides, gomas, taninos hidrolizables y condensados (Seigler, 2003). Específicamente en Af se ha descrito la presencia de quercetina, ácido gálico, glucósidos de flavonoides, galato de metilo, catequina y epicatequina (Seigler, 2003; Manríquez *et al.*, 2007; Cuchillo *et al.*, 2010; Hannachi *et al.*, 2011; Maldini *et al.*, 2011; RamLi *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2013). Éstos compuestos, por su naturaleza química pueden participar en la modulación de diversos procesos fisiológicos (Muthaura *et al.*, 2007).

Imagen 1. Hojas y flores de *Acacia farnesiana* (FAO, 2016)



Entre la vegetación utilizada como forraje del ganado de pastoreo en las regiones áridas y semiáridas de México se encuentra *Acacia farnesiana* (García *et al.*, 2009; Cuchillo *et al.*, 2010; Cuellar *et al.*, 2012). Toyés-Vargas y colaboradores en 2013 reportaron que las hojas de Af tienen mayor cantidad de lípidos respecto a las hojas de otras especies presentes en la región semiárida del noroeste de México, en lo referente a los ácidos grasos poliinsaturados, el ácido linoleico ocupa el 19% del total de ácidos grasos y el ácido α -linolénico el 21.32%. En el extracto hexánico y clorofórmico de los frutos de Af se encontró que el ácido graso mayoritario es el linoleico con valores 39.94% y 40.50% del total de ácidos grasos

respectivamente. La importancia de la presencia de estos ácidos grasos poliinsaturados de 18 átomos de carbono es que a partir de ellos se pueden sintetizar isómeros en el rumen de importancia biológica como el ácido vaccénico y el CLA ([Toyes-Vargas et al., 2013](#)). Se ha reportado la presencia de taninos en las semillas y vainas de Af, dichos compuestos pueden generar una reducción de biohidrogenación de los ácidos grasos poliinsaturados de interés biológico ([Barrientos et al., 2012](#)).

3. OBJETIVOS

3.1 General

Evaluar el efecto de la incorporación creciente (10%, 20% y 30%) de los frutos de *Acacia farnesiana* en la alimentación animal sobre el perfil de ácidos grasos, contenido de colesterol e índices de riesgo y promoción a la salud de la leche caprina

3.2 Particulares

1. Determinar el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol de la leche caprina.
3. Calcular los índices de riesgo y de promoción a la salud de las muestras de leche caprina con base en el contenido de ácidos grasos y colesterol.

4. JUSTIFICACIÓN

Acacia farnesiana es una especie ampliamente distribuida en nuestro país, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, principalmente en el bosque tropical caducifolio, en climas cálidos y semicálidos (Rzedowski, 1988), es un importante recurso forrajero ya que es posible que conserve frutos incluso en la estación seca y puede usarse como suplemento en las dietas de estabulación durante el invierno (García *et al.*, 2009). Cuando el ganado caprino se alimenta con vegetación que incluye a esta especie se obtiene mayor proporción de algunos ácidos grasos insaturados (Cuchillo *et al.*, 2010), sin embargo, no se ha estudiado el efecto aislado que pueda tener la inclusión de Af en la dieta sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Se ha considerado el aprovechamiento de este recurso vegetal para la suplementación de la alimentación del ganado ya que se ha informado sobre su contenido de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, con este estudio se pretende evaluar si existe algún efecto sobre el perfil de ácidos grasos de la leche dado el interés que existe por incrementar el consumo de ácidos grasos con actividad biológica benéfica y la disminución del consumo de colesterol.

5. HIPÓTESIS

En algunos estudios se ha reportado que las modificaciones en la dieta del ganado pueden influir en el metabolismo ruminal de lípidos y esto en el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol de la leche, con base en esos resultados puede suponerse que la modificación de la dieta caprina generará cambios en el perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol de la leche, lo que repercutirá en el valor de los índices de riesgo y de promoción a la salud.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Animales y dietas

Las muestras de leche fueron colectadas de 50 cabras de raza Alpina Francesa con peso vivo promedio de 50 ± 5 kg, de primer y segundo parto (entre 2 y 3 años) fueron separadas en 5 grupos, cada grupo recibió un tratamiento dietario distinto. Las cabras se ordeñaron manualmente una vez al día a las 7:30 horas durante 7 días. La alimentación y recolección de leche se llevó a cabo en Querétaro, México ($20^{\circ}35'$ N, $100^{\circ}18'$ E; 1,950 metros sobre el nivel del mar) durante el verano de 2015. Los tratamientos dietarios consistieron en la dieta base (DB) compuesta por heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial indicado como DB en el Cuadro 6, esta dieta base se modificó incluyendo 10%, 20% y 30% de frutos molidos de *Acacia farnesiana* señalados como 10% Af, 20% Af y 30% Af, respectivamente, el tratamiento señalado como P corresponde a pastoreo libre en un agostadero de 14 hectáreas clasificado como bosque espinoso caducifólio, compuesto por gramíneas (*Bouteloua curtipendula*, *Chloris virgata*, *Bothriochloa saccharoides*, *Leptochloa dubia*, *Rhynchelytrum roseum*, *Panicum obtusum*, *Bouteloua repens*, *Aristida adscensionis*, *Setaria parviflora*, *Urochloa fasciculata*, *Pennisetum ciliare*), leguminosas (*Prosopis leavigata*, *Acacia farnesiana*, *Acacia schaffneri*, *Mimosa biuncifera*), arbustos (*Celtis pallida*, *Psilactis brevilingulata*, *Jatropha dioica*, *Zalazania augusta var. augusta*, *Lippia queretarensis*, *Verbasina serrata*) y cactáceas (*Opuntia affasiacantha*, *O. amyctaea*, *O. hytiacantha*, *O. robusta*, *O. streptacanta*, *O. tomentosa*) entre otras (Galina et al., 1998). Los animales en estabulación fueron albergados permanentemente en corrales separados dotados de un comedero lineal ubicado por fuera del área de albergue, distribuyendo el acceso a través de barandales externos; por otra parte las cabras en pastoreo tuvieron un encierro nocturno. A todos los animales se les ofertó agua *ad libitum* a través de una pila ubicada dentro del corral.

Cuadro 6. Distribución de los insumos para las dietas experimentales
(kg / animal)

Tratamiento	DB	P	10% Af	20% Af	30% Af
Insumos					
		Pastoreo en			
Heno de alfalfa	1.200	bosque			
		espinoso	1.080	0.960	0.840
Ensilado de		caducifólio			
maíz	0.800		0.729	0.648	0.567
Alimento					
concentrado	1.000		0.891	0.792	0.693
comercial					
Frutos de Af	-		0.300	0.600	0.900
Total	3.000		3.000	3.000	3.000

Af: *Acacia farnesiana*; DB: dieta base constituida de heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial; P: pastoreo libre; 10% Af, 20% Af, 30% Af: corresponden al porcentaje de inclusión de frutos de Af sobre la dieta base.

6.2 Muestras de leche

Las muestras de leche colectadas de cada grupo de cabras correspondientes a los distintos tratamientos dietarios fueron envasadas por separado en 7 lotes definidos por los días de muestreo, el promedio de producción por día fue de 8.3 litros. Se congelaron a -20°C y fueron liofilizadas para su conservación en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, para liofilizar se utilizó un equipo marca Usifroid, modelo SMH50 con las siguientes condiciones de proceso: congelación a -40°C durante 6 h, secado primario a 20°C durante 120 h con presión de 0.3 mbar, secado secundario a 37°C durante 48 h con presión de 0.1 mbar.

6.3 Análisis químico proximal de la dieta animal

El análisis químico proximal de las dietas de las cabras se realizó en el laboratorio de análisis químicos para alimentos del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se realizaron las siguientes determinaciones de acuerdo con la metodología descrita en AOAC (1990): porcentaje de humedad (método 934.01), proteína cruda (método 954.01), grasa o extracto etéreo (método 954.02), fibra cruda (método 968.10), cenizas (método 942.05). La energía bruta se determinó de acuerdo con la metodología descrita en ASTM (1974).

6.4 Análisis químico proximal de la leche

El análisis químico proximal de las muestras de leche se realizó en los laboratorios del área de análisis fisicoquímicos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Se realizaron las siguientes determinaciones: humedad empleando la metodología descrita en [NOM-116-SSA1-1994](#); proteína con el método descrito en [NMX-F-608-NORMEX-2012](#); grasa con el método descrito en [NMX-F-615-NORMEX-2004](#) y cenizas con el método [NMX-F-607-NORMEX-2012](#).

6.5 Determinación del perfil de ácidos grasos

Para la determinación del perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol se analizaron las muestras de leche de 5 lotes de cada tratamiento dietario.

6.5.1 Extracción de material lipídico

La extracción de material lipídico se realizó con algunas modificaciones al método 923.07 AOAC (2000).

Se pesaron 4 g de leche liofilizada homogeneizada con una licuadora. Se añadieron 30 mL de mezcla de disolventes cloroformo:etanol, se agitó el matraz

durante 20 segundos, se agregaron dos porciones más de mezcla de disolventes al matraz, una de 10 mL y posteriormente otra de 30 mL, con agitación de 20 segundos entre cada una, el matraz se agitó cada 15 minutos durante una hora, cada agitación duró 40 segundos, se aforó el matraz con mezcla de disolventes, después de 24 h de reposo se tomaron dos alícuotas de 25 mL, cada se transfirió a un vaso de precipitados de 150 mL, se evaporaron a sequedad el disolvente en un baño con agua a 60°C, los vasos de precipitados se colocaron en una estufa a 100°C durante 10 min, se retiraron de la estufa y se enfriaron a temperatura ambiente en un desecador que contenía sílica gel como agente desecante, se realizaron tres lavados con cloroformo, uno de 10 mL y dos de 5 mL, después de cada lavado se filtró el contenido y se colectó en un vaso de precipitados de 100 mL previamente etiquetado y pesado, después de evaporar el disolvente a 60°C se secó a 80°C por 90 min. El contenido lipídico se determinó por diferencia de peso.

El material extraído destinado al análisis de ácidos grasos fue reconstituido en 10 mL de hexano. El material lipídico para determinación de colesterol fue almacenado en refrigeración protegido del oxígeno.

6.5.2 Saponificación y derivatización

El tratamiento de muestras para el análisis de ácidos grasos fue realizado de acuerdo con método 969.33 AOAC (2000).

Se mezclaron 1 mL del material lipídico reconstituido, 2 mL de hexano y 1 mL de estándar de ácido miristoleico, en un tubo sellado, se agitó durante 10 segundos, se agregaron 2 mL de hidróxido de sodio al 2% en metanol, se agitó y se colocó en un baño con agua a 80°C durante 10 min, después de enfriarse a temperatura ambiente se agregó 1 mL de trifluoruro de boro, se agitó, se calentó en un baño con agua a 80°C por 2 min, se adicionaron 5 mL de hexano, se colocó nuevamente en baño con agua a 80°C por 2 min. A temperatura ambiente se agregaron 3 mL de disolución saturada de cloruro de sodio, se agitó y centrifugó a 900 revoluciones por minuto (rpm) por 10 min, se separó la fase orgánica y se

evaporó el disolvente en un baño con agua a 60°C con flujo de nitrógeno, se reconstituyó el material seco con 1 mL de hexano grado cromatográfico, se almacenó en congelación en frascos viales color ámbar para la inyección al cromatógrafo.

