



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“RESPUESTA PRODUCTIVA DE CABRAS LECHERAS EN  
CONFINAMIENTO ADICIONANDO ACEITE DE SOYA EN  
LA DIETA”**

# **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

**ADELAIDA FÉLIX SÁNCHEZ**

**ASESOR:**

DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ  
DR. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA  
M. en C. RODOLFO VIEYRA ALBERTO

**Revisores:**

DR. JOSÉ LUIS BORQUEZ GASTELUM  
M. en C. ARTURO ÁLVAREZ GARCÍA



Toluca México, Mayo de 2016.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México por brindarme la oportunidad de realizar mi sueño y formarme como profesional.

A la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México por permitirme participar en su proyecto y ofrecerme un trabajo de tesis.

A todos los profesores que contribuyeron en mi formación como Médica Veterinaria Zootecnista.

A mis asesores por su dedicación y paciencia en la realización de este trabajo.

## **DEDICATORIAS**

A Dios nuestro señor por la vida y por permitirme concluir con este trabajo.

A mi padre porque aunque ya no esté a mi lado me dio muchos ejemplos de superación y de fortaleza, por su amor y apoyo hasta el último de sus días Te Amo papá, siempre te llevo en mi corazón.

A una gran mujer porque desde la partida de papá supo ser padre y madre, Gracias a eso me brindó la oportunidad de terminar mi formación profesional, aceptándome con mis aciertos y errores. Te Amo mami, porque no escatimaste nada para darme todo y agradezco con todo mi corazón el gran esfuerzo que has hecho, Dios te bendiga y te guarde siempre.

A mi hijo Abdiel que ha sido la alegría de mi vida y enorme bendición que me impulsa a seguir adelante, esforzarme y seguir superándome en esta hermosa profesión Te Amo mi niño.

A Ana, Nancy, Marisol, Denisse, Kenia, Diana, Adalberto y Chan por su amistad, espero que aunque pasen los años sigamos unidas las quiero chicas.

A Rodolfo, Luis y Guillermo por su agradable compañía en la realización de este trabajo, gracias chicos por hacer del trabajo algo tan divertido.

A cada una de esas personas que estuvo en mi vida aportando algo bueno o malo, que me hizo crecer como persona y como profesional.

## **RESUMEN**

La leche de cabra proporciona los nutrientes necesarios para una alimentación saludable de niños y adultos, su producción y composición química son importantes desde el punto de vista nutricional. Con el objetivo de evaluar el comportamiento productivo de cabras Sannen con y sin la adición de aceite de soya en la dieta. Se utilizaron 10 animales ( $46.2 \pm 5.8$  kg de peso vivo) en producción en su primer tercio de lactación, las cuales fueron divididas en dos grupos homogéneos acorde a la producción láctea ( $2.3 \pm 0.6$  kg/d). La dieta que se ofertó a los animales fue una ración total mezclada (TMR). Los tratamientos evaluados fueron: 1) Control, TMR sin la adición de aceite de soya; y 2) Soya 6, TMR con la adición de 6 % de aceite de soya. Se modeló estadístico incluyó los efectos del tratamiento, la semana de muestreo y la interacción. Se observó diferencia ( $P < 0.05$ ) en el consumo diario de alimento entre tratamientos. Las cabras que recibieron la suplementación de aceite de soya en la dieta incrementaron 11.9 % el consumo de materia seca comparado con el tratamiento control. No hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) sobre el contenido y rendimiento de grasa en leche ( $3.83 \pm 0.65$  %), proteína ( $2.99 \pm 0.12$  %) y lactosa ( $4.46 \pm 0.18$  %) entre tratamientos. Los ácidos grasos insaturados y de cadena larga en leche fueron mayores ( $P < 0.05$ ) cuando se adicionó 6 % de aceite de soya en la dieta de las cabras. La inclusión de aceite de soya en dietas de cabras Saanen en lactación en un sistema de producción intensiva no afecta la producción de leche, el contenido de grasa, de proteína y de lactosa en leche aun cuando se aumentó el consumo diario de alimento. Así mismo, se mejoró la calidad de la grasa de la leche por el incremento del contenido de ácidos grasos insaturados y de cadena larga, y disminuyendo el total de ácidos grasos saturados.

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Composición química (%) de la leche de cabra comparada con otros mamíferos.....	9
2	Composición de ingredientes de las dietas experimentales.....	28
3	Composición química de las dietas experimentales.....	34
4	Peso vivo, consumo de alimento y producción de leche de cabras Saanen en sistema intensivo adicionando aceite de soya en la dieta.....	35
5	Composición química (%) y rendimiento (g/d) de componentes de la leche de cabras Saanen en sistema intensivo adicionando aceite de soya en la dieta.....	39
6	Contenido de ácidos grasos de acuerdo a su grado de saturación y longitud de cadena de la leche de cabras Saanen adicionando aceite de soya en la dieta.....	43
7	Análisis económico de la adición de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen en lactación bajo un sistema de producción intensivo.....	49

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Población de ganado caprino en México.....	3
2	Población de caprinos por entidad federativa.....	4
3	Efecto de la relación forraje: concentrado sobre los AGVs y la producción de leche.....	16
4	Esquema de la digestión de la grasa por los rumiantes.....	23
5	Efecto de la semana experimental sobre el peso vivo corporal de cabras Saanen en sistema intensivo.....	37
6	Efecto de la semana experimental sobre el consumo de MS de cabras Saanen en sistema intensivo.....	38
7	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de grasa en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	41
8	Efecto de la semana experimental sobre el rendimiento de grasa en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	41
9	Efecto de la interacción tratamiento con semana experimental sobre el contenido ácidos grasos monoinsaturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	44
10	Efecto de la interacción del tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos de cadena media en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	45
11	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos saturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	45
12	Efecto de la semana experimental sobre la relación de ácidos grasos saturados: insaturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	46
13	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena corta en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	47
14	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena larga en leche de cabras Saanen en sistemas intensivos.....	48

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	i v
Índice de cuadros.....	v
índice de figuras.....	vi
I Introducción.....	1
II Revisión de literatura.....	3
2.1 Situación de la caprinocultura en México.....	3
2.2 Sistemas de producción caprina.....	4
2.3 Razas de cabras lecheras.....	7
2.3.1 Saanen.....	7
2.3.2 Toggenburg.....	7
2.3.3 Alpina Francesa.....	8
2.3.4 Granadina.....	8
2.3.5 Anglo Nubia.....	8
2.4 Características fisicoquímicas de la leche de cabra.....	9
2.4.1 Proteína en leche.....	10
2.4.2 Lactosa en leche.....	11
2.4.3 Lípidos en leche.....	12
2.4.4 Minerales en leche.....	13
2.5 Alimentación de las cabras.....	14
2.5.1 Metabolismo de nutrientes en caprinos.....	14
2.5.1.1 Metabolismo de carbohidratos.....	14
2.5.1.2 Metabolismo de proteínas.....	17
2.5.1.3 Metabolismo de lípidos.....	18
2.6 Fuentes de grasa para el animal.....	20
2.7 La adición de lípidos en la ración de rumiantes.....	21
III Justificación.....	24
IV Hipótesis.....	25
V Objetivos.....	26
VI Materiales.....	27
VII Método.....	28
7.1 Animales y tratamiento.....	28
7.2 Desarrollo experimental.....	29
7.3 Análisis de laboratorio.....	29
7.4 Análisis estadístico.....	30
7.5 Análisis económico.....	31
VIII Límite de espacio.....	32

IX	Límite de tiempo.....	33
X	Resultados y Discusión.....	34
10.1	Composición química de la dieta.....	34
10.2	Desempeño productivo: consumo de alimento y producción.....	35
10.3	Composición química de la leche.....	38
10.4	Contenido total de ácidos grasos en leche.....	42
10.5	Análisis económico.....	50
XI	Conclusión.....	51
XII	Literatura citada.....	52

## I. INTRODUCCIÓN

Las cabras ocupan el cuarto lugar a nivel mundial en cuanto a población total de animales (Morand-Fehr y Boyazoglu, 1999), los países en desarrollo tienen aproximadamente el 95% de todas las cabras del mundo (Knights y García, 1997).

En México se tiene una población estimada de 8.8 millones de cabezas de ganado caprino, las cuales producen anualmente poco más de 152 millones de litros de leche y 39 mil toneladas de carne (SIAP, 2014). Las cifras anteriores, aunque solo contribuyen modestamente con el 2 y 1% de la producción nacional de leche y carne, son importantes desde el punto de vista social, ya que representan un medio de ingreso y fuente de alimento para las familias campesinas, ubicadas principalmente en las zonas áridas y semiáridas del norte de México (FIRA, 1999).

La leche es considerada como el alimento más completo, principalmente por el valor biológico de sus constituyentes. Su importancia se encuentra en la forma y en las proporciones adecuadas de vitaminas, minerales, lactosa, grasa y proteína, de tal manera que es considerado el alimento más completo (Arbiza y De Lucas, 2001). La cabra proporciona leche con los nutrientes necesarios para una buena alimentación de niños y adultos. La leche de cabra es más digestible que la leche de vaca, porque sus glóbulos de grasa son más pequeños (Gómez *et al.*, 2009).

La dieta de los rumiantes contiene generalmente entre 2 y 5% de lípidos, de los que la mitad aproximadamente son ácidos grasos (Doreau y Ferlay, 1994). La adición de lípidos a las dietas de los rumiantes puede hacerse por varias razones: i) aumentar la concentración de energética en situaciones de elevada producción, ii) reducir el riesgo de acidosis ruminal y la caída de la grasa láctea en dietas pobres en forrajes fibrosos, iii) modificar los ácidos grasos que pueden ser absorbidos y, iv) disminuir el costo de la dieta (Wattiaux, 2005).

La inclusión de lípidos no protegidos en la dieta de los rumiantes puede afectar negativamente a la población microbiana del rumen con el consiguiente efecto sobre los parámetros de fermentación ruminal y la digestión de los componentes de la dieta. El principal efecto de los lípidos suplementarios no protegidos es la reducción de la digestibilidad de la fracción fibrosa de la dieta, esto es, fibra neutra detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) (Doreau y Chilliard, 1997). Así mismo, se ha observado que la inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta reduce la producción de metano (Vilmar, 2011).

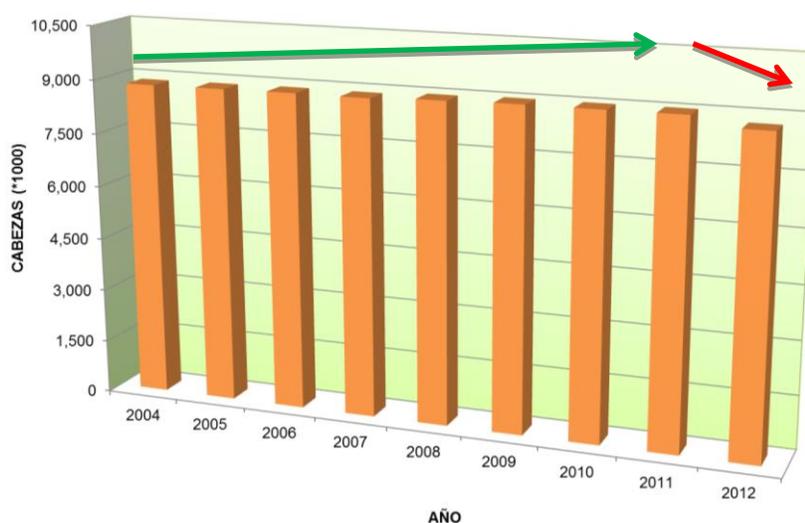
Los carbohidratos fibrosos son el componente mayoritario en la dieta de los rumiantes y su fermentación ruminal aporta ácidos grasos volátiles que sirven como sustratos para cubrir las necesidades de energía y la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y glucosa; por lo tanto, la digestibilidad de la fibra es relevante desde el punto de vista de la producción de leche y grasa láctea (Martínez *et al.*, 2011). Doreau y Ferlay (1995) concluyeron que la inclusión de lípidos tiende a reducir la concentración ruminal de amoníaco pero no afecta al flujo duodenal de nitrógeno no amoniacal, microbiano y no microbiano, lo que indica que el efecto sobre la degradación de la proteína y la síntesis microbiana es mínimo de forma general, la inclusión de lípidos suplementados en la dieta de los rumiantes no afecta o incluso en la mayoría de las ocasiones aumenta la digestibilidad total de la proteína (Loor *et al.*, 2002).