6.5.3 Análisis cromatográfico

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Varian, modelo CP 3380 con detector de ionización de flama, el gas acarreador fue nitrógeno, se usó una columna capilar DB-23 con película interna de ((50%-cianopropil)-metilpolisiloxano) como fase estacionaria de 0.25 µm de espesor, la longitud de la columna fue de 30 m y 0.25 mm de diámetro interno, la temperatura inicial del horno fue 120°C manteniendo 1 min, incremento de 10°C/min hasta 200 °C mantenidos por 5 min, posterior incremento de 10°C/min hasta 220°C, después de 5 min se incrementó a 10°C/ min hasta 230°C mantenidos por 8 min, con un tiempo total de análisis de 30 min, el volumen de inyección fue 1 µL con el inyector en modo Split con relación (30:1) y temperatura de 250°C, la temperatura del detector 280°C.

La identificación de ácidos grasos se realizó comparando los tiempos de retención de la muestra con los obtenidos de la mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos C4-C24. La concentración se calculó con base en la concentración del estándar de ácido miristoleico, que se utilizó como estándar interno.

6.6 Determinación del contenido de colesterol

6.6.1 Saponificación y derivatización

La determinación de colesterol se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma Mexicana NMX-707-COFOCALEC-2011.

El material lipídico extraído se pesó en un tubo de ensayo (tubo 1) de 50 mL, se adicionaron 10 mL de hidróxido de sodio 2 M y 1 mL de la disolución estándar de 5- α -colestano, se colocó en un baño con agua a 80°C \pm 2°C durante 60 min con

agitación cada 10 min, después de enfriar a temperatura ambiente se adicionaron 10 mL de hexano y 5 mL de agua destilada, se agitó y centrifugó a 900 rpm durante 5 min, se separó la fase orgánica y se colectó en otro tubo de ensayo (tubo 2), se realizaron dos adiciones más de 5 mL de hexano al tubo 1 repitiéndose la centrifugación y la separación de fase orgánica que se colectó en el tubo 2, se adicionaron 5 mL de disolución saturada de cloruro de sodio al tubo 2, después de agitar y centrifugar se separó la fase orgánica y se colectó en un tubo de ensayo (tubo 3), el disolvente se evaporó en un baño con agua a 60°C con flujo de nitrógeno, se adicionaron 400 µL de la disolución derivatizante, se colocó en baño con agua a 70°C ± 2°C durante 30 min, se evaporó el disolvente en baño con agua a 60°C y flujo de nitrógeno, se reconstituyó el contenido del tubo con 1 mL de hexano grado cromatográfico y se almacenó en congelación en viales ámbar para el análisis cromatográfico.

6.6.2 Análisis cromatográfico

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 7890 B acoplado a un espectrómetro de masas Agilent Technologies modelo 59779 A MSD. Se instaló una columna capilar de HP-5ms de 30 m de longitud, 250 µm de diámetro interno y con recubrimiento interior de 5% de cianopropil-polisiloxano como fase estacionaria con espesor de 0.25 µm. El gas acarreador fue Helio con flujo de 1 mL/min. La temperatura inicial del horno fue 180°C manteniendo por 0.5 min, incremento de 20°C/min hasta 250°C mantenido por 1 min, incremento de 20°C/min hasta 270°C manteniendo por 3 min, incremento de 10 °C/min hasta 300°C manteniendo por 6 min, tiempo total de análisis 18 min. El inyector fue utilizado en modo Split con radio (60:1) con temperatura de 280°C, el volumen de inyección fue 1 µL.

Condiciones de operación el espectrómetro de masas: modo scan, intervalo de masas 50.00-550.00 m/z, temperatura de la fuente de iones 230°C, 70 eV.

Antes de inyectar las muestras se inyectó la mezcla de estándares de colesterol derivatizado y 5- α -colestano. La concentración de colesterol se calculó a partir del factor de respuesta del estándar de colesterol inyectado.

6.7 Análisis estadísticos

Los datos de los análisis de las muestras de leche se agruparon de acuerdo con la dieta que recibieron las cabras. Se expresa el valor promedio de los resultados \pm desviación estándar. Se realizó el test de Kruskal-Wallis para $P \leq 0.05$, la comparación de medias se realizó mediante la prueba U de Mann-Whitney, utilizando el paquete estadístico SPSS versión 18 (IBM Corporation, New York, EUA).

7. RESULTADOS

7.1 Composición química de las dietas

La composición química de las dietas con las que se alimentaron las cabras se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Composición química de las dietas (g/100 g).

	DB	10% Af	20% Af	30% Af
Materia seca	98.02	97.69	98.17	96.35
Humedad	1.98	2.31	1.83	3.65
Proteína cruda (N*6.25)	15.00	15.38	14.98	13.85
Extracto etéreo	3.42	3.08	2.57	3.40
Hidratos de carbono	45.13	45.62	49.53	51.76
Cenizas	15.34	14.85	13.14	10.21
Fibra cruda	19.13	18.76	17.95	17.13
Energía bruta (kcal/g)	4.67	4.72	4.64	3.77

Af: *Acacia farnesiana*; DB: dieta base constituida de heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial; 10% Af, 20% Af, 30% Af: corresponden al porcentaje de inclusión de frutos de Af sobre la dieta base.

7.2 Composición química de las muestras de leche

La composición química de la leche correspondiente a cada uno de los tratamientos dietarios se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Composición química de la leche (g/100 g)

	DB	P	10% Af	20% Af	30% Af
Humedad	88.1	88.39	88.42	88.63	89.09
Proteína cruda (N*6.38)	2.61	3.59	3.42	3.34	3.50
Extracto etéreo	3.98	3.36	3.55	3.25	2.84
Cenizas	0.75	0.78	0.79	0.69	0.85
Hidratos de carbono	4.55	3.88	3.82	4.10	3.72
Energía bruta (kcal/g)	0.64	0.60	0.61	0.59	0.54

Af: *Acacia farnesiana*; DB: dieta base constituida de heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial; P: pastoreo; 10% Af, 20% Af, 30% Af: corresponden al porcentaje de inclusión de frutos de Af sobre la dieta base.

7.3 Perfil de ácidos grasos, índice trombogénico e índice de promoción a la salud

La identificación de ácidos grasos se realizó comparando los tiempos de retención de la muestra con los obtenidos de la mezcla estándar de ésteres metílicos de ácidos grasos C4-C24. La concentración se calculó con base en la concentración del estándar de ácido miristoleico, que se utilizó como estándar interno, en el Anexo II se muestran los cromatogramas de la mezcla estándar de ésteres metílicos de ácidos grasos y de una de las muestras de leche. Los resultados del contenido de ácidos grasos, índice trombogénico (IT) y el índice de promoción a la

salud (IPS) se muestran en el Cuadro 9. El cálculo de los índices se realizó con las ecuaciones descritas en (Ulbricht y Southgate, 1991; Chen et al., 2004).

$$IT = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{(0.5 \sum MI) + (0.5(n - 6)) + (3(n - 3)) + \frac{n - 3}{n - 6}}$$

$$IPS = \frac{n - 6 + n - 3 + \sum MI}{C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0}$$

Donde:

C14:0 = contenido de ácido mirístico; C16:0 = contenido de ácido palmítico;
 C18:0 = contenido de ácido esteárico; $\sum MI$ = suma de ácidos grasos monoinsaturados; n-6 = contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-6;
 n-3 = contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-3.

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos de leche caprina (g/100 g FAME), índices trombogénico y de promoción a la salud

Ácidos grasos	DB	P	10% Af	20% Af	30% Af
C8:0	0.23±0.07 ^a	0.11±0.02 ^{ab}	ND	0.14±0.02 ^b	0.07±0.01 ^c
C10:0	3.65±0.14 ^a	2.93±0.04 ^b	2.50±0.09 ^c	1.67±0.08 ^d	1.94±0.11 ^e
C11:0	0.04±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	0.03±0.01 ^b	0.04±0.004 ^b	0.03±0.01 ^b
C12:0	2.80±0.13 ^d	3.51±0.04 ^b	3.68±0.06 ^a	3.65±0.09 ^a	3.28±0.15 ^c
C13:0	0.07±0.01 ^a	0.08±0.01 ^{ab}	0.09±0.01 ^b	0.08±0.01 ^{ab}	0.08±0.01 ^{ab}
C14:0	12.13±0.36 ^c	12.64±0.27 ^b	11.80±0.24 ^d	12.74±0.31 ^b	13.97±0.09 ^a
C15:0	0.98±0.03 ^d	1.12±0.02 ^b	1.29±0.02 ^a	1.28±0.02 ^a	1.03±0.03 ^c
C15:1	0.30±0.01 ^c	0.35±0.03 ^b	0.42±0.01 ^a	0.41±0.02 ^a	0.33±0.02 ^b
C16:0	29.94±0.63 ^d	38.26±0.52 ^b	31.91±0.92 ^c	32.09±0.54 ^c	41.36±0.51 ^a
C16:1	0.89±0.01 ^b	0.78±0.05 ^c	0.82±0.06 ^c	0.90±0.04 ^b	1.00±0.03 ^a
C17:0	0.91±0.03 ^b	0.83±0.03 ^c	1.02±0.07 ^a	0.75±0.07 ^{cd}	0.71±0.02 ^d
C17:1	0.41±0.01 ^c	0.37±0.02 ^d	0.50±0.5 ^a	0.44±0.02 ^b	0.35±0.01 ^e
C18:0	11.75±0.09 ^a	9.68±0.54 ^b	9.89±0.44 ^b	9.77±0.09 ^b	6.57±0.21 ^c
C18:1 (<i>cis</i> -9)	29.76±0.32 ^a	24.65±0.13 ^b	30.58±0.99 ^a	30.42±0.67 ^a	24.12±0.18 ^c
C18:2 (<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12)	3.97±0.02 ^a	2.42±0.06 ^d	3.22±0.09 ^c	3.33±0.11 ^{cb}	3.36±0.03 ^b
C18:2 (<i>trans</i> -9, <i>cis</i> -12)	0.25±0.02 ^a	0.20±0.02 ^b	0.20±0.01 ^b	0.18±0.01 ^b	0.13±0.004 ^e
C18:2 (<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11) (CLA)	0.20±0.002 ^b	0.29±0.003 ^a	0.22±0.003 ^c	0.23±0.01 ^c	0.23±0.01 ^c
C18:3n-3	0.78±0.04 ^a	0.67±0.04 ^b	0.53±0.03 ^c	0.57±0.09 ^{bc}	0.48±0.02 ^d
C18:3n-6	0.04±0.01 ^b	0.02±0.005 ^c	0.04±0.01 ^b	0.07±0.01 ^a	0.03±0.01 ^b
C20:0	0.25±0.02 ^c	0.32±0.01 ^b	0.35±0.02 ^a	0.38±0.03 ^a	0.26±0.005 ^c
C20:1	0.07±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.05±0.0004 ^b	0.05±0.01 ^b
C20:2n-6	0.03±0.004 ^a	ND	0.05±0.002 ^a	0.04±0.004 ^a	ND
C20:3n-6	0.02±0.001 ^a	0.02±0.0005 ^a	0.02±0.003 ^a	0.02±0.003 ^a	ND
C20:3n-3	0.07±0.01 ^a	0.08±0.02 ^a	0.09±0.01 ^a	0.09±0.01 ^a	0.05±0.01 ^b