Por lo tanto, siendo la dieta el principal factor que provoca cambios en la composición de la leche, derivado de los procesos de fermentación ruminal, y la adición de aceite en la dieta animal, una estrategia de alimentación que modifique la calidad de la leche, aunque con posibles efectos negativos sobre los productos de la fermentación en rumen (Chilliard y Ferlay, 2004) puede mejorar la calidad de la misma. Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen sobre el desempeño productivo y composición de la leche a lo largo de 12 semanas de lactación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Situación de la caprinocultura en México

Durante los últimos años la población caprina se ha mantenido constante en México, teniendo una tasa anual de crecimiento media de 0.24%; sin embargo, en el 2012 tuvo una disminución de número de cabezas con un 2.89% (SIAP, 2014). Esto se debió a la disminución del número de cabezas en los Estados de Chihuahua e Hidalgo, principalmente (Figura 1).

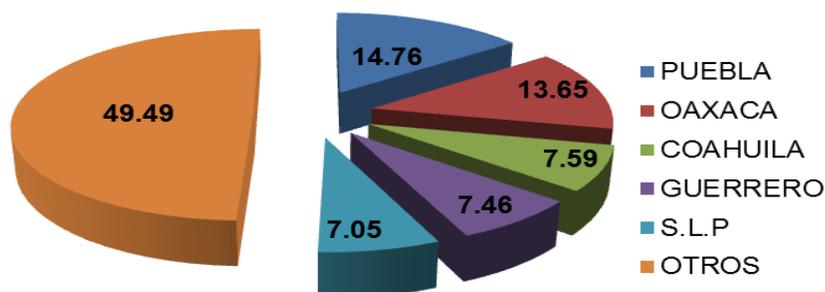


**Figura 1.** Población de ganado caprino en México.

La Figura 2 presenta la población de caprinos por estados en México. Los estados de Puebla, Oaxaca, Coahuila, Guerrero y San Luis Potosí representan más del 50% de la población nacional, donde se produce principalmente leche y carne, y en pequeñas cantidades pie de cría y cabrito. El Estado de México ocupa el vigésimo lugar a nivel nacional, con 124,901 cabezas de caprinos (SIAP, 2014).

En México las cabras producen anualmente 152,332 mil litros de leche y alrededor de 39 mil toneladas de carne (SIAP, 2014). Estas cifras son importantes desde el punto de vista social, ya que representan un medio de ingreso y fuente de alimento para numerosas familias campesinas, ubicadas principalmente en las zonas áridas y semiáridas del norte de nuestro país (FIRA, 1999).

Así mismo, los caprinocultores han demostrado su capacidad empresarial, particularmente con la industrialización de los productos lácteos, que le dan un valor agregado en diferentes regiones de México (Galina, 2002).



**Figura 2.** Población (%) de caprinos por entidad federativa (SIAP, 2014).

En la mayoría de los casos, la caprinocultura se desarrolla bajo condiciones marginales, con bajos parámetros productivos y reproductivos ligada a familias que han diversificado sus actividades agrícolas con la presencia de este tipo de ganado. Casos de excepción son los Estados de Coahuila, Guanajuato y Durango donde cuentan con un gran número de explotaciones intensivas enfocadas a la producción de leche, pie de cría y cabrito. Estos tres Estados aportan más del 72% de leche de cabra que se produce en el país (SIAP, 2014). Esta es la única especie en México, de la cual el pequeño productor posee la mayor parte del inventario existiendo más de 300 mil familias que tienen en la caprinocultura una de sus principales actividades (Cantú, 2008).

Generalmente, la caprinocultura es considerada como una actividad de subsistencia y única alternativa productiva y de empleo en las regiones áridas y semiáridas de México, predominando animales de tipo criollo (80% de la población), cruza con razas puras como Alpina, Saanen y Nubia (12%) y razas puras que representan tan solo el 8% de la población total (Cepeda, 2007).

## **2.2. Sistemas de producción caprina**

En México los sistemas de producción caprino existentes se pueden clasificar de acuerdo a la intensidad de uso del suelo, a la movilidad y a los productos principales que generan estos animales (Arbiza y De Lucas, 2001).

## **Intensidad de uso de suelo**

Se observan tres tipos de sistemas: extensivo, semi intensivo e intensivo.

**a) Sistemas extensivos.** Los sistemas extensivos son los que utilizan los terrenos menos productivos, no aptos para actividades agrícola ni forestales y las cabras generalmente no disponen de otras fuentes de alimentación por lo que emplean grandes extensiones de terreno (Gómez *et al.*, 2009). Herrera (1999) menciona que el 90% de las explotaciones del país se ubican dentro de este sistema, donde los animales son criollos con gran rusticidad y bajo rendimiento en pie y en canal, así como baja producción en leche (30 kg por lactancia). También, es común en la baja tecnificación y el sobrepastoreo, lo cual ha causado degradación del suelo y vegetación. La escasez de recursos alimenticios determina otras características del sistema: estacionalidad marcada de los empadres, venta de los cabritos al destete, nula o muy baja disponibilidad de leche para la venta y baja productividad en general (FAO, 1987).

**b) Sistema semi intensivo.** Este sistema se ubica en regiones con mayor productividad, en donde pueden combinar el pastoreo y ramoneo de agostaderos en parte del año con el aprovechamiento de residuos de cosecha y de la vegetación de áreas marginales (Cantú, 2008). El tipo de animales que lo integran son de razas lecheras puras o sus cruza, con producciones de leche que varían de 200 a 450 kg/año (Herrera, 1999). Es frecuente que la economía de estos sistemas permita que se tecnifiquen e integren en forma apreciable, lo cual aunado a la mejor alimentación permite una productividad animal mayor que los sistemas extensivos y más de una época anual de empadre, sin aumentar significativamente los costos de producción. La zona templada del país es de este tipo de sistema (FIRA, 1999).

**c) Sistemas intensivos.** Su característica principal es el empleo de mayor inversión comparado con los dos anteriores y poca superficie, con una administración eficiente y alta tecnificación. Se caracteriza por estabulación permanente, uso de forraje de corte y concentrado, y animales de alto valor genético se explotan. Cabras lecheras que sobrepasan los 600 kg de leche por año (Herrera, 1999). Ejemplo de estos sistemas hay en el norte y centro del país.

## **Movilidad de la explotación**

Dentro de los sistemas extensivos y semi intensivos se observan diferentes formas de producción, dependiendo de la movilidad que presentan durante el transcurso del año: sedentario, nómadas y trashumantes.

**a) Sistemas sedentarios.** Caracterizado por ubicarse en lugares fijos, alrededor de los cuales pastorean y normalmente se utiliza un corral que sirve para hacer un encierro durante la noche (Valencia, 2002). Para evitar deterioro en la vegetación que utiliza o en la condición de los animales, debe manejarse el pastoreo de modo que se produzca y consuma la cantidad necesaria de forraje para los animales existente (Cantú, 2008). Se distinguen dos variantes: los que realizan su actividad trófica en agostaderos en los cuales la oferta de forraje es multi' específica y proviene principalmente del matorral desértico, y los que se ligan estrechamente a los componentes y procesos de los sistemas de cultivo, siendo las principales fuentes de forraje las malezas, los remanentes de cosecha y en menor grado la vegetación natural de las áreas que no se cultivan o dejan de hacerlo por la falta de agua (Valencia, 2002).

**b) Sistemas nómadas.** Hacen un pastoreo en el que van recorriendo una ruta mientras pastorean, sin regresar a un lugar fijo de encierro. Es frecuente que se empleen corrales móviles para evitar pérdidas de animales. Si son muchos rebaños los que recorren la misma ruta, es fácil que se degrade la vegetación por no tener una administración adecuada. Es propia de territorio con uso extensivo del terreno, bajo régimen de propiedad comunal o con poco control de uso (Cantú, 2008).

**c) Sistemas trashumantes.** Estos hacen al menos una migración anual de una región agroclimática a otra, que en la época del año en que se pastorea ofrece ventajas como más disponibilidad de forraje o un clima más benigno. Se distingue de los sistemas nómadas en que la migración es estacional, no continua. También se diferencia de los sistemas sedentarios de dos o más fases en que migran a una región que tienen clima y vegetación distintos a los del lugar de donde salen. Un buen sistema de transhumancia está menos expuesto a las variaciones estacionales de disponibilidad de forraje características de otro tipo de pastoreo (Cantú, 2008).

## **Obtención de productos principales**

Otra clasificación de sistemas productivos es la basada en los productos principales obtenidos, donde pueden observarse los siguientes tipos, que abarcan a la mayoría de los sistemas: producción de cabrito, producción de carne de chivo y producción de leche (Arbiza y de Lucas, 2001).

### **2.3. Razas de cabras lecheras**

Son pocas las razas de cabras que se pueden considerar como lecheras. La mayoría de estas razas se han originado en zonas de clima templado y son principalmente europeas aunque hoy es cosmopolita, inclusive en regiones de climas tropicales (Cofré, 2001).

#### **2.3.1. Saanen**

Las Saanen o Guessenay es de origen suizo, de pelo totalmente blanco, altas (metro de alzada) y con un elevado peso vivo, es frecuente que los machos adultos sobrepasen los 100 kg y las hembras los 70 kg de PV. Los dos sexos presentan barbas y astas. Tienen las pezuñas amarillas, las ubres de tamaño mediano con pezones grandes y rectos, las oreja cortas erectas y puntiagudas. El pelo es corto y muy suave (Cantú, 2008).

Son grandes productoras de leche. No son raros los rendimientos sostenidos superiores a los 5 litros diarios. En América está muy extendida, existiendo buenos rebaños en Brasil, México y Argentina.

#### **2.3.2. Toggenburg**

Es de origen suizo, del cantón de San Galo y, quizás, originada a partir de Saanen o Appenzell cruzada con Alpina Chamoisée (pardas). Los animales de esta raza son de tamaño mediano a grande, de pelo más largo que la Saanen, de un color marrón que varía desde el muy claro hasta el chocolate oscuro (Arbiza y De Lucas, 2001). Se caracteriza por el dibujo de dos franjas blancas que van desde los ojos hasta el morro y en las orejas. Las piernas son blancas debajo de las rodillas y el animal tiene un triángulo blanco a los lados de la cola. Los dos sexos son astados. Las medidas y los pesos corporales son semejantes a las Saanen al igual que los parámetros para la producción láctea (Cantú, 2008).

### **2.3.3. Alpina francesa**

Su origen se encuentra en las cabras locales que vivían entre los pirineos y los Alpes, las que han sido cruzadas desde hace siglos con animales suizos. La Alpina se puede considerar como la más importante de Francia, en donde se mantiene y difunden más variedades muy productivas como las Chamoisée, la que es conocida en América del sur como parda alpina por su color parecido al del ante (chamois), rojizo oscuro (Gómez *et al.*, 2009).

### **2.3.4. Granadina**

Se originó en España, proviene de la *Capra aegagrus* y de razas africanas. La talla es pequeña; con una alzada de 60 a 65 cm y 65 a 70 cm en hembras y machos respectivamente. Son de color negro caoba, con pelos finos y cortos. Son de cabeza braquiocefálica, triangular y fina; con o sin cuernos; presentan una frente amplia y plana, ojos grandes, salientes y vivos; son de perfil recto y tienen orejas finas. El cuello es robusto, alargado y cónico, los miembros son fuertes y bien aplomados. Posee ubres abolsadas de regular tamaño, al igual que los pezones; las venas mamarias son tortuosas. El macho presenta testículos recogidos de base amplia. Son de gran precocidad, rusticidad, fecundidad y prolificidad. Presentan actividad sexual durante todo el año. Existen ejemplares que producen más de 700 kg de leche al año, el promedio es de 300 kg anuales con 4.5% de grasa en la leche. Su explotación es generalmente en zonas con clima cálido (De la Rosa, 2011).

### **2.3.5. Anglo Nubia**

Esta raza fue formada en Inglaterra a partir del cruzamiento de cabras del desierto de Nubia. De otras provenientes de la india tales como la Jamnapari y de Egipto como la Zaraibi, todas de orejas anchas y colgantes, con cabras locales de las granjas inglesas. Son animales relativamente grandes, de perfil convexo y orejas grandes colgantes, cuernos chicos y curvos hacia atrás, barba pequeña, casi inexistente en la hembra. Su pelo es corto, sin color ni dibujo predominante. Se afirma que son animales que toleran muy bien altas temperaturas. Su origen es totalmente inglés, su leche es de buena calidad, con alto contenido en materia seca y de grasa (Cepeda, 2007).

## **2.4. Características fisicoquímicas de la leche de cabra**

La leche de cabra es un alimento completo y nutritivo, supera a la leche de vaca porque proporciona una mejor mineralización del organismo ayudando a desarrollar huesos más compactos y mejor formados (Arbiza y De Lucas 2001) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Composición química (%) de la leche de cabra comparada con la de otros mamíferos (Arbiza y De Lucas 2001).

<b>Componente</b>	<b>Cabra</b>	<b>Oveja</b>	<b>Vaca</b>	<b>Mujer</b>
Grasa	3.67	3.80	3.6-4.4	7.19
Sólidos no grasos	9.02	8.68	6.90	5.69
Lactosa	4.78	4.08	6.92	4.66
N total x 6.38	3.42	3.33	1.22	-
Caseína	2.63	2.47	0.40	4.53
Albumina y globulina	0.60	0.43	0.70	0.973
N no proteico x 6.38	0.19	0.44	0.12	0.213
Cenizas totales	0.31	0.73	0.90	-
Calcio (CaO)	0.184	0.194	0.042	0.194
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.234	0.270	0.060	0.135
Cloro	0.105	0.154	0.06	-
Hierro (p.p 100 000)	0.080	0.068	0.1-0.2	0.07
Cobre	0.057	0.053	0.057	-
Vitamina A (UI g de grasa)	21	39	31.9	20
Vitamina B <sub>1</sub>		68	17	43

La composición fisicoquímica de la leche es muy variable, existiendo diversidad según la raza, dieta, número de parto, edad, manejo, estado fisiológico de animal, ambiente, etapa de lactación y estado de salud de la ubre (Park *et al.*, 2007). Por otra parte, existen diferencias importantes entre la leche de cabra y otros mamíferos como la de vaca, oveja y humana. La leche de cabra difiere de la leche humana y de vaca en que tiene mejor digestibilidad, alcalinidad, capacidad buffer y ciertos valores terapéuticos en medicina y nutrición humana (Haenlein y Caccese, 1984; Park, 1994).

Además, la leche de cabra posee los glóbulos de grasa más pequeños y generalmente el 65% tiene en promedio un diámetro de 3.5  $\mu$ , considerablemente menores a los de la leche de vaca que son de 4.5  $\mu$  (Stark, 1988). Lo anterior, hace que la leche caprina presente una digestibilidad y metabolismo de lípidos

mejor que la grasa de la leche de vaca (Park, 1994). La densidad de la leche de cabra es comparable a la de vaca, pero es más baja que la de la oveja, mientras que ambas tienen mayor viscosidad y acidez titulable, pero más bajo índice de refracción y un menor punto crioscópico comparado con la leche de vaca (Parkash y Jenness, 1968; Haenlein y Wendorff, 2006).

La composición de la leche de cabras puede ser modificada por el celo (aumento de cloro y sodio), una vez terminado el estro la leche vuelve a ser normal. Los cambios climáticos también pueden alterar su composición. La alimentación y el balance de nutrientes afectan la composición de la leche. Diversas investigaciones han mostrado que la materia seca y el contenido de grasa disminuye a finales de verano (Arbiza y De Lucas, 2001). El calostro es segregado por las glándulas mamarias de los mamíferos antes, durante y después del parto. Éste es considerado, la primera leche, como un alimento de gran importancia para el recién nacido, pasado tres o cuatro días del parto se produce la leche definitiva (Arbiza *et al.*, 1986).

#### **2.4.1. Proteína en leche**

Durante la lactancia, la glándula mamaria tiene una alta prioridad para utilizar aminoácidos. El metabolismo de aminoácidos en la glándula mamaria es sumamente complejo. Los aminoácidos pueden ser convertidos a otros aminoácidos u oxidados para producir energía. La mayoría de los aminoácidos absorbidos por la glándula mamaria es utilizada para sintetizar proteínas de la leche. La proteína principal de la leche es la caseína y ésta constituye alrededor de 90% de la proteína en la leche (Wattiaux, 2005).

El contenido de proteína promedio de la leche de cabra es de 4.6%, el cual es mayor que la de vaca (3.3%) y menor que la de oveja (5.8%), aunque varía ampliamente por los factores mencionados anteriormente (Park *et al.*, 2007). Los contenidos de caseína en leche de cabra varían de 16 a 26 g/L (Remeuf y Lenoir, 1986). La leche de cabra contiene de 0.5 a 0.6% de nitrógeno, distribuido en las caseínas, lactoalbúminas y nitrógeno no proteico (Arbiza *et al.*, 1986). Las proporciones de nitrógeno no proteico con respecto al nitrógeno total están entre 3 y 13% (Remeuf y Lenoir, 1986). La caseína constituye el componente nitrogenado más abundante, aproximadamente el 80% de todos aquellos compuestos en que figura ese elemento, las proteínas del suero, lactoalbúmina y lactoglobulinas y el nitrógeno no proteico constituyen el resto (Vilmar, 2011). Otra diferencia notable entre las leches es su contenido de caseína, en la leche de vaca este compuesto

oscila de 75 a 85% de la proteína; en la de cabra entre 71 y 78%. La leche de cabra posee kapacaseína, betacaseína y alfa 2 caseína y carece de las alfa caseínas, la más importante en la leche de vaca (Ramírez, 2009). Las caseínas contribuyen al alto valor nutritivo de muchos productos lácteos. Las proteínas del suero de la leche también son sintetizadas de aminoácidos en la glándula mamaria (Wattiaux, 2005).

Las proteínas del suero también varían según la especie. La betaglobulina es la más importante en cabras como en vacas (Arbiza y de Lucas, 2001). Existe una estrecha relación entre la cantidad de grasa y la cantidad de proteína en la leche cuanto mayor es la cantidad de grasa, mayor es la cantidad de proteína.

La  $\alpha$ -Lactalbumina es una enzima que tiene funciones en la síntesis de la lactosa, y es importante en la formación de cuajadas en el proceso de hacer quesos. Algunas proteínas encontradas en la leche (inmunoglobulinas) juegan un papel en transmitir resistencia a los recién nacidos. Las inmunoglobulinas son absorbidas directamente de la sangre y no sintetizadas dentro de la glándula mamaria y así su concentración en el calostro no es alta; la leche contiene complejos de nitrógeno no proteico en cantidades muy pequeñas (por ejemplo urea: 0.08 g/kg) (Wattiaux 2005).

#### **2.4.2. Lactosa en leche**

Durante la lactancia, la glándula mamaria tiene una alta necesidad de glucosa. La glucosa se utiliza principalmente para la formación de la lactosa (azúcar de la leche). La lactosa representa aproximadamente el 4.5% de la leche; en la vaca se presenta de forma muy semejante (Wattiaux, 2005). A diferencia del nitrógeno, los hidratos de carbono son más homogéneos morfológicamente, pues casi todos los azúcares son lactosa. Suelen contener cantidades pequeñas de inositol, de 14 a 26 mg/ml y también los productos del desdoblamiento del disacárido lactosa en sus dos componentes: glucosa y galactosa. Todos estos componentes forman los nutrientes energéticos básicos, los que son de fácil asimilación (Arbiza y De Lucas, 2001).

La cantidad de lactosa sintetizada en la ubre está estrechamente relacionada con la cantidad de leche producida al día. La concentración de lactosa en la leche es relativamente constante. La producción de leche en los rumiantes lecheros es altamente influida por la cantidad de glucosa derivada del propionato producido en el rumen (Wattiaux, 2005).

También la glucosa se convierte a glicerol que se utiliza para la síntesis de grasa de leche. El acetato y  $\beta$ -hidroxibutirato se utilizan para la formación de ácidos grasos encontrados en la grasa de leche. La glándula mamaria sintetiza ácidos grasos saturados que contienen de 4 a 16 átomos de carbón (ácidos grasos de cadena corta). Casi la mitad de la grasa de la leche es sintetizada en la glándula mamaria. La otra que es rica en ácidos grasos no saturados contienen de 16 a 22 átomos de carbono (ácidos grasos de cadena larga) viene de lípidos en la dieta. La energía requerida para la síntesis de grasa y lactosa viene de la combustión de cetonas, pero el acetato y la glucosa también pueden ser utilizados como fuentes de energía (Arbiza y De Lucas, 2001).

### **2.4.3. Lípidos en leche**

La composición de la grasa de la leche de cabra es diferente de los demás mamíferos y a ello se atribuye una de las causas del sabor *sui generis* de la misma. La grasa de leche de cabra contiene menos ácidos grasos solubles y más ácidos grasos volátiles insolubles (Park, 2006).

La cantidad y composición de la grasa de la leche se ve afectada según la raza (Anglo- Nubia y Pícomea africana vs europeas), alimentación, clima y sanidad. Una elevada ingestión de materias grasas aumenta el volumen de las mismas en la leche por ejemplo, una ración a base de girasol, eleva el contenido de ácidos grasos, sobre todo el C18:1 y C18:2. (Arbiza *et al.*, 1986). La grasa se encuentra presente en pequeños glóbulos suspendidos en agua. Cada glóbulo se encuentra rodeado de una capa de fosfolípidos, que evita que los glóbulos se aglutinen entre sí repeliendo otros glóbulos de grasa y atrayendo agua. Siempre que esta estructura se encuentre intacta, la leche permanece como una emulsión. La mayoría de los glóbulos de grasa se encuentran en la forma de triglicéridos formados por la unión de glicerol con ácidos grasos (Wattiaux, 2005).

La cantidad de fosfolípidos que contiene la leche de cabra es similar a la de vaca, entre 30 y 40 mg/100g; el 40% de estos se hallan en el suero y el resto en los glóbulos grasos (Park *et al.*, 2007).