Cuadro 9. Continuación

Ácidos grasos	DB	P	10% Af	20% Af	30% Af
C20:4n-6	0.20±0.02 ^c	0.24±0.01 ^b	0.32±0.03 ^a	0.29±0.02 ^a	0.31±0.01 ^a
C20:5n-3	0.06±0.01 ^{ab}	0.06±0.01 ^{ab}	0.07±0.01 ^a	0.05±0.004 ^b	0.06±0.01 ^{ab}
C22:6n-3	0.04±0.003 ^b	0.06±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.07±0.001 ^a	0.08±0.01 ^a
C23:0	0.05±0.01 ^b	0.05±0.004 ^b	0.06 ^a	0.05±0.003 ^b	0.04±0.01 ^c
C24:0	0.03±0.004 ^c	0.04±0.0003 ^b	0.05±0.005 ^a	0.06±0.01 ^a	ND
Σ AGsaturados	62.74±0.30 ^b	69.73±0.22 ^a	62.80±1.03 ^b	62.83±0.86 ^b	69.42±0.21 ^a
ΣAGmonoinsaturados	31.62±0.33 ^a	26.22±0.17 ^b	32.39±1.0 ^a	32.23±0.66 ^a	25.85±0.17 ^c
ΣAGpoliinsaturados	5.64±0.08 ^a	4.05±0.08 ^c	4.81±0.05 ^b	4.95±0.22 ^b	4.74±0.07 ^b
Σn-6	4.48±0.07 ^a	2.89±0.05 ^c	3.81±0.06 ^b	3.93±0.13 ^b	3.83±0.04 ^b
Σn-3	0.96±0.10 ^a	0.87±0.07 ^b	0.77±0.04 ^c	0.79±0.10 ^{bc}	0.67±0.03 ^d
n-6/n-3	4.70±0.27 ^b	3.34±0.27 ^c	4.99±0.28 ^b	5.05±0.55 ^{ab}	5.70±0.21 ^a
IPS	0.46±0.01 ^a	0.32±0.01 ^c	0.45 ^{ab}	0.43±0.02 ^b	0.30±0.003 ^d
IT	2.55±0.04 ^c	3.47±0.06 ^b	2.61 ^c	2.65±0.12 ^c	3.63±0.05 ^a

FAME: ésteres metílicos de ácidos grasos; Af: *Acacia farnesiana*; DB: dieta base constituida de heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial; P: pastoreo libre; 10% Af, 20% Af, 30% Af: corresponden al porcentaje de inclusión de frutos de Af sobre la dieta base; CLA: ácido linoleico conjugado; ΣAG: suma de ácidos grasos; Σn-6: suma de ácidos grasos poliinsaturados n-6; Σn-3: suma de ácidos grasos poliinsaturados n-3 IPS: índice de promoción a la salud; IT: índice trombogénico; ^{a,b,c,d,e}: los valores con letras diferentes tienen diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

7.4 Contenido de colesterol e índice colesterol-grasa saturada

La concentración de colesterol se calculó a partir del factor de respuesta del estándar correspondiente, en el Anexo II se muestra el cromatograma y el espectro de masas del estándar derivatizado de colesterol y un cromatograma del colesterol presente en la leche de cabra. El índice de colesterol-grasa saturada (CGS) se calculó de acuerdo con la ecuación referida por (Connor *et al.*, 1986), la cantidad de colesterol y el valor del CGS se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Contenido de colesterol e índice de colesterol-grasa saturada de la leche caprina

Contenido de colesterol	DB	P	10% Af	20% Af	30% Af
mg/ 100 g leche	18.1±0.25 ^a	14.80±0.15 ^c	15.21±0.25 ^b	13.33±0.12 ^d	11.65±0.06 ^e
CGS	2.72±0.02 ^a	2.40±0.01 ^c	2.43±0.03 ^b	2.17±0.004 ^d	1.97±0.01 ^e

Af: *Acacia farnesiana*; DB: dieta base constituida de heno de alfalfa, ensilado de maíz y alimento concentrado comercial; P: pastoreo libre; 10% Af, 20% Af, 30% Af: corresponden al porcentaje de inclusión de frutos de Af sobre la dieta base; CGS: índice colesterol-grasa saturada. ^{a,b,c,d,e}: los valores con letras diferentes tienen diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

8. DISCUSIÓN

8.1 Contenido graso y perfil de ácidos grasos

Se ha informado que la leche de cabras alimentadas mediante pastoreo tiene mayor contenido graso que la leche de cabras alimentadas con heno ([Steinshamn et al., 2014](#)) o con heno y cereales ([Renna, et al., 2012](#)). En este estudio se observó que la leche proveniente de alimentación por pastoreo tuvo menor contenido graso que la leche de las cabras alimentadas con la dieta base, reportado en el Cuadro 8 como extracto etéreo, dicho valor disminuye con la inclusión creciente de Af en la dieta, el valor menor se observó para la leche de cabras alimentadas con 30% de inclusión de Af. El tipo de alimentación (pastura o heno) no es el único factor que puede influir en el contenido graso de la leche, depende también de la ingesta energética. En ese sentido se ha informado en algunos estudios que con mayor ingesta de energía hay mayor producción de leche y un ligero decremento en el contenido graso ([Sanz Sampelayo et al., 2007](#)); sin embargo, en este estudio no se observó dicho efecto, ya que la dieta con menor contenido energético fue la que contenía 30% de Af (Cuadro 7) y la leche de los animales alimentados con dicha dieta presentó menor contenido graso. Por su parte, la dieta base registró un mayor contenido energético (Cuadro 7); con este tratamiento se obtuvo mayor contenido graso, esto puede explicarse porque, además del consumo energético influye la capacidad individual de las cabras para producir leche. [Sanz Sampelayo y colaboradores en 2007](#) mencionaron que si se registra una mayor capacidad de producción de leche, el incremento en la cantidad de energía consumida puede generar mayor volumen de ésta, reflejándose en un mayor contenido graso y proteínico en la leche. Si hay menor capacidad individual de producción láctea es posible que se observe sólo incremento en el volumen sin modificar el contenido proteínico y graso.

En el Cuadro 9 puede observarse que la suma de ácidos grasos saturados fue mayor para la leche de las cabras alimentadas mediante pastoreo y para el tratamiento en el que se incluyó 30% de frutos de Af en comparación con el resto

de los tratamientos, lo que contrasta con lo reportado en algunos estudios en los que se encontró que la proporción de ácidos grasos saturados en la leche disminuye cuando los animales se alimentan mediante pastoreo libre en lugar de dietas con heno y cereales en estabulación (Talpur *et al.*, 2008; Tudisco *et al.*, 2010; Renna *et al.*, 2012). Regularmente, la pastura fresca tiene mayor cantidad de ácidos grasos C18:2n-6 y C18:3n-3 que el heno y los concentrados de cereales empleados en su mayoría durante la estabulación, la cantidad de los ácidos grasos mencionados y los productos de su hidrogenación en el rumen pueden influir en la síntesis de ácidos grasos en la glándula mamaria. Se ha observado que al aumentar la cantidad de C18:2n-6 y C18:3n-3 ingeridos, incrementa también la cantidad de sus productos de hidrogenación ruminal y disminuye la síntesis de ácidos grasos saturados en la glándula mamaria (Chilliard *et al.*, 2003; Sanz Sampelayo *et al.*, 2007), sin embargo, la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta depende de las especies vegetales en el área de pastoreo, la etapa fenológica de las especies y la calidad del forraje suministrado, por ejemplo, si el heno se obtiene de los primeros brotes de pastura, puede tener mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados que si se hace con la pastura madura o en floración (Steinshamn *et al.*, 2014), además de la cantidad presente de poliinsaturados en la dieta influye también la disponibilidad que éstos tengan para ser hidrogenados por los microorganismos del rumen: si el porcentaje de hidrogenación es bajo, C18:2n-6 y C18:3n-3 pasarán intactos al intestino y la cantidad de éstos en la leche aumentará, resultado que se observó en un estudio realizado con vacas, donde se encontró que la transferencia de C18:2n-6 y C18:3n-3 de la dieta a la leche fue mayor al suministrar heno comparado con el grupo de vacas al que se suministró forraje fresco (Chilliard *et al.*, 2007). En este estudio se obtuvo mayor cantidad de C18:2n-6 y C18:3n-3 en la leche de cabras alimentadas con la dieta base, que fue la que contenía mayor proporción de heno de alfalfa, aunque no se analizó el perfil de ácidos grasos de las dietas suministradas, es posible que los ácidos grasos C18:2n-6 y C18:3n-3 presentes en la dieta hayan tenido protección contra la hidrogenación ruminal. Steinshamn y colaboradores en 2014 compararon el contenido de C18:1*trans*-11 y CLA de dos

grupos de cabras alimentados con heno de *Phleum pratense* L. de diferente calidad, donde se obtuvo una mayor cantidad de dichos ácidos grasos en la leche del grupo de cabras que consumieron heno con menor proporción de C18:2n-6 y C18:3n-3, este efecto fue relacionado con una reducción de la hidrogenación en el rumen. El C18:2*cis*-9,*trans*-11 (CLA) presente en la leche puede ser originado en el rumen por la hidrogenación e isomerización los ácidos grasos poliinsaturados C18:2n-6 y C18:3n-3 o en la glándula mamaria por la actividad de la esteroíl-CoA 9-desaturasa, que puede llevar a cabo una reacción de deshidrogenación para tener un doble enlace entre los átomos de carbono en las posiciones 9 y 10 del C18:1*trans*-11 (Griinari *et al.*, 2000; Chilliard *et al.*, 2003; Tsiplakou *et al.*, 2006; Chilliard *et al.*, 2007; Sanz Sampelayo *et al.*, 2007). Se ha informado que entre el 63% y 97% del C18:2*cis*-9,*trans*-11 presente en la leche es sintetizado en la glándula mamaria (Tudisco *et al.*, 2014). En este trabajo la mayor cantidad de C18:2*cis*-9,*trans*-11 se registró en la leche proveniente de las cabras alimentadas mediante pastoreo, seguido los tratamientos con 10%, 20% y 30% de inclusión de Af, entre los que no se registró diferencia significativa ($P \leq 0.05$), el valor menor se observó en la leche de la dieta base. La estrategia de alimentación basal, quizá disminuyó el proceso de biohidrogenación de los C18:2n-6 y C18:3n-3, lo que pudo influir en una menor cantidad de C18:1*trans*-11 y, por tanto, menor cantidad de CLA, sin embargo, para lograr hacer un análisis más amplio del grado de biohidrogenación es necesario obtener el perfil de ácidos grasos de la dieta y la cuantificación de ácido vaccénico, así como de compuestos fenolicos como taninos y posible actividad de la polifenol oxidasa ya que se ha observado que éstos pueden modificar el patrón de biohidrogenación de los ácidos grasos (León *et al.*, 2011; Cabiddu *et al.*, 2010; Márquez y Suárez, 2008).

La cantidad de C18:0 fue mayor para la leche de la dieta base, sin diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre la leche proveniente de pastoreo y los tratamientos con 10% y 20% de inclusión de Af. Se obtuvo el valor menor para la leche del tratamiento con 30% de inclusión de Af. El contenido de C18:1*cis*-9 fue mayor para la leche de la dieta base y para los tratamientos con 10% y 20% de Af, y menor para la de pastoreo y 30% de Af. Este ácido graso puede provenir de la

dieta o de la síntesis en la glándula mamaria por la esteroíl-CoA 9-desaturasa con el C18:0 como sustrato (Tudisco *et al.*, 2014), se observó que la variación de la proporción de dicho ácido graso entre los tratamientos es inversa a la con el valor de la suma de ácidos grasos saturados, un aumento en la proporción de ácidos grasos de cadena larga puede generar disminución de la síntesis de *novo* en la glándula mamaria, es decir, disminución de la proporción de C4:0-C16:0 (Chilliard *et al.*, 2007).

La cantidad de ácido eicosapentanoico (EPA) no presentó variaciones significativas con el cambio de la dieta, lo que sí sucede con el ácido docasahexanoico (DHA), el cual se registró menor cantidad en la leche de la dieta base y no se observó diferencia significativa entre los valores de este ácido graso en la leche de pastoreo, y la de los tratamientos con inclusión de Af.

8.2 Colesterol

Aproximadamente el 80% de la cantidad de colesterol presente en la leche deriva del suero sanguíneo, el 20% proviene de la síntesis en la glándula mamaria. Se ha informado que la leche de ganado bovino alimentado con concentrados y heno contiene más colesterol que la leche del ganado alimentado mediante pastoreo (Strzalkowska *et al.*, 2009; Barlowska y Sz wajkowska, 2011; Faye *et al.*, 2015), el mismo efecto se tuvo al comparar los dos tipos de dieta en la leche de ganado caprino (Morand-Fehr *et al.*, 2007). La misma tendencia se observó en este estudio: la leche de los animales alimentados con dieta base registró más colesterol en comparación con la leche de pastoreo, la cantidad de colesterol disminuyó con la creciente inclusión de Af (Cuadro 10).

El índice colesterol-grasa saturada (CGS) se calculó con los valores de cantidad de colesterol y grasa saturada presentes en la leche. El mayor valor de éste índice se obtuvo con la leche proveniente de la dieta base, dicho valor disminuyó con la inclusión creciente de frutos de Af.

8.3 Índices de riesgo y de promoción a la salud

En el presente estudio se observó un mayor valor de índice de promoción a la salud (IPS) para la leche de los animales alimentados con dieta base, dicho valor fue 0.46 sin diferencia estadística significativa con el valor correspondiente a la leche del tratamiento con inclusión de 10% de Af, a su vez, este valor no presentó diferencia estadística significativa con el tratamiento con 20% de inclusión de Af, los valores menores de este índice se presentaron en la leche de pastoreo y de 30% de inclusión de Af. La ecuación para calcular el IPS presentada por (Chen *et al.*, 2004) corresponde al inverso multiplicativo de la ecuación para calcular el índice aterogénico (IA) presentada por (Ulbricht y Southgate, 1991), se supuso que si el IA es un índice de riesgo al invertir la ecuación podría calcularse el efecto benéfico que puede tener el consumo del alimento en cuestión.

La variación de los valores del índice trombogénico (IT) es inversa a la observada para IPS con valores menores para la leche de la dieta base y con 10% y 20% de Af, sin diferencia estadística significativa entre estos tratamientos, para la leche de pastoreo se obtuvo un valor de 3.47 y el valor más alto para la leche proveniente del 30% de inclusión de Af. Tanto el IPS como el IT se calculan conociendo el perfil de ácidos grasos de un alimento, tomando los índices como parámetros se puede considerar más benéfico el consumo de un alimento si su valor de IPS es mayor o sus valores de IT y CGS menores respecto al de otros (Sinanoglou *et al.*, 2013; Nantapo *et al.*, 2014; Fernandes *et al.*, 2014; Barbieri *et al.*, 2016).

Los índices fueron calculados de acuerdo con las evidencias clínicas existentes respecto a la relación entre los ácidos grasos circulantes en el torrente sanguíneo y los niveles de lipoproteínas de baja densidad o la incidencia de accidentes cardiovasculares (Connor *et al.*, 1986; Ulbricht y Southgate, 1991). Si se consideran los resultados de algunos estudios recientes sobre la relación de los ácidos grasos con la incidencia de enfermedades cardiovasculares, podría suponerse que con el cálculo de los índices esté sobrevalorándose o subestimándose el efecto de algunos ácidos grasos sobre los niveles de colesterol

o su efecto cardioprotector, un ejemplo de ello es que se ha observado que no todos los ácidos grasos saturados tienen relación positiva con el desarrollo de cardiopatías ([Baum et al., 2012](#)), además se ha propuesto que la ingesta excesiva de hidratos de carbono refinados, como la fructosa, puede influir más en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares que la ingesta de ácidos grasos saturados ([Parodi, 2016](#)), ya que la fructosa en exceso genera más piruvato y acetil-coenzima A de lo necesario para la formación de ATP, lo que lleva a un aumento de síntesis de ácidos grasos y colesterol en el hígado lo que puede provocar hipertriacilgliceridemia e incremento de lipoproteínas de baja densidad (LDL) con potencial aterogénico ([Murray et al., 2012](#)).

En algunos estudios clínicos en los que se cuantificaron ácidos grasos en plasma y eritrocitos de pacientes con hipercolesterolemia o hipertriacilgliceridemia, considerados factores de riesgo para desarrollar enfermedades cardiovasculares, se encontraron niveles altos de C14:0, C16:0 y C18:0, y niveles bajos de C15:0 y C17:0, por lo que se ha considerado que estos dos últimos ácidos grasos no guardan relación con el riesgo de padecer alguna enfermedad cardiovascular ([Dawczynski et al., 2014](#)), por el contrario, se ha sugerido que la presencia de los ácidos grasos C15:0 y C17:0 en el torrente sanguíneo es un marcador del consumo de leche y productos lácteos ya que no son sintetizados en el cuerpo humano y son encontrados en el plasma sanguíneo cuando se ha consumido dichos alimentos ([Parodi, 2016](#)). Además, se ha relacionado el consumo de productos lácteos con la reducción del riesgo de presentar un primer evento de infarto de miocardio ([Warensjö et al., 2004](#); [Warensjö et al., 2010](#)), en otros trabajos se ha propuesto también que el consumo de grasa de alimentos de origen lácteo puede tener efecto cardioprotector ([Biong et al., 2006](#); [Larson et al., 2012](#); [Astrup, 2014](#)).

Al comparar los valores de la relación n-6/n-3 se observó que el valor menor se obtuvo para la leche de pastoreo y el mayor para la leche del 30% de inclusión de Af. En la dieta se busca que la proporción de n-3 consumida sea mayor que la de n-6, lo que quiere decir que un alimento es mejor si su relación n-6/n-3 es menor

(Chow, 2008), esto se recomienda considerando que los eicosanoides derivados del metabolismo del ácido linoleico (C18:2n-6), como prostaglandinas de la serie 2 y leucotrienos de la serie 4, tienen efecto proinflamatorio, por el contrario, los eicosanoides derivados del metabolismo del ácido α -linolénico (C18:3n-3) como prostaglandinas de la serie 3 y leucotrienos de la serie 5 tienen efecto antiinflamatorio (Calder, 2012; Calder *et al.*, 2013). En el cálculo del IT se tomó en cuenta la relación de estos ácidos grasos poliinsaturados así como la cantidad de ácidos grasos monoinsaturados considerando su efecto antitrombogénico, que se ha reportado en diversos estudios clínicos (Baum *et al.*, 2012; Endo y Arita, 2016). Los ácidos grasos poliinsaturados n-6 y n-3 no son los únicos presentes en la leche que pueden ejercer efectos benéficos en la salud. Se ha observado que el CLA puede tener actividad antiinflamatoria (Viladomiu *et al.*, 2016) y que el consumo de éste ácido graso está relacionado con la reducción de la concentración de colesterol en sangre y con la reducción de la presión sanguínea (Koba y Yanagita, 2014; Yang *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2016)

Con el cálculo de los índices presentados sólo se evalúan los ácidos grasos que pueden ejercer algún efecto en el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, sin embargo, dichos ácidos grasos no son los únicos presentes en la leche de cabra que pueden tener efectos benéficos en la salud. Los ácidos grasos caproico, caprílico y cáprico (C6:0, C8:0 y C10:0) han sido utilizados en el tratamiento de pacientes con problemas de absorción de nutrientes, insuficiencia pancreática, infantes con desnutrición y pacientes con epilepsia debido a la facilidad de absorción de estos compuestos, ya que, al contrario de lo que ocurre con los ácidos grasos de cadena larga, son absorbidos por las células intestinales sin necesidad de ser esterificados, lo que facilita su absorción por la vena porta directamente del intestino para ser transferidos al resto de los tejidos (Sanz Sampelayo *et al.*, 2007). En ensayos *in vitro*, se ha comprobado que estos ácidos grasos pueden disminuir la viabilidad de células de carcinomas de piel, colorrectal y mamario (Narayanan *et al.*, 2015). En el presente estudio fue posible cuantificar C8:0 y C10:0 en las muestras de leche, la mayor proporción de éstos se encontró en la leche de cabras alimentadas con la dieta base, la suma de ambos en este

tratamiento fue 3.88% de los ácidos grasos que es un valor menor a la proporción de ácidos grasos C6:0-C10:0 en leche de cabras reportada por otros autores, aproximadamente 15% (Narayanan *et al.*, 2015; Razzaghi *et al.*, 2015), además en este estudio no se identificó C6:0, ésto puede deberse a que es posible que en el almacenamiento de la leche en congelación y a temperatura ambiente después de la liofilización exista lipólisis generada por enzimas de bacterias psicrófilas (Paez *et al.*, 2006; Fonseca *et al.*, 2013), si existen como ácidos grasos libres al ser de cadena corta es posible que se evaporen en el proceso de saponificación y esterificación. Aún falta evidencia para relacionar el consumo de leche con la inhibición del desarrollo de carcinomas, sin embargo, sí se ha relacionado con la reducción de riesgo de padecer cáncer de mama (Maliou y Bitam, 2015) y cáncer de colon (Davoodi *et al.*, 2013).