El contenido energético de la leche de cabra es de 60 a 75 Kcal por cada 100 g; contribuyendo la grasa con más de la mitad de esta energía. Estas grasas proporcionan ácidos grasos esenciales que no son sintetizados por el cabrito, como son los ácidos linolénico y el araquidónico. Además proporciona todos los aminoácidos esenciales en cantidad satisfactoria (Arbiza y De Lucas, 2001). La

cantidad de grasa actúa como uno de los elementos más importantes para fijar el valor energético, contribuyendo con casi 50%, el resto se debe a la contribución de la proteína y lactosa, con un 25% cada una (Wattiaux, 2005).

Casi la mitad de la grasa en leche es derivada del metabolismo de lípidos en la glándula mamaria. Estos ácidos grasos provienen principalmente de las lipoproteínas ricas en triglicéridos. Un aumento en la dieta de ácidos grasos con más de 16 carbonos (ácidos grasos de cadena larga), aumenta su secreción en la leche, pero también inhibe la síntesis de ácidos de cadena corta y mediana (Wattiaux, 2005).

#### **2.4.4. Minerales en leche**

La concentración de macrominerales, pueden no fluctuar mucho, pero estos varían dependiendo de la raza, dieta, etapa de lactación y el estado de salud de la ubre (Park y Chukwu, 1988). Generalmente, la leche de cabra tiene más contenido de Ca, P, K, Mg y menos de Na y S que la de vaca (Haenlein y Caccese, 1984; Park y Chukwu, 1988; Chandan *et al.*, 1992). Las concentraciones de minerales son muy diferentes entre leche y sangre; los niveles de K, Ca y P en leche son más altos, pero los de Na y Cl son más bajos que en la sangre debido a los mecanismos de bombeo activo (Park *et al.*, 2007). Además, existe una relación inversa entre el contenido de lactosa y la suma molar de Na y K, mientras que el nivel de Cl tiene una correlación positiva con K y negativa con lactosa (Konare *et al.*, 1979).

El contenido de microminerales de la leche caprina también se afecta por la dieta, raza y etapa de lactación (Park y Chukwu, 1989). Los niveles promedio de Mn, Cu, Fe y Zn en leche de cabras son, respectivamente, 0.032, 0.05, 0.07, 0.56 mg/100g (Park *et al.*, 2007); la leche de cabra Anglo-Nubia tiene significativamente niveles más altos de Cu y Zn que la leche de cabras alpinas francesas (Park y Chukwu, 1989). El contenido de yodo, hierro y zinc en leche de cabra es mayor que en la leche humana, lo que muestra una fuente de estos minerales para la alimentación de los seres humanos (Park *et al.*, 2007).

Con relación a las vitaminas, la leche de cabras proporciona cantidades adecuadas de vitamina A y niacina y exceso de tiamina, riboflavina y ácido pantoténico para la alimentación de los infantes (Ford *et al.*, 1972) comparada con la leche de vaca, la de cabra es significativamente deficiente en vitaminas B6 (piridoxina), así como en vitaminas C y D (Park *et al.*, 2007).

## **2.5. Alimentación de las cabras**

En comparación con las vacas lecheras, las cabras producen más en relación con su peso vivo y el alimento que consumen. En general, se acepta que la cantidad de alimento proporcionado a la cabra debe tener una relación con su producción láctea. La cabra tiene algunas características que hacen que sea difícil su alimentación en condición de estabulación, por ejemplo prefiere los forrajes frescos o henificados a los ensilados, dado que tiene una mayor afinidad por los sabores amargos y no apetece aquellos de tipo ácido (Mc Donald *et al.*, 1995). Las cabras desperdician una cantidad considerable de forraje por su hábito de meterse en los comederos para defecar y orinar en ellos, rechazando el alimento que ensucio, también tienen el mal hábito de sacar el alimento del comedero, por lo tanto se recomienda moler los esquilmos agrícolas antes de ofrecerlos al pesebre. Debido a la diversidad de ingredientes que es capaz de consumir la cabra, debe aprovecharse su potencial para utilizar arbustos, hierbas, hojas y esquilmos agrícolas que no consumen las especies bovina y ovina, característica que aunada a su rusticidad y productividad, hacen que se le considere como el rumiante del futuro para las regiones menos privilegiadas del orbe (Arbiza y de Lucas, 2001).

Los alimentos son estructuras complejas que para ser absorbidos y utilizados por los animales necesariamente tienen que ser degradados a partículas simples y ser aprovechados para el buen funcionamiento de los diferentes tejidos y órganos. Shimada (2009), menciona que alrededor del 87% (de los nutrientes) que se encuentra en la leche se debe a la alimentación que reciben los animales.

### **2.5.1. Metabolismo de nutrientes en caprinos**

#### **2.5.1.1. Metabolismo de carbohidratos**

Los carbohidratos son la fuente más importante de energía y los principales precursores de grasa y lactosa en la leche de los rumiantes (Ramírez y Buntinx, 2012). Los microorganismos en el rumen de los rumiantes obtienen energía de los carbohidratos fibrosos (celulosa y hemicelulosa) que son ligados a lignina en las paredes de las células vegetales. La rumia aumenta la separación y fermentación de la fibra, estimula las contracciones del rumen y aumenta el flujo de saliva hacia el mismo. La saliva contiene bicarbonato de sodio y fosfato que ayudan a mantener el contenido del rumen en un pH casi neutro. Las raciones que no tienen fibra suficiente producen un contenido bajo de grasa en la leche y contribuyen a desordenes tales como desplazamiento del abomaso y acidosis (Vilmar, 2011).

La población de microorganismos ruminales fermenta los carbohidratos para producir energía, gases (metano y dióxido de carbono), calor y ácidos grasos volátiles (AGV) principalmente acético, propiónico y butírico y conforman la mayoría (>95%) de los ácidos producidos en el rumen. También la fermentación de aminoácidos generados en el rumen produce ácidos, llamados iso-ácidos. La energía y los iso-ácidos producidos durante la fermentación son utilizados por las bacterias para crecer (para la síntesis de proteína). El CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> son eructados y la energía todavía presente en ellos se pierde (Ramírez y Buntinx, 2012).

Los AGV son productos finales de la fermentación de la flora microbiana y son absorbidos a través de la pared del rumen. La mayoría del acetato y todo el propionato son transportados al hígado, pero la mayoría del butirato se convierte en la pared del rumen en una cetona (o cuerpo cetónico) que se llama  $\beta$ -hidroxibutirato. Las cetonas son la fuente principal de energía del organismo. Todo el propionato se convierte a glucosa en el hígado, éste es un proceso importante porque normalmente no hay glucosa absorbida del tracto digestivo y todas las azúcares encontradas en leche, debe ser producida por el hígado (Martínez *et al.*, 2010).

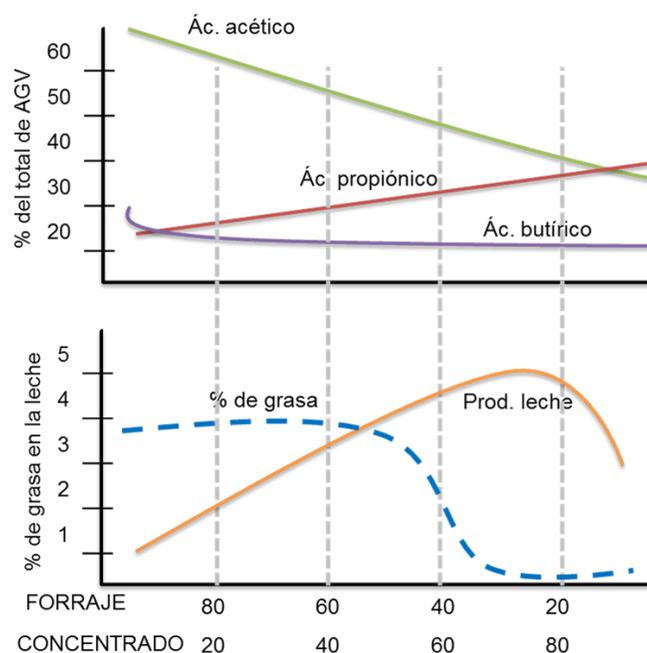
Una excepción es cuando los rumiantes están alimentados con grandes cantidades de concentrado ricos en almidón o una fuente de almidón resistente a la fermentación ruminal. El almidón escapa de la fermentación y alcanza el intestino delgado. El ácido láctico (lactato) es una fuente alternativa de glucosa para el hígado. El lactato se encuentra en ensilados bien preservados, pero la producción de lactato en el rumen ocurre cuando hay un exceso de almidón en la dieta (Osorio y Vinezco, 2010).

La fuente de carbohidratos en la dieta tiene influencia sobre la cantidad y la relación de AGV producidos en el rumen. La población de microorganismos convierte los carbohidratos fermentados a aproximadamente 65% ácido acético, 20% ácido propiónico y 15% ácido butírico cuando la ración contiene una alta proporción de forraje. En este caso, el suministro de acetato puede ser adecuado para maximizar la producción de leche, pero la cantidad de propionato producido en el rumen puede limitar la cantidad de leche producida porque el suministro de glucosa es limitado (Vilmar, 2011).

Los carbohidratos no-fibrosos (concentrados) promueven la producción de ácido propiónico mientras los carbohidratos fibrosos (forrajes) estimulan la producción

de ácido acético en el rumen. Además, los carbohidratos no-fibrosos producen más AGV (es decir más energía) porque son fermentados eficientemente.

La Figura 3 muestra el efecto que tiene la composición de la dieta sobre los AGV y el rendimiento de leche de los rumiantes. La alimentación con concentrados usualmente resulta en un aumento de producción de AGV y una proporción mayor de propionato en lugar de acetato. Cuando se alimenta con grandes cantidades de concentrados (cuando se alimenta con forrajes bien molidos), el porcentaje de ácido acético se reduce debajo de 40% mientras el porcentaje de propionato se aumenta más de 40%. La producción de leche puede aumentarse porque el suministro de glucosa proveniente de propionato se incrementa, pero el suministro de ácido acético para la síntesis de grasa puede ser limitante. En general, esta reducción en disponibilidad de ácido acético está asociada con una reducción de producción de grasa y un porcentaje bajo de grasa en la leche (Wattiaux, 2005).



**Figura 3.** Efecto de la relación forraje: concentrado sobre los AGV en rumen y la producción de leche (Adaptado de Wattiaux, 2005).

Un exceso de propionato en relación al acetato causa que los rumiantes lecheros comiencen a utilizar la energía disponible para depositar tejido adiposo (aumento de peso corporal) en lugar de utilizarla para la síntesis de leche. Por otro lado, insuficiente concentrado en la ración limita la ingestión de energía y la producción de leche (Vilmar, 2011).

Un cambio en la relación forraje: concentrado en una dieta produce un efecto sobre la cantidad y porcentaje de cada AGV producido en el rumen (Wattiaux, 2005).

### **2.5.1.2. Metabolismo de proteínas**

Las proteínas proveen los aminoácidos requeridos para el mantenimiento de funciones vitales como reproducción, crecimiento y lactancia. Los rumiantes tienen la habilidad de sintetizar aminoácidos y de formar proteína desde nitrógeno no-proteico. Esta habilidad depende de los microorganismos en el rumen. Además los rumiantes poseen un mecanismo para ahorrar nitrógeno. Cuando el contenido de nitrógeno en la dieta es bajo, la urea, un producto final del metabolismo de proteína en el cuerpo puede ser reciclado al rumen en grandes cantidades vía salival (Vilmar, 2011).

Las proteínas de los alimentos son degradadas por los microorganismos del rumen vía aminoácidos para formar amoníaco y ácidos grasos (ácidos grasos con cadena múltiple). El amoníaco también proviene de las fuentes de nitrógeno no-proteico en los alimentos y de la urea reciclada de la saliva y a través de la pared del rumen. Una concentración restringida de amoníaco causa escasez de nitrógeno para las bacterias y reduce la digestibilidad de los alimentos. Por el contrario, un exceso de amoníaco en el rumen produce pérdida de peso, toxicidad por amoníaco y en casos extremos, la muerte del animal (Wattiaux, 2005).

El nivel de utilización de amoníaco para sintetizar proteína microbiana depende principalmente de la disponibilidad de energía generada por la fermentación de carbohidratos. La síntesis de proteína bacteriana puede variar entre 400 y 1500 g en cabras al día según la digestibilidad de la dieta. El porcentaje de proteína en bacterias varía entre 38 y 55%. En general, las bacterias contienen más proteína cuando los rumiantes consumen más alimento y, además, las bacterias pegadas a partículas de alimentos pasan más rápidamente del rumen al abomaso (Vilmar, 2011). Las proteínas en un forraje de buena calidad son degradadas a un mayor

nivel (60-80%) que las proteínas en concentrados o subproductos industriales (30-60%),

Una porción de la proteína bacteriana es destruida dentro del rumen, pero la mayoría entra al abomaso pegada a las partículas de alimentos. Los ácidos fuertes secretados en el abomaso paran toda actividad microbiana y las enzimas digestivas comienzan a separar las proteínas para formar aminoácidos (Martínez *et al.*, 2010)

La composición de los aminoácidos en la proteína bacteriana es relativamente constante, más allá de la composición de la proteína en la dieta. Todos los aminoácidos incluyen los esenciales, están presentes en la proteína bacteriana en una proporción que aproxima a las proporciones de aminoácidos requeridos por la glándula mamaria para la síntesis de leche. Así, la conversión de proteína de los alimentos a proteína bacteriana es usualmente un proceso beneficioso. La excepción es cuando se alimenta con proteína de alta calidad y el amoníaco producido en el rumen no puede ser utilizado debido a una falta de energía fermentable (Vilmar, 2011). Casi 80% de la proteína que alcanza el intestino delgado es digerida, la restante se elimina en heces. Las heces de rumiantes son un buen fertilizante porque son ricas en materia orgánica y especialmente ricas en nitrógeno (2.2-2.6% de nitrógeno o equivalente a 14-16% de proteína cruda) comparado con las heces de animales no-rumiantes (Ramírez y Buntinx, 2012).

Un exceso de amoníaco pasa la pared del rumen y es transportado al hígado. El hígado convierte el amoníaco a urea que es liberada a la sangre. La urea en la sangre puede volver al rumen vía saliva o a través de la pared del rumen o excretarse en la orina por los riñones. Cuando la urea vuelve al rumen esta es reconvertida a amoníaco y puede servir como una fuente de nitrógeno para el crecimiento bacteriano. La urea excretada en la orina significa una pérdida de nitrógeno para el animal. Cuando las raciones son bajas en proteína cruda, la mayoría de la urea es reciclada y poco se pierde en la orina, sin embargo, mientras se incrementa la proteína cruda en la ración, menos urea es reciclada y más de la misma es excretada en la orina (Wattiaux, 2005).

### **2.5.1.3. Metabolismo de lípidos**

Los lípidos son insolubles en agua pero son solubles en solventes orgánicos (éter, cloroformo, hexano). Usualmente la dieta consumida por los rumiantes contiene solo de 2 a 6 % de lípidos, de los cuales la mitad aproximadamente son ácidos

grasos (Wattiaux, 2005). Un exceso de lípidos en la dieta (más de 8%) puede tener un efecto negativo en la producción de leche y el porcentaje de grasa en la leche. Los lípidos no saturados tienen un efecto más negativo que los lípidos saturados (Martínez *et al.*, 2011). Los lípidos son parte importante de la ración de los rumiantes lecheros porque contribuyen directamente con casi 50% de la grasa en la leche y son la fuente más concentrada de energía en los alimentos. Los triglicéridos se encuentran principalmente en los granos de cereales, semillas oleaginosas y grasas de origen animal. La estructura básica de los triglicéridos consiste en una unidad de glicerol (un alcohol de tres carbonos) y tres unidades de ácidos grasos. Los glicolípidos son una segunda clase de lípidos encontrados principalmente en los forrajes (gramíneos y leguminosos). Los fosfolípidos son componentes menores en los alimentos, encontrados principalmente en las bacterias del rumen (Martínez *et al.*, 2011).

Una vez en el rumen la mayoría de los lípidos son hidrolizados. El enlace entre el glicerol y los ácidos grasos se rompe dando origen a glicerol y tres ácidos grasos (triglicéridos), el glicerol se fermenta rápidamente para formar ácidos grasos volátiles el cual es la principal fuente de energía de los rumiantes. Por otra parte, los ácidos grasos insaturados son hidrogenados por los microorganismos convirtiendo la mayoría de estos en ácidos grasos saturados (Shimada, 2009). La mayoría de los lípidos que salen del rumen son ácidos grasos saturados (85-90% principalmente en la forma de ácido palmítico y esteárico) ligados a partículas de alimento y microorganismos y el porcentaje restante corresponde a los fosfolípidos microbianos (10-15%) (Wattiaux, 2005).

Los fosfolípidos microbianos son digeridos en el intestino delgado. Las secreciones biliares y pancreáticas (ricas en enzimas y bicarbonato) son esenciales para la absorción de los lípidos, se mezclan con el contenido del intestino delgado, formando partículas mezclables con agua que pueden entrar a las células intestinales, micelas. En las células intestinales una porción importante de ácidos grasos son ligados con glicerol (proveniente de la glucosa de la sangre) para formar triglicéridos (Martínez *et al.*, 2010).

Los triglicéridos, algunos ácidos grasos libres, colesterol y otras sustancias relacionadas con lípidos son cubiertos con proteínas para formar lipoproteínas ricas en triglicéridos, también llamados lipoproteínas de baja densidad. Las lipoproteínas ricas en triglicéridos entran en los vasos linfáticos y de allí pasan al canal torácico para llegar a la sangre. En contraste a la mayoría de los nutrientes absorbidos en el tracto gastrointestinal, los lípidos absorbidos no van al hígado

sino que entran directamente en la circulación general. Así los lípidos pueden ser utilizados por todos los tejidos del cuerpo sin ser procesado por el hígado (Wattiaux, 2005).

En periodos de sub-alimentación o en la primera parte de lactancia, los rumiantes enfrentan su demanda energética movilizando los tejidos adiposos para obtener aún más energía sobre aquella proveída en la dieta. Los ácidos grasos de los triglicéridos almacenados en los tejidos adiposos son liberados hacia la sangre. Los ácidos grasos liberados son absorbidos por el hígado donde pueden ser utilizados como fuente de energía o convertidos a cuerpos cetónicos que pueden ser liberados hacia la sangre y utilizados como una fuente de energía en muchos tejidos. El hígado no tiene una alta capacidad para formar y exportar lipoproteínas ricas en triglicéridos y los ácidos grasos que sobran, y que son movilizados, son almacenados como triglicéridos en las células del hígado. La grasa depositada en el hígado hace difícil formar más glucosa. Esta condición ocurre principalmente en los primeros días de lactancia y puede llevar a desordenes metabólicos como cetosis e hígado graso (Henry y Vinazco, 2010).

## **2.6. Fuentes de grasa para el animal**

Las fuentes de grasa extra incluidas en la dieta de los rumiantes pueden estar tratadas (“protegidas”) mediante procedimientos físicos o químicos (encapsulación, hidrogenación, sales de calcio, acilamidas) para minimizar la interacción con la flora microbiana ruminal (Jenkins *et al.*, 2004). Las fuentes de grasa no protegidas son semillas oleaginosas enteras o procesadas (molidas, aplastadas, extrusionadas, micronizadas) y grasas libres de origen vegetal (aceites de girasol, soja, palma, maíz, etc.) o animal (sebo de vacuno, manteca de cerdo, mezclas, etc.).

Las fuentes de grasa protegidas tienen poco (Silva *et al.*, 2007) o ningún efecto negativo (Gangliostro y Schroeder, 2007) sobre la digestión de los componentes de la dieta. En su revisión, Jenkins y Bridges (2007) concluyeron que el aporte de lípidos a la dieta en forma de grasas protegidas permite incrementar los ácidos grasos disponibles para la absorción intestinal a la par que se evitan o minimizan los efectos negativos sobre la población microbiana ruminal. Por el contrario, es bien conocido que la inclusión de lípidos no protegidos en distintas formas de presentación (semillas oleaginosas, aceites y grasas) en la dieta de los rumiantes puede afectar negativamente a la población microbiana del rumen con el

consiguiente efecto sobre los parámetros de fermentación ruminal y la digestión de los componentes de la dieta (Sauvant y Bas, 2001).

## **2.7. La adición de lípidos en la dieta de rumiantes**

Los lípidos contienen casi 2.25 veces más energía que los carbohidratos. Los lípidos son a veces llamados nutrientes "fríos" porque durante su digestión y utilización por el cuerpo generan menos calor que los carbohidratos y proteína. Un aumento de lípidos en las raciones causa:

- Incremento en la densidad calórica (energía) de la dieta, especialmente cuando la ingestión puede estar limitada como puede ocurrir cuando hay una dieta con alto contenido de forraje.
- Limita la necesidad para concentrados ricos en carbohidratos, que típicamente son necesarios en la primera parte de lactancia cuando los rumiantes lecheros están en equilibrio negativo para energía (FEDNA, 2003).

El contenido de lípidos en los alimentos varía ampliamente, desde menos de 1% en algunos subproductos a 100% en suplementos grasos (Van Soest, 1994). Los más comunes en la naturaleza consisten en ácidos grasos enlazados por un éster unido a glicerol u otros alcoholes. Además de ácidos grasos (AG), los lípidos pueden contener carbohidratos o ácido fosfórico. Los triglicéridos son el principal tipo de lípidos en la grasa de la mayoría de los cereales (90% de los AG) y aceite de semillas (>95 %), mientras que en los forrajes se encuentran en forma de galactoglicéridos (McDonald *et al.*, 1995). Los ácidos grasos normalmente constituyen <3% de la dieta de los rumiantes y provienen del forraje, grano o semillas que son ricas en ácido linoleico (C18:2 cis-9 cis-12) o linolénico (C18:3 cis-9 cis-12 cis-15) (Palmquist y Jenkins, 1980).

Las dietas de los rumiantes contienen generalmente entre 2 y 5% de lípidos, de los que la mitad aproximadamente son ácidos grasos (Doreau y Ferlay, 1994).

Según Chilliard y Ollier (1994), la adición de lípidos a las dietas de los rumiantes puede hacerse por varias razones: 1) aumentar la concentración energética en situaciones de elevada producción; 2) reducir el riesgo de acidosis ruminal y la caída de la grasa láctea en dietas pobres en forrajes groseros; 3) modificar los ácidos grasos que pueden ser absorbidos; 4) pueden abaratar el coste de la dieta en determinadas circunstancias.