9. CONCLUSIONES

- La inclusión de 10% y 20% de frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina no generó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácidos grasos insaturados respecto a la leche de los animales alimentados con la dieta base. Ésta fue mayor en los tratamientos mencionados comparando lo obtenido para la leche de pastoreo y del 30% de inclusión de frutos de *Acacia farnesiana*.
- Los resultados indican que la leche de las cabras alimentadas mediante pastoreo contiene mayor proporción de ácido linoleico conjugado respecto a la leche de la dieta base y la leche de los tratamientos con 10%, 20% y 30% de inclusión de frutos de *Acacia farnesiana*.
- La cantidad de colesterol fue menor en la leche proveniente de cabras alimentadas mediante pastoreo comparando con la leche proveniente de cabras alimentadas con la dieta base
- La inclusión creciente de frutos de *Acacia farnesiana* en la dieta caprina disminuyó la cantidad de colesterol en la leche.
- El mayor valor del índice de riesgo y promoción a la salud se obtuvo para la leche proveniente de la dieta base y con 10% de inclusión de *Acacia farnesiana*
- Para la leche proveniente de las cabras alimentadas con dieta base y con 10% de inclusión de *Acacia farnesiana* en la dieta se obtuvo menor valor de índice trombogénico respecto a la leche del resto de los tratamientos dietarios.

10. PERSPECTIVAS

Sería importante evaluar si el tiempo de almacenamiento de la leche en congelación y en a temperatura ambiente después de la liofilización tiene efecto en la proporción de ácidos grasos de 4 a 10 átomos de carbono.

Para lograr hacer un análisis más amplio del grado de biohidrogenación sería importante obtener el perfil de ácidos grasos de la dieta y la cuantificación de ácido vaccénico.

Realizar el estudio suplementando la dieta con la vaina y las semillas de *Acacia farnesiana*, cuantificando los taninos presentes y la posible actividad de la enzima polifenol oxidasa para probar si éstos compuestos influyen en la hidrogenación de ácidos grasos en el rumen.

Anexo I

Equipos

Se emplearon los siguientes equipos: centrifuga (Garver electrifuge, modelo 55), cromatógrafo de gases (Varian, modelo CP3380, con detector de ionización a la flama), cromatógrafo de gases (Agilent Technologies, 7890B) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent Technologies, 59779 A MSD), estufa Lab-line, L-C oven, licuadora marca Oster, parrilla de agitación magnética.

Reactivos

Los siguientes reactivos se obtuvieron de la marca Sigma Aldrich Co. (St. Louis, MO, EUA): éster metílico de ácido miristoleico (Cat. M3525, lote: 107k1104), ésteres metílicos de ácido linoleico conjugado (Cat. O5632, lote: 044k1188), 5 α -colestano (Cat. 481-21-0, lote: 128k4002), colesterol 99% mínimo (Cat. C8667-25G, lote: 027k5303, trifluoruro de boro en metanol 14% (Cat.1252, lote: SHBG2724V). Reactivos obtenidos de J.T. Baker Chemicals: cloruro de sodio (Cat. lote: 362401), n-heptano (Cat. 142-825, lote: H18750), hidróxido de sodio (Cat. 3722-10, lote: G26C52), hidróxido de potasio (Cat. UN1813, lote: 3140-01), hexano (Cat. UN1208, lote: 9304-02), piridina (Cat.3348-02, lote: E23C55). Reactivos obtenidos de HYCEL: cloroformo (Cat. 196, lote: 352346), etanol (Cat. 181, lote: 326627). Reactivos obtenidos de SUPELCO Analytical: N,O-(bis-trimetilsilil)trifluoroacetamida + trimetilclorosilano (BSTFA+TMCS; Cat. 33155-U, lote: LB73345), mezcla de ésteres metílicos FAME mix C4-C24 (Cat. 18919-1, lote: LC04276). Hexano grado cromatográfico EMSCIENCE (Cat. HX0290-1, lote: 38286844).

Preparación de disoluciones

Mezcla de disolventes para extracción de material lipídico.

Se mezclaron 1 L de etanol y 1 L de cloroformo, se agitó la mezcla con un agitador magnético durante 5 minutos.

Hidróxido de sodio 2% en metanol.

Se pesaron 20.3 g de hidróxido de sodio los cuales se disolvieron en 1 L de metanol y se agitó.

Hidróxido de potasio 2M

Se pesaron 12 g de hidróxido de potasio y se disolvieron en 100 mL de agua destilada.

Disolución derivatizante

Se mezclaron 10 mL de piridina con 10 mL de BSTFA+TMCS en un recipiente de color ámbar.

Estándar de ácido miristoleico

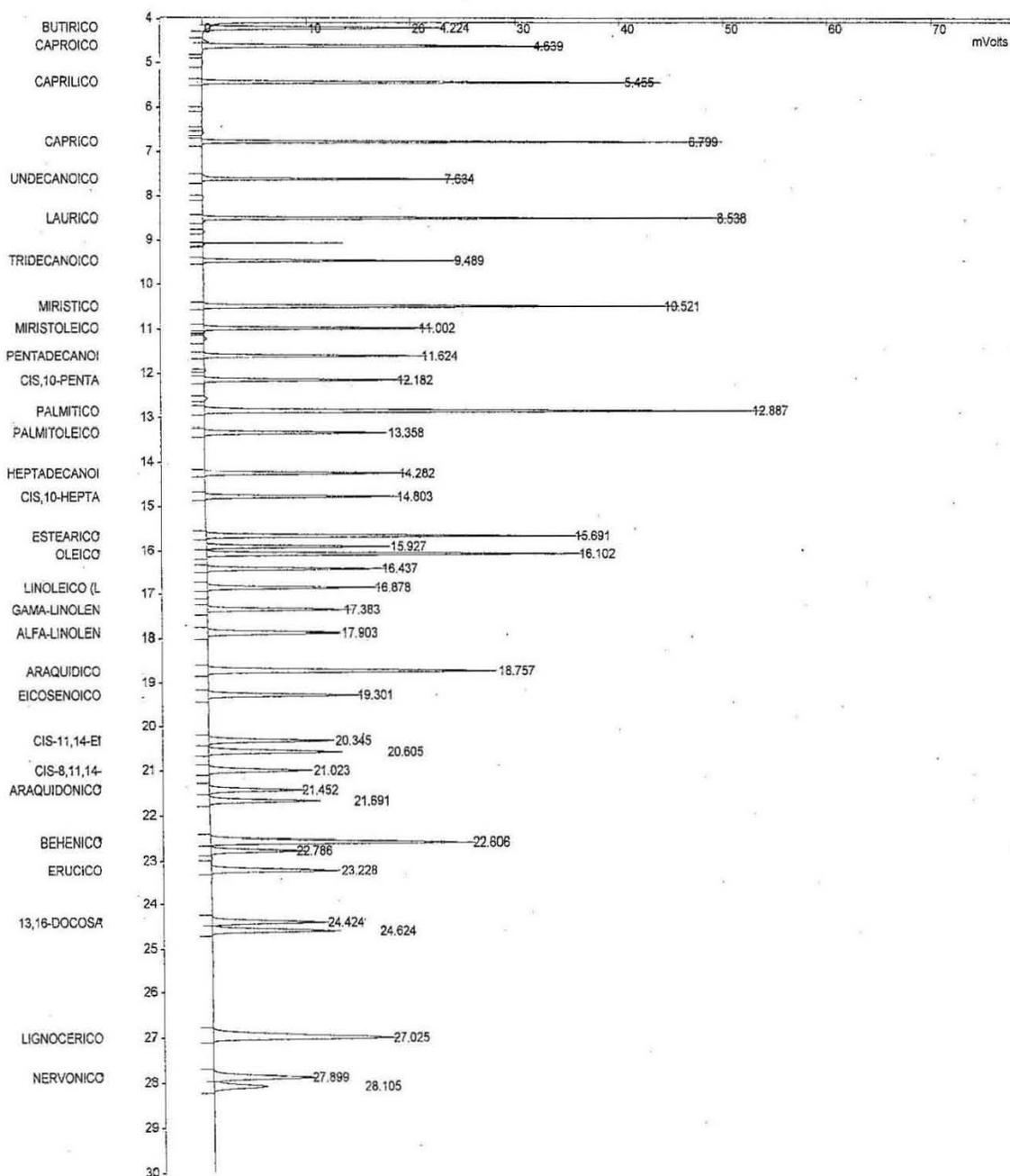
Se disolvieron 100 mg de éster metílico de ácido miristoleico en 100 mL de hexano.

Mezcla de estándares de esteroides derivatizados

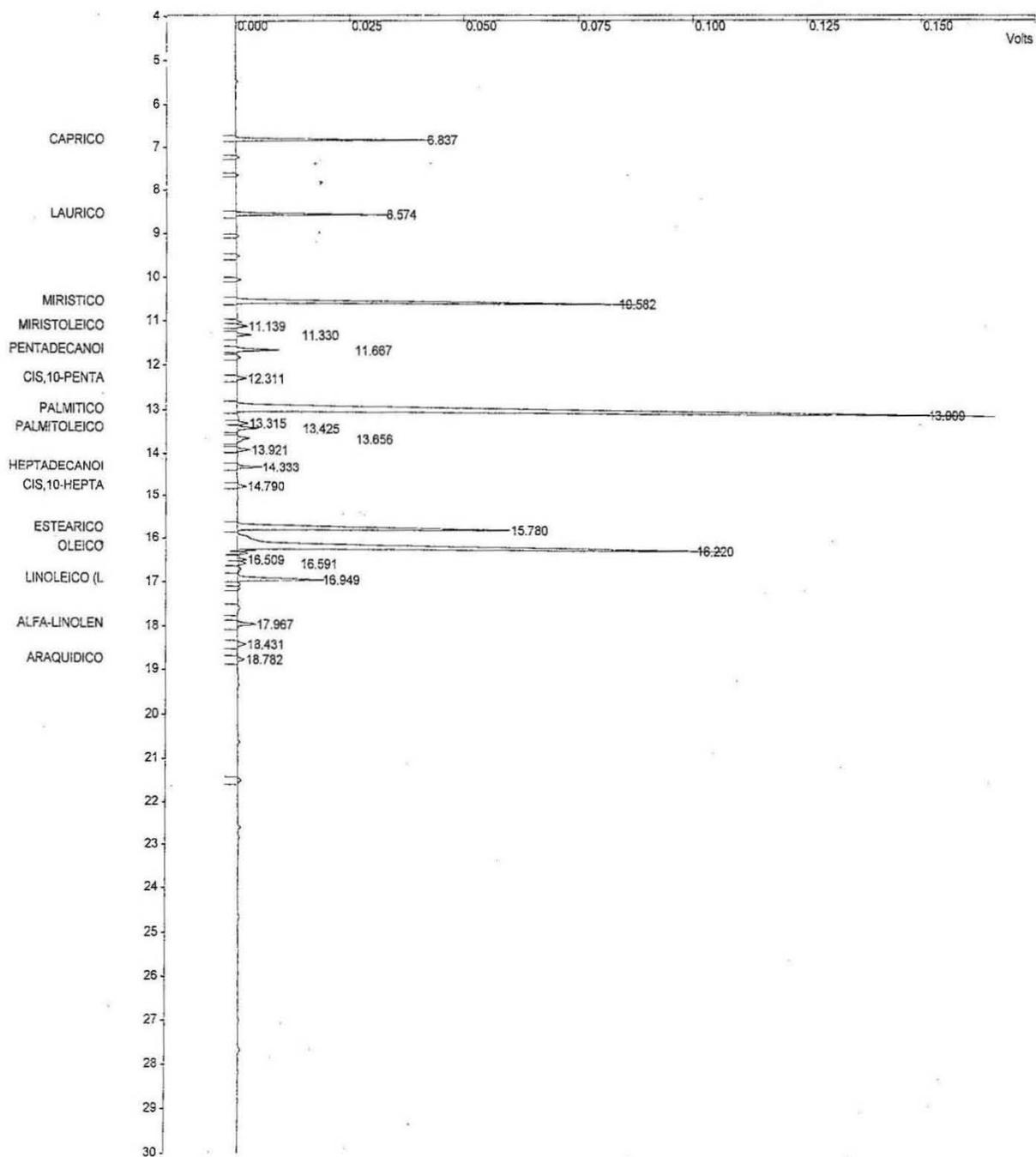
Se prepararon disoluciones de 1 mg/mL de 5- α -colestano y 0.8 mg/mL de colesterol. De cada una se tomó 1 mL y se colocó en un tubo de ensayo de 50 mL, se evaporó el disolvente a 60°C con flujo de nitrógeno, se adicionaron 400 μ L de solución derivatizante, se colocó en baño con agua a 70°C \pm 2°C durante 30 min, después de este tiempo se evaporó el disolvente a 60°C con flujo de nitrógeno, se reconstituyó el contenido del tubo con 1 mL de hexano grado cromatográfico y se almacenó en congelación en viales color ambar.

ANEXO II

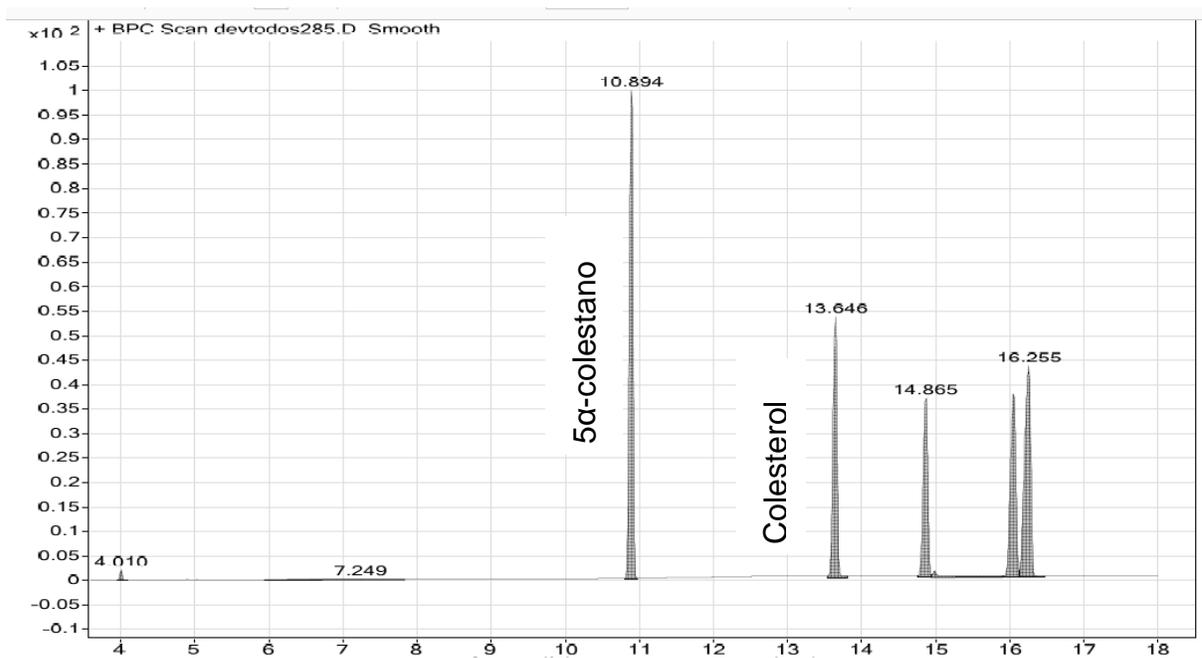
a. Cromatograma de mezcla estándar de metiles ésteres C4-C24



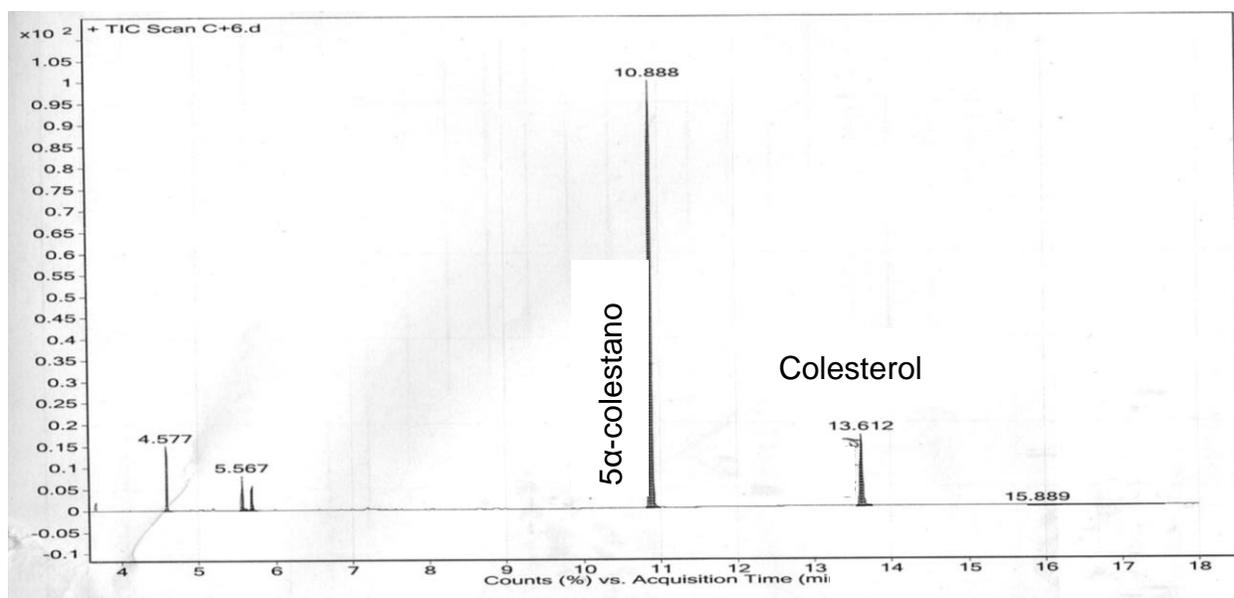
b. Cromatograma de extracto lipídico derivatizado de leche que muestra la presencia de ésteres metílicos de ácidos grasos



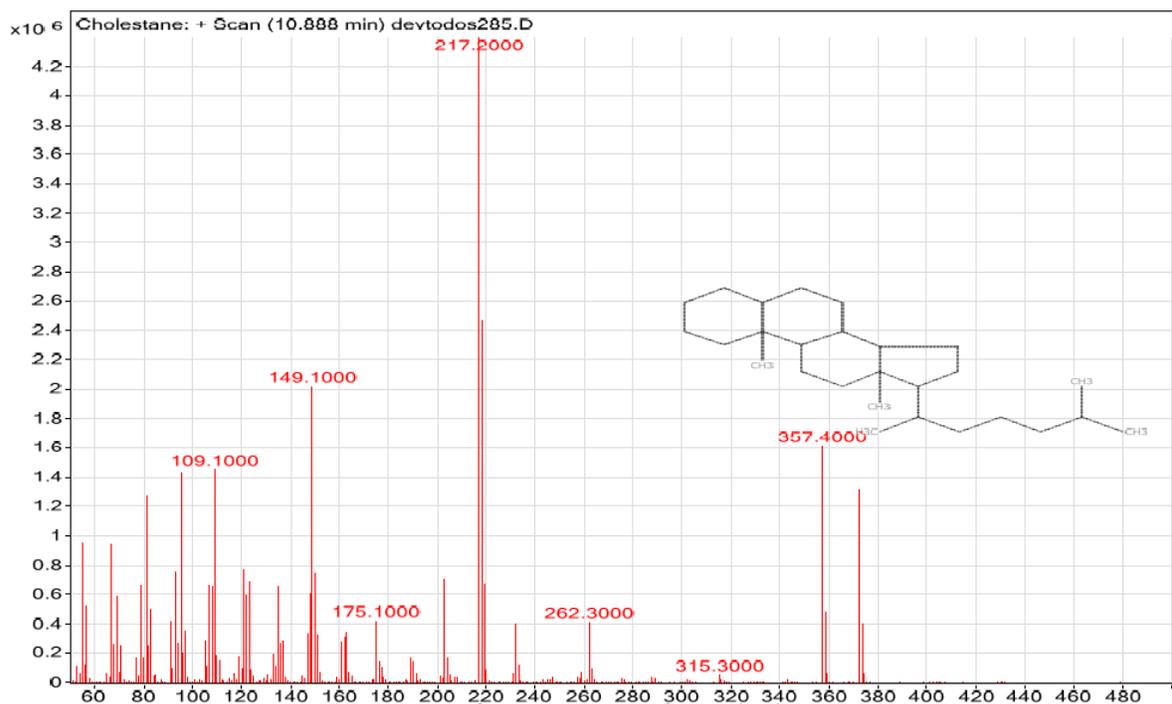
c. Cromatograma de estándar derivatizado de colesterol



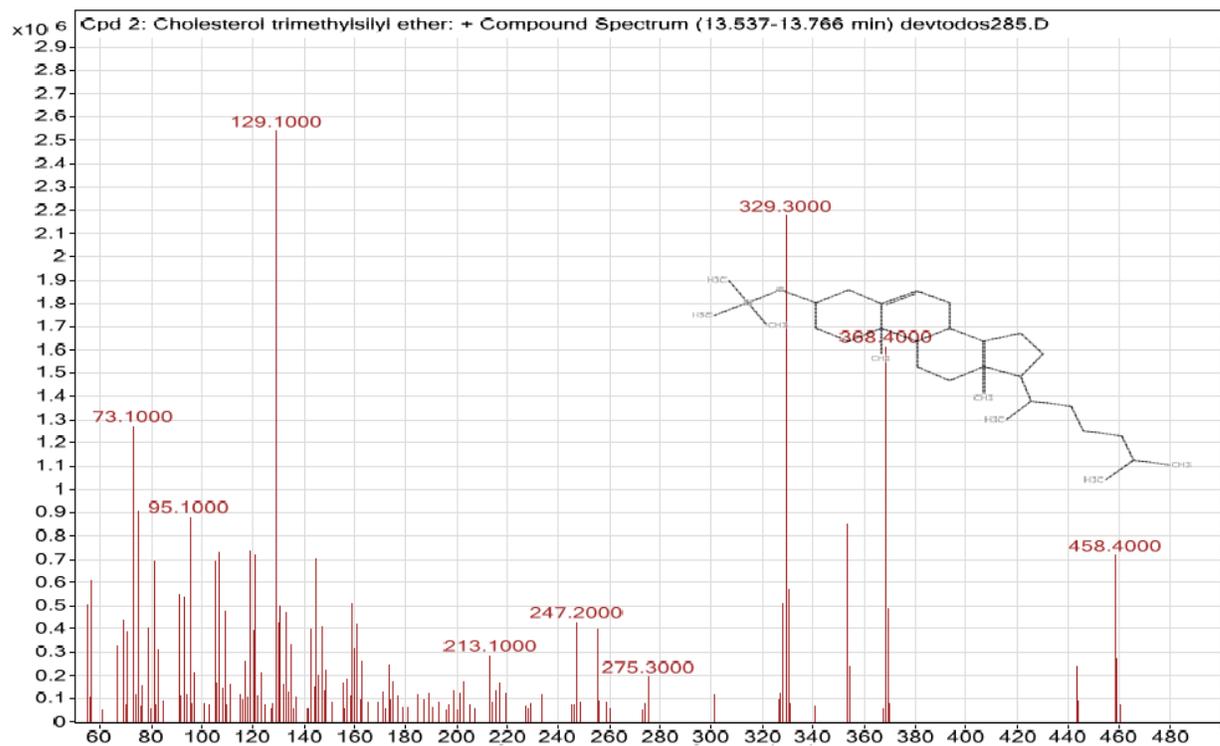
d. Cromatograma de extracto lipídico derivatizado de leche que muestra la presencia de colesterol