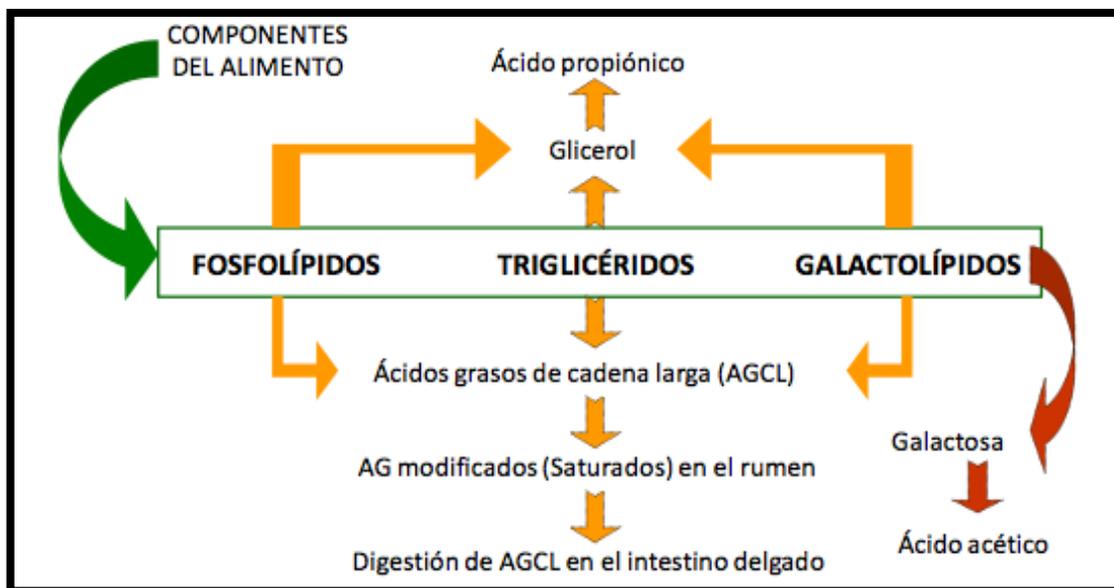
Los cambios notados en la ingestión de alimentos y la producción de leche varían según el tipo de lípidos agregados a la dieta. Los bovinos lecheros no deben ser alimentados con más de 0.45 kg/día de lípidos en adición a los lípidos presentes en los alimentos rutinarios. Esta cantidad se traduce en un total de casi 6-8% de lípidos en la dieta antes de que produzca efectos negativos. La producción de leche es maximizada cuando los lípidos forman 5% de la materia seca de la dieta. Más lípidos en la dieta usualmente reduce la proteína en la leche en un 0.1%. Además, un exceso de lípidos puede reducir la ingestión de alimento, la producción de leche y la composición de la grasa en la leche (Wattiaux, 2005).

La inclusión de lípidos de más de un 6% de la MS provoca un descenso en la actividad microbiana, reduciendo el consumo de alimento y la síntesis de grasa en la leche (Chamberlain y Wilkinson, 1996). Los lípidos son una fuente concentrada de energía disponible para el animal una vez que llega al intestino delgado, no constituyendo una fuente de energía para la microbiota ruminal para la síntesis de sus estructuras; sin embargo, la mayoría de las grasas no son inertes en el rumen.

En la Figura 4 se resume la forma en que es procesada la grasa en el rumen. Hay dos importantes transformaciones de los lípidos de la dieta en el rumen: la lipólisis y la biohidrogenación. Ambos procesos son efectuados por la población microbiana, los ácidos grasos liberados llegan a una reducción de 70 - 90 % de los AGPI en su transformación a saturados (principalmente ácido esteárico, C18:0) o isómeros *trans* de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) (Ferlay *et al.*, 1992; Palmquist y Jenkins, 1980).

Una vez que la grasa llega al rumen sufre importantes cambios químicos realizados por la población microbiana (Harfoot, 1978) dando AG libres y glicerol. El glicerol es fermentado para producir ácido propiónico principalmente, que será absorbido junto con el resto de los ácidos grasos volátiles (AGV) a través de la pared ruminal. Los AG libres son saturados. Este proceso se debe a que el medio ambiente ruminal es reductor con un exceso de hidrógeno, produciendo la hidrogenación de los AG insaturados resultando marcadas diferencias entre el perfil de AG de los lípidos en la dieta (en su mayoría AGI) y los lípidos que salen del rumen (la mayoría AGS). Como resultado, la grasa que abandona el rumen está virtualmente toda saturada, por lo que los lípidos en los productos de los rumiantes suelen ser más saturados que los de los no-rumiantes (Banks y Hilditch, 1931; citado por Jenkins *et al.*, 2008), razón por la que el consumo de productos lácteos y carne de rumiantes es con frecuencia asociado con el incremento de la incidencia de enfermedades cardiovasculares en el ser humano (Menotti *et al.*,

1999).



**Figura 4.** Esquema de la digestión de la grasa por los rumiantes (Adaptado de Chamberlain y Wilkinson, 1996).

El metabolismo de los AG de la dieta en el rumen tiene gran influencia sobre la composición de la carne y leche de los rumiantes (Jenkins *et al.*, 2008). No obstante, a pesar de que los AGI aportados en la dieta, como el ácido linoleico o linolénico son abundantes en los pastos y otros alimentos del ganado, su concentración en los productos de los rumiantes es todavía baja.

Respecto a los parámetros ruminales, se ha observado que la inclusión de fuentes de grasa no protegidas en la dieta modifica las concentraciones y las proporciones molares de los ácidos grasos volátiles (AGV), y reduce la producción de metano (Beauchemin *et al.*, 2009). La disminución de la producción de metano es relevante desde el punto de vista del impacto ambiental de la producción de rumiantes (McAllister y Newbold, 2008).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

La sociedad demanda que los productos de origen pecuario que se consumen no causen daño a la salud, y tengan un beneficio adicional aparte de ser nutritivos. La leche de cabra cumple con esta característica ya que se digiere fácilmente que la de vaca, debido al tamaño pequeño de los glóbulos de la grasa y a los diferentes tipos de caseína que contiene.

Uno de los factores preponderantes para influir en la composición química de la leche de los caprinos es la alimentación, y dentro de esta, dos aspectos implícitos en la composición de la dieta del animal que podrían determinar, no solo el contenido de grasa de la leche sino también la composición de ácidos grasos, son: la cantidad y naturaleza de la fibra, así como la cantidad y naturaleza de la fuente de grasa.

El consumo de alimento determina el contenido y naturaleza de la grasa de la dieta, los cuales se encuentra entre los principales factores que determinan la cantidad y composición de la grasa de la leche de cabra, en mucho más intensidad que lo hace la cantidad y naturaleza de la fibra de la dieta consumida. Por lo tanto, por manipulación del primer factor (tipo de grasa en la dieta), es posible obtener leche con determinadas características nutricionales.

Existe poca información sobre la adición extra de una fuente de lípidos, rica en ácidos grasos insaturados, en la dieta de caprinos especializados en la producción de leche, y de cómo esta estrategia de alimentación influye en la respuesta productiva y calidad nutricional de la leche, principalmente cuando se adiciona una alta cantidad de aceite en la dieta.

#### **IV. HIPÓTESIS**

La adición de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen mejora el contenido de componentes mayoritarios de la leche, con especial efecto sobre la composición de la grasa, sin afectar su desempeño productivo.

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento productivo y composición química de la leche de cabras lecheras Saanen, adicionando aceite de soya en la dieta.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Medir el cambio del peso vivo corporal, el consumo de alimento y la producción de leche de cabras Saanen alimentadas con y sin la adición de aceite de soya en la dieta.
- Comparar la concentración y rendimiento de grasa, proteína y lactosa de la leche de cabras Saanen alimentadas con y sin la adición de aceite de soya en la dieta.
- Determinar el contenido total de ácidos grasos saturados e insaturados en la leche de cabras Saanen alimentadas con y sin la adición de aceite de soya en la dieta.
- Determinar la viabilidad económica de las dietas experimentales a través de un análisis de presupuestos parciales.

## **VI. MATERIAL**

### **6.1. Material biológico**

- 10 Cabras Saanen
- Leche

### **6.2. Material y equipo de campo**

- Dietas experimentales
- Tubos cónicos de 50 mL
- Corraletas
- Bebederos
- Comederos
- Palas
- Carretillas
- Libreta de notas
- Bolígrafo
- Marcadores indelebles
- Bolsas de plástico
- Ordeñadora de 2 plazas (DeLaval®)
- Revolvedora horizontal
- Báscula (Gallagher)

### **6.3. Material y equipo de laboratorio**

#### Reactivos:

- Ácido sulfúrico
- Mezcla catalizadora
- Hidróxido de sodio al 40%
- Ácido bórico
- Indicador rojo de metilo
- Ácido clorhídrico 0.1N
- Solución de fibra detergente ácido
- Solución de fibra detergente neutro
- $\alpha$ -amilasa

#### Equipo

- Pipetas automáticas
- Estufa de aire forzado
- Mufia (Felisa)
- Bloque de calentamiento
- Balanza analítica (BOECO)
- Aparato de digestión (ANKOM200)
- Molino Wiley
- Analizador de leche (Lactoscan®)

#### Cristalería e instrumental de laboratorio

- Matraces de bola
- Matraces Erlenmeyer
- Charolas de aluminio

## VII. MÉTODO

### 7.1. Animales y tratamientos

Se utilizaron 10 cabras adultas multíparas de raza Saanen en producción en su primer tercio de lactación, las cuales fueron divididas en dos grupos homogéneos acorde a la producción láctea ( $2.3 \pm 0.6$  kg/d) y peso vivo corporal ( $46.2 \pm 5.8$  kg).

La dieta que se ofertó a los animales fue una ración total mezclada (TMR, por sus siglas en inglés) en estabulación, teniendo entre sus componentes como base forrajera ensilado de maíz. La dieta se formuló para ser isoproteica e isoenergética de acuerdo a los requerimientos del NRC (2007) de rumiantes menores. El Cuadro 2 muestra la proporción de los ingredientes en las dietas experimentales.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- 1) **Control.** TMR sin la adición de aceite de soya.
- 2) **Soya 6.** TMR con la adición de 6% de aceite de soya sobre la materia seca.

**Cuadro 2.** Composición de ingredientes de las dietas experimentales (g/100g base seca).

INGREDIENTE	CONTROL	SOYA 6
Ensilado de maíz	30.00	29.00
Rastrojo de maíz	4.47	15.00
Maíz grano (molido)	42.00	22.19
Pasta de soya	4.00	5.00
Canola	17.53	20.81
Aceite de soya	-	6.00
Premezcla de Vit-Min <sup>1</sup>	2.00	2.00

<sup>1</sup> Minerales multitec ®: vit A, 100 ui; Vit D3, 30 ui; vit E, 50 mg; Cu, 60 mg; Fe, 200 mg; Mg 100.06 mg; Co, 11 mg; I, 60.14 mg; Zn 4000.32 mg; Se, 50 mg; P, 69 999.64 mg; Carb calcio, 219.316 g; Sal, 270 g; Sulfato amonio, 2.083 g; Aceite mineral, 10 g.

## **7.2. Desarrollo Experimental**

Los animales permanecieron en corrales individuales de 1.5 x 1.5 m, provistos de bebederos y de comederos. Todas las cabras tuvieron 15 días de pre-adaptación al manejo y a la dieta, en este periodo se utilizó la dieta control para su alimentación. Posteriormente los animales tuvieron 15 días de adaptación a las dietas con o sin la adición de aceite. Finalizada la adaptación, se inició la fase de medición la cual tuvo una duración de 12 semanas. Los animales fueron pesados semanalmente, hasta el final del experimento.