e. Espectro de masas de 5 α -colestano



f. Espectro de masas de colesterol derivatizado



11. REFERENCIAS

- Amigo, L., Fontecha, J. (2011). Goat Milk. In Enciclopedia of dairy science, 2nd edition pp. 484–493. Elsevier Ltd. Amsterda, NL.
- AOAC. Official Methods of Analysis (1990). 15th Edition. USA. Association of Official Analytical Chemists. 934.01, 942.05, 954.01, 954.02, 968.10
- AOAC. Official Methods of Analysis (2000). 16th Edition. USA. Association of Official Analytical Chemists. 923.07, 969.33
- Aranda, C., Del Prado, M. (2003). El origen de los lípidos en la leche. Rev contactos, 48: 65–70.
- Arbiza, I., de Lucas, J. (2001). La leche caprina y su producción. pp 211. Editores Mexicanos Unidos, Ciudad de México: Méx.
- ASTM (1974). Estándar for Bomb Calorimetry and Combustion Methods. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Astrup, A. (2014). Yogurt and dairy product consumption to prevent cardiometabolic diseases: Epidemiologic and experimental studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5), 1235–1242.
- Badui, S. (2006). La química de los alimentos. 4ta. Edición. pp. 738. Pearson Educación: Ciudad de México, Méx.
- Barbieiri, P., Nunes, J., Torres, A., Nishimura, R., Zuccolotto, D, Crivellenti, L., Sartorelli, D. (2016). Indices of dietary fat quality during midpregnancy is associated with gestational diabetes. *Nutrition*, 32(6), 656–661.
- Barłowska, J., Szwajkowska, M. 2011. The influence of cow breed and feeding system on the dispersion state of milk fat and content of cholesterol. *Anales de La Sociedad Polaca de Ciencia Animal*, 7(3), 57–65.

- Barrientos, L., Vargas, J., Rodríguez, A., Ochoa, G., Navarro, F., Zorrilla, J. (2012). Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera Bosques*, 18(3), 23–35.
- Baum, S., Kris-Etherton, P., Willett, W., Lichtenstein, A., Rudel, L., Maki, K., Whelan, J., Ramsden, C., Block, R. (2012). Fatty acids in cardiovascular health and disease: A comprehensive update. *Journal of Clinical Lipidology*, 6(3), 216–234.
- Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2009). Food Chemistry. 4th Edition. pp. 1114. Springer, Berlin, Ger.
- Biong, a S., Veierød, M., Ringstad, J., Thelle, D., Pedersen, J. (2006). Intake of milk fat, reflected in adipose tissue fatty acids and risk of myocardial infarction: a case-control study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(2), 236–244.
- Calder, P., Ahluwalia, N., Albers, R., Bosco, N., Bourdet-Sicard, R., Haller, D., Holgate, L., Jönsson, M., Latulippe, A., Moreines, J., Rini, M., Müller, M., Pawelec, G., van Neerven, R., Watzi, B., Zhao, J. (2013). A consideration of biomarkers to be used for evaluation of inflammation in human nutritional studies. *The British Journal of Nutrition*, Suppl. 109, S1–34.
- Calder, P. (2012). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology?. *British Journal of Clinical Pharmacology*. 75(3), 645-662.
- Cabiddu, A., Salis, L., Tweed, J. K. S., Molle, G., Decandia, M., Lee, M. (2010). The influence of plant polyphenols on lipolysis and biohydrogenation in dried forages at different phenological stages: In vitro study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(5), 829–835.
- Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E., Luhman, C., Boylston, T., Beitz, D. (2004). Physical and sensory properties of dairy products from cows with

various milk fatty acid compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3422–3428.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1751–1770.

Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., Doreau, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(8), 828–855.

Chung, I.-M., Kim, J.-K., Park, I., Oh, J.-Y., Kim, S.-H. (2016). Effects of milk type, production month, and brand on fatty acid composition: A case study in Korea. *Food Chemistry*, 196, 138–47.

Chow, K. 2008. Fatty acids in foods and their health implicatios. 3rd edition. pp. 1281
CRC Press, USA.

Connor, S., Artaud-Wild, Classick- Kohn C., Gustafson J., Flavell D., Hatcher L, Connor W. (1986). The cholesterol/saturated-fat index: indication of the hypercholesterolaemic and atherogenic potential of food. *The Lancet*. 327(8492): 1229-1232.

Cuchillo, M., Puga, C. , Wrage, N., Pérez-Gil, R. F. (2010). Feeding goats on scrubby Mexican rangeland and pasteurization: Influences on milk and artisan cheese quality. *Tropical Animal Health and Production*, 42(6), 1127–1134.

Cuellar, J., Tórtora, J., Trejo, A., Román, P. (2012). La producción caprina mexicana particularidades y complejidades. pp. 183. Ariadna, México.

Davoodi, H., Esmaeili, S., Mortazavian, A. M. (2013). Effects of milk and milk products consumption on cancer: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 249–264.

- Dawczynski, C., Kleber, M. E., März, W., Jahreis, G., Lorkowski, S. (2015). Saturated fatty acids are not off the hook. *Nutrition, metabolism, and cardiovascular diseases* : 25(12), 1071–8.
- Delgadillo, C., Domínguez, R., Hilario, M., Martínez, M., Benavidez, S. (2015). Capacidad de atrapamiento de radicales libres , perfil de ácidos grasos e índices de riesgo y promoción a la salud en quesos suaves de leche de cabra. *Archivos latinoamericanos de producción animal*, 23, 21–26.
- Delgadillo, C., Sánchez, B., Nahed, J., Cuchillo, M., Díaz, M., Solis, R.,Castillo, R. (2014). Fatty acid content, health and risk indices, physicochemical composition, and somatic cell counts of milk from organic and conventional farming systems in tropical south-eastern Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46(5), 883–888.
- Endo, J., Arita, M. (2016). Cardioprotective mechanism of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Cardiology*, 67(1), 22–27
- Fernandes, C., Vasconcelos, M., De Almeida Ribeiro, M., Sarubbo, L., Andrade, S., Filho, A. (2014). Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chemistry*, 160, 67–71.
- Faye, B., Bengoumi, M., Al-Masaud, A., Konuspayeva, G. (2015). Comparative milk and serum cholesterol content in dairy cow and camel. *Journal of King Saud University - Science*, 27(2), 168–175.
- Fonseca, C., Bordin, K., Fernandes, A., Rodrigues, C., Corassin, C., Cruz, A., Oliveira, C. (2016). Storage of refrigerated raw goat milk affecting the quality of whole milk powder. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4716–4724.
- Food and Agricultura Organization of the United Nations. 2016. *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/qbase/data/pf000113.htm>. [último acceso 17 de noviembre 2016]

- Gadeyne, F., De Neve, N., Vlaeminck, B., Claeys, E., Van Der Meeren, P., Fievez, V. (2016). Polyphenol Oxidase Containing Sidestreams as Emulsifiers of Rumen Bypass Linseed Oil Emulsions: Interfacial Characterization and Efficacy of Protection against in Vitro Ruminal Biohydrogenation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(19), 3749–3759.
- Galina, M., Puga, D., Hernández, A., & Haenlein, G. (1998). Biodiverse and biosustainable production system with goats in Mexico: importance of a forage bank. *Small Ruminant Research*, 27(1), 19–23.
- García, L., Goñi, S., Olguín, P., Díaz, G., Arriaga, C. (2009). Huizache (*Acacia farnesiana*) whole pods (flesh and seeds) as an alternative feed for sheep in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41(8), 1615–1621.
- Goetsch, A., Zeng, S., Gipson, T. (2011). Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), 55–63.
- Gómez, L.F., Signoret, J., Abuín, M., 1970. Mezquites y huizaches: algunos aspectos de la economía, ecología y taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C, Ciudad de México: Méx.
- Griinari, J., Corl, B., Lacy, S., Chouinard, P., Nurmela, K., Bauman, D. (2000). Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Δ^9 -desaturasa. *The Journal of Nutrition*, 130(9), 2285–2291.
- Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51(2), 155–163.
- Hannachi, H., Elfalleh, W., Ennajeh, I., Laajel, M., Khouja, M., Ferchichi, A., Nasri, N. (2011). Chemicals profiling and antioxidants activities of *Acacia* seeds. *Journal of Medicinal Plants*. 5 (31): 6869-6875.

IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature (CBN). Nomenclature of lipids, recommendation of 1976. Disponible en: <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/lipid/> [último acceso 12 de enero 2017]

Kalyankar, S., Khedkar, C., Patil, A. (2016). *Encyclopedia of Food and Health*. *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier, Amsterdam, NL.

Kapila, R., Kavadi, P. K., Kapila, S. (2013). Comparative evaluation of allergic sensitization to milk proteins of cow, buffalo and goat. *Small Ruminant Research*, 112(1-3), 191–198.

Kim, B., Lim, H., Lee, H., Kang, W., Kim, E. (2016). The effects of conjugated linoleic acid (CLA) on metabolic syndrome patients: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Functional Foods*, 25, 588–598.

Koba, K., Yanagita, T. (2014). Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity Research and Clinical Practice*, 8(6), e525–32.

Larsson, S., Virtamo, J., Wolk, A. (2012). Dairy consumption and risk of stroke in Swedish women and men. *Stroke*, 43(7), 1775–1780.

León, J., Pabón, M., Carulla, J. (2011). Pasture traits and conjugated linoleic acid (CLA) content in milk. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24, 63–73.

Liu, Y., Lei, L., Wang, X., Ma, K., Li, Y. M., Wang, L., Sun, W., Huang, Y., Chen, Z. (2015). Plasma cholesterol-raising potency of dietary free cholesterol versus cholesteryl ester and effect of β -sitosterol. *Food Chemistry*, 169, 277–282.

Maldini, M., Montoro, P., Hamed, A.I., Mahalel, A., Oleszek, W., Stochmal, A., Piacente, S. (2011). Strong antioxidant phenolics from *Acacia nilotica*: Profiling by ESI-MS and qualitative-quantitative determination by LC-ESI-MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 56: 228-239.

- Maliou, D., Bitam, A. (2015). Implication of milk and dairy products consumption through insulin-like growth factor-I in induction of breast cancer risk factors in women. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 29(4), 219–225.
- Manríquez, J., Zyuñiga, A., González, M., Torres, J. M. (2007). The antibacterial metabolites and proacacipetalin from *Acacia cochliacantha*. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 51(4): 228-231.
- Márquez, L., Suárez, A. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*, 87–109.
- Maslin, B.R., Orchard, A.E., West, J.G. (2003). Nomenclatural and classification history of *Acacia* (Leguminosae: Mimosoideae) and the implications of generic subdivision. Disponible en: <http://worldwidewattle.com/infogallery/taxonomy/nomen-class.pdf>.
- Merin, U., & Prosser, C. G. (2010). Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 110–124.
- Mingrou, G. (2009). *Functional foods: principles and technology*. pp 358. CRC Press, USA.
- Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., Le Frileux, Y. (2007). Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 20–34.
- Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V., Weil, P. (2012). *Harper Bioquímica ilustrada*. 29° ed. Mc Graw- Hill, Ciudad de México, Méx.
- Muthaura, C.N., Rukunga, G., Chhabra, S., Mungai, G. M., Njagi, E. (2007). Traditional antimalarial phytotherapy remedies used by the Kale community of the Kenyan Coast. *Journal of Ethnopharmacology*. 114:377-386.
- Nantapo, C., Muchenje, V., Hugo, A. (2014). Atherogenicity index and health-related fatty acids in different stages of lactation from Friesian, Jersey and Friesian Jersey

cross cow milk under a pasture-based dairy system. *Food Chemistry*, 146, 127–133.

Narayanan, A., Baskaran, S., Amalaradjou, M., Venkitanarayanan, K. (2015). Anticarcinogenic properties of medium chain fatty acids on human colorectal, skin and breast cancer cells in vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(3), 5014–5027.

Norma Mexicana. NMX-F-607-NORMEX-2012 ALIMENTOS –Determinación de cenizas en alimentos – Método de prueba.

Norma Mexicana. NMX-F-608-NORMEX-2011 ALIMENTOS- Determinación de proteínas en alimentos. Método de prueba.

Norma Mexicana. NMX-F-615-NORMEX-2004. Alimentos determinación de extracto etéreo (metodo soxhlet) en alimentos. Método de prueba

Norma Mexicana. NMX-707-COFOCALEC-2011. Determinación, identificación y cuantificación de esteroides en grasa anhidra extraída de leche y productos lácteos por cromatografía de gas-líquido-Método de prueba.

Norma Oficial Mexicana. NOM-043-SSA2-2012, servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.

Norma Oficial Mexicana. NOM-116-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o grasa.

Norma Oficial Mexicana. NOM-155-SCFI-2012, leche-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

Norma Oficial Mexicana. NOM-243-SSA1-2010, productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Ontsouka, E., Albrecht, C. (2014). Cholesterol transport and regulation in the mammary gland. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 19(1), 43–58.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Producción y productos lácteos. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/pequenos-rumiantes/es/#.WA6q1uDhDIU>. [último acceso 15 de noviembre de 2016].

Paez, R., Pensel, N., Sabbag, N., Taverna, M., Cuatrin, a, Zalazar, C. (2006). Changes in free fatty acid composition during storage of whole milk powder. *International Journal of Dairy Technology*, 59(4), 236–241.

Parodi, P. (2011). Nutritional and health-promoting properties of dairy products : fatty acids of milk and cardiovascular disease. *Elsevier Ltd*. 1023-1033.

Parodi, P. (2016). Dietary guidelines for saturated fatty acids are not supported by the evidence. *International Dairy Journal*, 52, 115–123.

RamLi, S., Harada, K., Ruangrunsi, N. (2011). Actividad antioxidante, antimicrobiana y citotóxica del extracto etanólico de Acacia farnesiana. *Farmacognosia Diario*. 3(23):50-58.

Renna, M., Cornale, P., Lussiana, C., Malfatto, V., Fortina, R., Mimosi, A., Battaglini, L. (2012). Use of *Pisum sativum* (L.) as alternative protein resource in diets for dairy sheep: Effects on milk yield, gross composition and fatty acid profile. *Small Ruminant Research*, 102(2-3), 142–150.

Razzaghi, A., Valizadeh, R., Naserian, A., Danesh Mesgaran, M., Rashidi, L. (2015). Effects of sucrose and sunflower oil addition to diet of Saanen dairy goats on performance and milk fatty acid profile. *Livestock Science*, 173, 14–23.

Rojas-Rodríguez, F., Torres-Córdoba, G. (2012). Árboles del valle central de Costa Rica: reproducción, Aromo (Acacia farnesiana). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22):66-67.

- Rzedowski, J. (1988). Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana*. 3:7-19.
- Salama, A., Such, X., Caja, G., Rovai, M., Casals, R., Albanell, E., Martí, A. (2003). Effects of Once Versus Twice Daily Milking Throughout Lactation on Milk Yield and Milk Composition in Dairy Goats. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1673–1680.
- Sánchez, E., Heredia, N., Camacho-Corona, M. del R., García, S. (2013). Isolation, characterization and mode of antimicrobial action against *Vibrio cholera* of methyl gallate isolated from *Acacia farnesiana*. *Journal of Applied Microbiology*. 115: 1307-1316
- Sanz Sampelayo, M., Chilliard, Y., Schmidely, P., Boza, J. (2007). Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1), 42–63.
- Schmidely, P., Andrade, P. (2011). Dairy performance and milk fatty acid composition of dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with soybeans or canola seed supplementation. *Small Ruminant Research*, 99(2-3), 135–142.
- Seigler, D. (2003). Phytochemistry of *Acacia-sensu lat.* *Biochemical Systemics and Ecology*. 31:845-873.
- SIAP, Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. Producción de leche de ganado caprino. [En línea] Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap/grafica_base/pecAvanceProd.jsp. (último acceso 31 de octubre de 2016).
- Serviddio, G., Bellanti, F., Villani, R., Tamborra, R., Zerbinati, C., Blonda, M., Ciaccireli, M., Giuseppe, P., Vendemiale, G., Iuliano, L. (2016). Effects of dietary fatty acids and cholesterol excess on liver injury: A lipidomic approach. *Redox Biology*, 9, 296–305.

- Silanikove, N., Leitner, G., Sumarmono, J., Sulistyowati, M. (2010). Fatty Acids Profiles of Fresh Milk, Yogurt and Concentrated Yogurt from Peranakan Etawah Goat Milk. *Procedia Food Science*, 3, 216–222.
- Sinanoglou, V., Batrinou, A., Mantis, F., Bizelis, I., Miniadis-Meimaroglou, S. (2013). Lipid quality indices: Differentiation of suckling lamb and kid breeds reared by traditional sheep farming. *Small Ruminant Research*, 113(1), 1–10.
- SNIF, S. N. de I. F. 2012. *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 4:1–7. Página electrónica <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/usos/fichas-snif> (último acceso: 17-11-2016)
- Soto, G. Moreno, L., Pahua, D. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la facultad de Medicina*. 56 (6), 8-22
- Steinshamn, H., Inglingstad, R., Ekeberg, D., Mølmann, J., Jørgensen, M. (2014). Effect of forage type and season on Norwegian dairy goat milk production and quality. *Small Ruminant Research*, 122(1-3), 18–30.
- Strzałkowska, N., Józwik, A., Bagnicka, E., Krzyzewski, J., Horbańczuk, J. (2009). Studies upon genetic and environmental factors affecting the cholesterol content of cow milk. I. Relationship between the polymorphic form of beta-lactoglobulin, somatic cell count, cow age and stage of lactation and cholesterol content of milk. *Animal Science Papers and Reports*, 27,2, 95–103.
- Sumarmono, J., Sulistyowati, M. (2015). Fatty Acids Profiles of Fresh Milk, Yogurt and Concentrated Yogurt from Peranakan Etawah Goat Milk. *Procedia Food Science*, 3, 216–222.
- Talpur, F., Bhangar, M., Khooharo, A., Memon, G. (2008). Seasonal variation in fatty acid composition of milk from ruminants reared under the traditional feeding system of Sindh, Pakistan. *Livestock Science*, 118(1-2), 166–172.

- Tamime, A. (2009). Milk Processing and quality management. pp. 313. Willey-blackwell, Oxford, UK.
- Thum, C., Cookson, A., McNabb, W., Roy, N., Otter, D. (2015). Composition and enrichment of caprine milk oligosaccharides from New Zeland Saanen goat cheese whey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 30–37.
- Toyes-Vargasa, E., Murillo-Amadora, B., Espinoza-Villavicenciob, J., Carreón-Palaua, L., Palacios-Espinosab, A. (2013). Composición química y precursores de ácidos vaccénico y ruménico en especies forrajeras en Baja California Sur, México (. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(3), 373–386.
- Tsiplakou, E., Mountzouris, K., Zervas, G. (2006). The effect of breed, stage of lactation and parity on sheep milk fat CLA content under the same feeding practices. *Livestock Science*, 105(1-3), 162–167.
- Tsiplakou, E., Zervas, G., (2013). The effect of fish and soybean oil inclusion in goat diet on their milk and plasma fatty acid profile. *Livestock Science*, 155(2-3), 236–243.
- Tudisco, R., Grossi, M., Calabrò, S., Cutrignelli, M., Musco, N., Addi, L., Infascelli, F. (2014). Influence of pasture on goat milk fatty acids and Stearoyl-CoA desaturase expression in milk somatic cells. *Small Ruminant Research*, 122(1-3), 38–43.
- Tudisco, R., Cutrignelli, M., Calabrò, S., Piccolo, G., Bovera, F., Guglielmelli, A., Monielo, G., Infascelli, F. (2010). Influence of organic systems on milk fatty acid profile and CLA in goats. *Small Ruminant Research*, 88(2-3), 151–155.
- Ulbricht, T., Southgate, D. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338, 985–992.
- Viladomiu, M., Hontecillas, R., Bassaganya-Riera, J. (2016). Modulation of inflammation and immunity by dietary conjugated linoleic acid. *European Journal of Pharmacology*, 785, 87–95.

Wasltra, P., Wouters, J., Geurts, T. (2006). Dairy science and technology. 2nd ed. pp. 762. CRC Press, New York, USA.

Warensjö, E., Jansson, J.-H. K., Cederholm, T., Boman, K., Eliasson, M., Hallmans, G., Johanson, I., Sjogren, P. (2010). Biomarkers of milk fat and the risk of myocardial infarction in men and women: a prospective , matched case-control study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92(4), 194–202.

Warensjö, E., Jansson, J.-H., Berglund, L., Boman, K., Ahrén, B., Weinehall, L., Lindahl, B., Hallmans, G., Vessby, B. (2004). Estimated intake of milk fat is negatively associated with cardiovascular risk factors and does not increase the risk of a first acute myocardial infarction. A prospective case–control study. *British Journal of Nutrition*, 91(2004), 635–642.

Yang, B., Chen, H., Stanton, C., Ross, R. (2015). Review of the roles of conjugated linoleic acid in. *Journal of Functional Foods*, 15, 314–325.