A excepción del ensilado de maíz, los ingredientes fueron mezclados con una revolvedora horizontal. La dieta con aceite de soya se preparó diariamente para evitar problemas de rancidez. Treinta minutos antes de ofrecer el alimento a las cabras se les incluyó el ensilado de maíz fresco, para evitar la pérdida de su calidad nutricional. La alimentación de los animales se realizó en dos momentos durante el día (09:00 y 16:00 h) proporcionando el alimento en comederos individuales y el agua de bebida todo el tiempo. Cada semana fueron muestreadas las dietas experimentales para su análisis en laboratorio.

Diariamente se realizaron dos ordeños (08:30 y 15:30h) con ordeñadora mecánica (De Laval®). Una vez por semana se registró la producción de leche de manera individual y se tomó una muestra de leche al momento de cada ordeño. Con las muestras de leche, se preparó una alícuota (50 mL) proporcional a la producción de leche de cada ordeño, la cual fue congelada para su posterior análisis.

El consumo voluntario se registró a lo largo de todo el experimento, el cual se determinó por el registro de la oferta y rechazo del alimento individualmente. Una muestra de alimento fue recolectada semanalmente al momento de ofertarla por la mañana y conservada a temperatura de congelación (-4°C) hasta su análisis en el laboratorio.

## **7.3. Análisis de Laboratorio**

En el alimento se determinó la materia seca por desecación de la muestra en estufa de aire forzado a 102°C por 24 h seguido del contenido de cenizas por incineración de la muestra en la mufla a 600°C por cuatro horas (AOAC, 2012). Se analizó el contenido de proteína total por el método de Kjeldhal, el fraccionamiento de la fibra, FND y FAD, según Van Soest (1991). El aporte energético de la dieta

se determinó por la ecuación descrita por Menke y Steingass (1988). El contenido de carbohidratos no fibrosos fue estimado de acuerdo a la siguiente ecuación:  $CNF(\%) = 100 - (\%FND + \%PB + \%EE + \%Cenizas)$

Para conocer el contenido de proteína, grasa y lactosa en la leche de las cabras se utilizó un analizador de leche (Lactoscan®, Milkkanalizer). Cromatografía de gases (Perkin Elmer Clarus 500) fue utilizada para determinar el contenido total de ácidos grasos saturados e insaturados en la leche de acuerdo con las técnicas descritas por Feng *et al.* (2004) y Chouinard *et al.* (1999) para la extracción y metilación de las muestras. Se utilizó una columna capilar de 100m x 0.25mm x 0.2µm (SUPELCO TM-2560), y nitrógeno como gas acarreador. Los ácidos grasos fueron identificados de acuerdo con estándares comerciales de esteres metílicos (Supelco 37, FAME MIX analytical SIGMA USA). Los ácidos grasos son reportados en g por 100 g del total de ácidos grasos.

#### **7.4. Análisis Estadístico**

Para el análisis estadístico de los datos semanales del consumo de alimento, rendimiento de leche, composición de la leche y contenido total de ácidos grasos, se utilizó el procedimiento GLM (SAS, 2012) de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijk}: \mu + D_i + W_j + (D \times W)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde,  $Y_{ijk}$  es la variable dependiente;  $\mu$ , la media general;  $D_i$ , es el efecto de la dieta ( $i = 0$  o 6% de aceite de soya);  $W_j$ , es el efecto de la semana de muestreo ( $j = 1, 2, \dots, 12$ );  $(D \times W)_{ij}$  es el efecto de la interacción de la dieta por la semana;  $E_{ijk}$ , es el error residual.

Los efectos de la dieta y la semana fueron considerados como efectos fijos. La semana del experimento fue usada como una medición repetida con la cabra dentro del tratamiento de la dieta como el sujeto. Las diferencias fueron designadas a un nivel de significancia de  $<0.05$ . La prueba de Tukey fue aplicada para la comparación de medias (Steel *et al.*, 1997).

### **7.5. Análisis Económico**

Se realizó un análisis de presupuestos parciales para determinar la viabilidad económica de los tratamientos evaluados. Se determinó el factor alimentación como principal costo de producción de leche, donde se incluyó el costo de las dietas en función del precio de la materia prima. A partir del precio de venta y la producción diaria de leche menos el costo de la alimentación se calculó la utilidad.

## **VIII. LÍMITE DE ESPACIO**

El trabajo de campo se realizó en el área ovina de la posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y el análisis bromatológico de los alimentos se realizaron en el Departamento de Nutrición Animal, ubicados en el Campus Universitario “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México, localizado a 19° 24’ 48” latitud norte y 99° 40’ 45” longitud oeste, a una altitud de 2,632 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2014).

## **IX. LÍMITE DE TIEMPO**

El trabajo experimental se realizó en febrero de 2014, el análisis de muestras en el laboratorio se inició a partir de junio de 2014 posteriormente se elaboraron las bases de datos para su análisis estadístico y finalmente se interpretaron y discutieron los resultados con la redacción del documento final.

## X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 10.1. Composición química de la dieta

La composición química de las dietas experimentales se presenta en el Cuadro 3. Similar contenido de proteína y energía fue aportado por ambas dietas. El contenido de extracto etéreo (EE) es 91% mayor en la dieta que contiene aceite de soya comparado con la dieta control, por el contrario tuvo 39% menos carbohidratos no fibrosos (CNF). El contenido mayor de EE en la dieta SOYA 6 era de esperarse por la adición de aceite de soya en la dieta, por el contrario, el menor contenido de CNF se debió probablemente a la inclusión menor del maíz molido (Cuadro 2). Toral *et al.*, (2014) reportaron hasta un 37% menor contenido de almidón en dietas que incluían aceite de plantas y aceite de pescado comparado con dieta sin adición de aceite.

**Cuadro 3.** Composición química de las dietas experimentales (% base seca).

	TRATAMIENTOS	
	CONTROL	SOYA 6
Materia seca	48.90	57.56
Cenizas	6.78	7.47
Proteína bruta	14.02	14.87
Fibra neutro detergente	29.85	35.41
Fibra ácido detergente	17.36	20.69
Extracto etéreo	5.58	10.67
Lignina	1.44	2.28
Carbohidratos no fibrosos <sup>A</sup>	43.77	31.58
Energía neta para lactancia, Mcal/kg <sup>B</sup>	2.13	2.16

<sup>A</sup> Estimado por la siguiente ecuación:  $CNF = 100 - (\%FND + \%PB + \%EE + \%Cenizas)$

<sup>B</sup> Energía neta de lactancia (Mcal kg/MS) se calculó con la ecuación:  $(9.07 - 0.0097 * FAD) / 4.184$  (Menke y Steingass, 1988).

## 10.2. Desempeño productivo: consumo de alimento y producción láctea

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del rendimiento productivo de cabras Saanen en lactación suplementadas con aceite de soya. El peso vivo ( $50.98 \pm 6.26$  kg) y la producción de leche ( $2186.2 \pm 399.0$  g/d) no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos. Similarmente diversos autores no muestran diferencia en la producción de leche de cabras cuando se adiciona a la dieta aceite de linaza, aceite de girasol (Torral *et al.*, 2014) o aceite de cártamo (Shi *et al.*, 2015) comparado con animales alimentados sin la adición de lípidos en la dieta, aunque cabe señalar que sus rendimientos son superiores a los obtenidos en esta investigación.

**Cuadro 4.** Peso vivo, consumo de alimento y producción de leche de cabras Saanen en sistema intensivo adicionando aceite de soya en la dieta

VARIABLE	TRATAMIENTO		EEM	$P < \ddagger$		
	CONTROL	SOYA 6		T	S	T*S
Peso vivo, kg	50.25	51.72	3.841	0.7377	<.0001	0.9448
Consumo, kg MS/d	2.09	2.34	0.096	0.0377	<.0001	0.1033
Consumo, % PV	4.18	4.54	0.236	0.1755	0.0003	0.1638
Producción láctea, g/d	2224.2	2148.2	267.3	0.7858	0.4437	0.8021

EEM= Error estándar de la media

‡ Significancia, T= efecto del tratamiento; S= efecto de la semana experimental; T\*S= efecto de la interacción.

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el consumo diario de alimento entre tratamientos. Las cabras que recibieron la suplementación de aceite de soya en la dieta incrementaron 11.9% el consumo de materia seca (CMS) respecto al tratamiento control. Similares resultados fueron reportados recientemente por Shi *et al.* (2015) en cabras Saanen en lactación alimentadas con una dieta a base de heno de alfalfa, ensilado de maíz y concentrado, quienes observaron un incremento en el consumo de alimento cuando adicionaron aceite de semilla de cártamo en alta y baja dosis en la dieta respecto al control (2.13 y 2.14 vs. 2.06 kg/d, respectivamente); cabe mencionar, que en esa investigación estimaron el

consumo de alimento por grupo, el cual estuvo compuesto de cinco cabras (Shi *et al.*, 2015).

Contrario a nuestros resultados, Bouattour *et al.* (2008) no observaron efectos de la no adición o adición de 6.0% de aceite de soya en el concentrado sobre el consumo de materia seca (2.13 vs. 2.12 kg/d) de cabras Murciano Granadina.

En comparación con nuestros resultados, el CMS fue menor al observado por Toral *et al.*, (2014), quienes reportaron una disminución del CMS en cabras alimentadas con altas dosis de aceite de pescado solo (40g/d) o mezclado con aceite de plantas (40g aceite de pescado + 90g/d aceite de linaza o girasol), respecto al control (2.48, 2.32 vs. 2.55 kg/d, respectivamente), esta diferencia en el CMS fue menos marcada con dosis baja de aceite de pescado solo respecto al control (2.53 vs. 2.55 g/d).

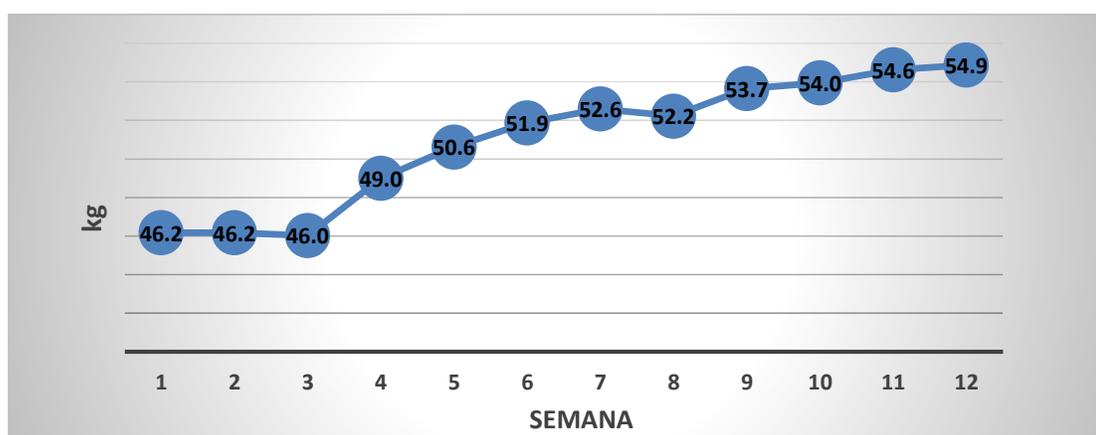
Ovejas en lactación suplementadas (60 g/kg MS) o no con aceite de soya en una dieta TMR no mostraron diferencias en el CMS por efecto de la inclusión del aceite; sin embargo, cuando se consideró el efecto del tiempo de la suplementación en el estudio, cuatro semanas al final de la lactancia, el CMS disminuyó con la adición de aceite de soya con valores de 2.33 kg/d en la primer semana experimental a 2.16 kg/d en la última (Gómez-Cortés *et al.*, 2008).

De acuerdo con Chilliard *et al.* (2003) y Griinari y Bauman (2006) en la mayoría de los estudios con vacuno lechero, la suplementación de aceite reduce el consumo de alimento y la producción de leche; el comportamiento productivo de las cabras parece ser diferente.

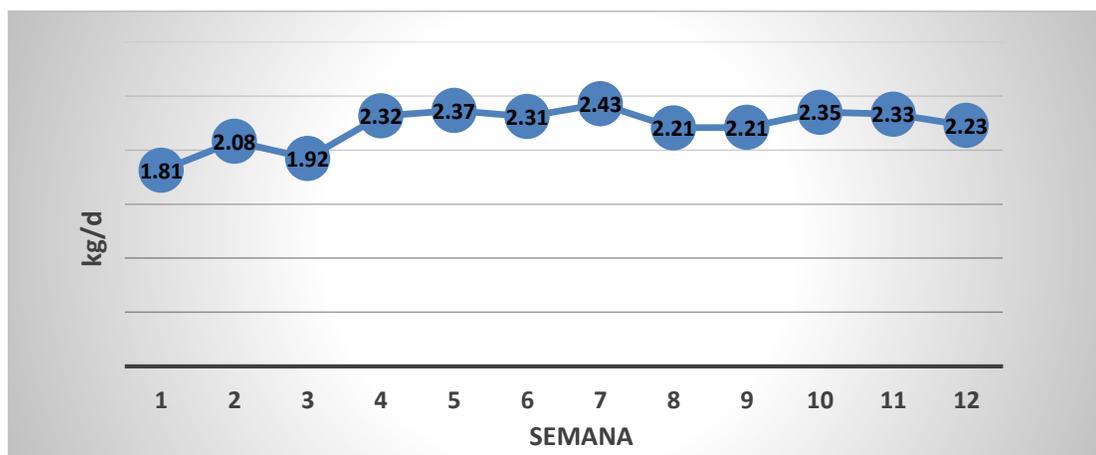
El criterio esencial que distingue a la cabra de otros rumiantes es su comportamiento alimentario que revela una gran capacidad selectiva frente a los componentes de la dieta, en especial, respecto a los forrajes (Jimeno *et al.*, 2003). Las cabras muestran un interés mayor por las fracciones ricas en proteína que sobre las que contienen un elevado porcentaje de fibra o celulosa (Masson *et al.*, 1991). Así, en los ensilados buscan granos y en las alfalfas buscan las hojas, dejando los tallos y las partes más molidas o pulverulentas. Este comportamiento selectivo para los forrajes disminuye con el picado (reducción del tamaño) de los mismos y cuando aumenta la proporción de concentrados en la dieta. En las condiciones de la presente investigación, se considera que la selectividad de la dieta por parte de las cabras no fue el factor primordial que explica las diferencias en el CMS, debido a que la presentación de la dieta en forma de una ración

completa mezclada (TMR) o ración *Unifeed*, tiene, entre otros, el fin de disminuir o evitar esa selectividad (NRC, 2001). De acuerdo con Carasso *et al.* (1988), si la dieta se suministra en forma de TMR, el comportamiento selectivo de la cabra frente a la dieta se reduce con respecto a un sistema de alimentación separada.

Se observó efecto ( $P < 0.05$ ) de la semana experimental sobre el peso corporal y el consumo de materia seca (Cuadro 4). El peso corporal de las cabras incrementó con el transcurso del experimento en el tiempo (Figura 5), no obstante, el consumo de materia seca no mostró un patrón similar (Figura 6), siendo en la semana 7 el tiempo donde mayor consumo de alimento se presentó.



**Figura 5.** Efecto de la semana experimental sobre el peso vivo corporal de cabras Saanen en sistema intensivo.



**Figura 6.** Efecto de la semana experimental sobre el consumo de MS de cabras Saanen en sistema intensivo

### 10.3. Composición química de la leche

No se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) por efecto de los tratamientos sobre el contenido de grasa en leche ( $3.83 \pm 0.65\%$ ), proteína ( $2.99 \pm 0.12\%$ ) y lactosa ( $4.46 \pm 0.18\%$ ) (Cuadro 5). Similarmente en ovejas lactantes, Gómez-Cortés *et al.* (2008) no se observaron efecto de la suplementación de aceite de soya (60 g/kg MS) sobre el contenido y rendimiento de grasa, proteína y sólidos totales de la leche.

Nuestros resultados en el contenido de grasa en leche difieren de lo reportado por otros autores. Ha sido observado que el rendimiento de grasa incrementa con la suplementación de aceite de plantas (Chilliard *et al.*, 2007; Mele *et al.*, 2008; Bernard *et al.*, 2009). Lo mismo ocurrió con la suplementación de aceite de pescado combinado con aceite de plantas esto fue atribuido al mayor flujo de ácidos grasos de cadena larga, lo cual es más compensado por la moderada inhibición de la síntesis de AG *de novo* (Torral *et al.*, 2014). Shi *et al.* (2015) observaron menor contenido de grasa en la leche cuando a las cabras se les adicionó 10 ó 30 g de aceite de cártamo/kg de MS en la dieta comparado con la dieta control (2.97, 2.97 vs. 3.13% de grasa en la leche, respectivamente).

**Cuadro 5.** Composición química (%) y rendimiento (g/d) de componentes de la leche de cabras Saanen en sistema intensivo adicionando aceite de soya en la dieta.

	TRATAMIENTO		EEM	<i>P</i> < ‡		
	CONTROL	SOYA 6		T	S	T*S
<i>Composición</i>						
Grasa	3.87	3.79	0.392	0.8400	<.0001	0.2888
Proteína	3.06	2.93	0.069	0.1062	0.0580	0.0777
Lactosa	4.56	4.36	0.101	0.1035	0.1090	0.1167
<i>Rendimiento</i>						
Grasa	85.89	81.59	14.10	0.7710	0.0045	0.4642
Proteína	67.84	62.84	8.514	0.5874	0.5360	0.5138
Lactosa	101.09	93.84	12.59	0.5861	0.5861	0.5143

EEM= Error estándar de la media

‡ Significancia, T= efecto del tratamiento; S= efecto de la semana experimental; T\*S= efecto de la interacción.

Palmquist *et al.* (1993) reportaron que, en situaciones de fermentación ruminal no alterada, el porcentaje de grasa de la leche de vacas aumenta linealmente con la cantidad consumida de grasa. Sin embargo, de acuerdo con Chilliard *et al.* (2003; 2007), en contraste con las vacas, la suplementación de aceite de plantas en cabras incrementa el rendimiento de grasa, hecho que no ocurrió en la presente investigación. Efectivamente, otros autores (Griinari *et al.*, 1998; Griinari y Bauman, 2006) han encontrado que la inclusión de aceite o grasas en la dieta de bovinos lecheros podría disminuir el contenido de grasa en la leche.

Los valores del contenido de grasa total en leche en el presente estudio son similares a los reportados por Toral *et al.* (2014) al suplementar aceite de pescado en baja y alta dosis solo o combinado con aceites de semilla de girasol y linaza en cabras lactantes Alpinas, sin embargo, estos autores observaron un incremento del contenido de grasa, proteína y lactosa con la inclusión de aceite de plantas con dosis alta y baja de aceite de pescado.

Bouattour *et al.* (2008) no observaron efecto de la suplementación con aceite de soya sobre el contenido y rendimiento de proteína en leche comparado con el grupo control (3.3 vs. 3.3% y 61.8 vs. 63.3 g/d, respectivamente). Sin embargo, el

nivel de grasa en leche incrementó 14% con la inclusión de aceite de soya, de 4.5 a 5.2%.

La respuesta a la suplementación de lípidos adicionales en la dieta está fuertemente influenciada por la composición de la dieta basal (Torral et al., 2014); sin embargo, en cabras esta respuesta sobre el contenido de componentes mayoritarios de la leche al parecer no es del todo clara. Doreau y Chilliard (1992) señalaron que el efecto de las fuentes de grasa incluidas en la dieta sobre la grasa de la leche depende del impacto sobre la digestión ruminal, el cual se relaciona a su vez con la protección frente a los microorganismos ruminales, el grado de insaturación y procesado de la fuente de grasa suplementada en la dieta.

Respecto a la falta de significancia de la adición de aceite de soya sobre el contenido de proteína en leche, se ha comprobado que la digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos no es afectada (Martin et al., 2008) cuando se adicionan fuentes de grasas no protegidas; igualmente, su efecto sobre la digestión ruminal y el total de la proteína es poco relevante. Doreau y Ferlay (1995) concluyeron que la inclusión de lípidos tiende a reducir la concentración ruminal de amoníaco pero no afecta al flujo duodenal de nitrógeno no proteico.

Producto de la falta de significancia en la producción y la composición de la leche, el rendimiento de componentes mayoritarios de la leche tampoco fueron afectados por los tratamientos ( $P>0.05$ , Cuadro 5).

En cuanto al efecto de la semana experimental, el contenido de grasa en leche y su rendimiento fueron afectados ( $P<0.05$ ) al transcurrir el experimento (Cuadro 5). En la primer semana de estudio se observó el mayor contenido de grasa total en leche, posteriormente disminuyó, alcanzando su nivel más bajo en la semana 4 (Figura 7). El rendimiento de grasa siguió un patrón similar al del contenido de grasa total en leche (Figura 8), después de la semana uno de estudio, el rendimiento de grasa disminuyó drásticamente 22% en la semana 2 y 27% en la semana 3. La disminución en el contenido de grasa en leche ha sido asociada con el incremento de la producción de leche indicando el efecto de dilución, tanto en cabras consumiendo TMR (Abijaoude et al., 2000; Andrade et al., 1996) o consumiendo concentrado separado del forraje (Chilliard et al., 2006)

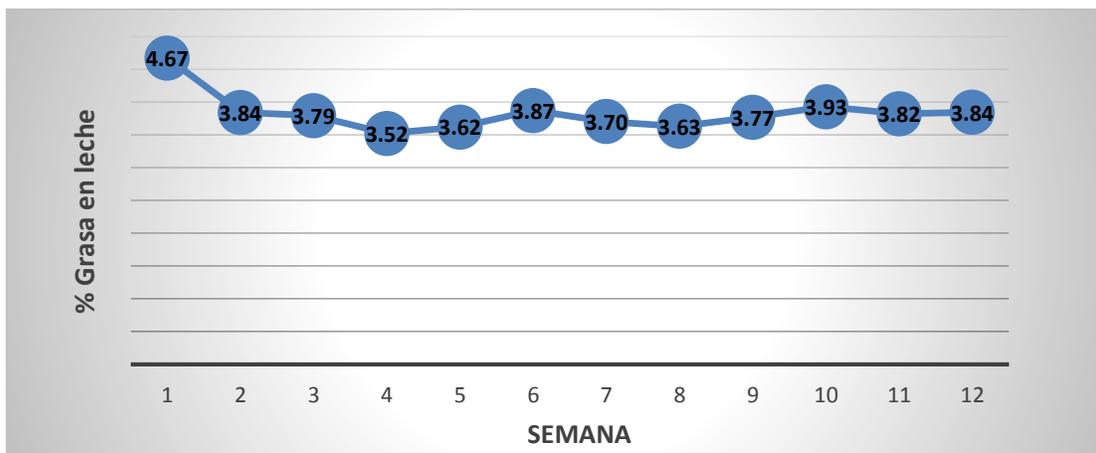


Figura 7. Efecto de la semana experimental sobre el contenido de grasa en leche de cabras Saanen en sistema intensivo

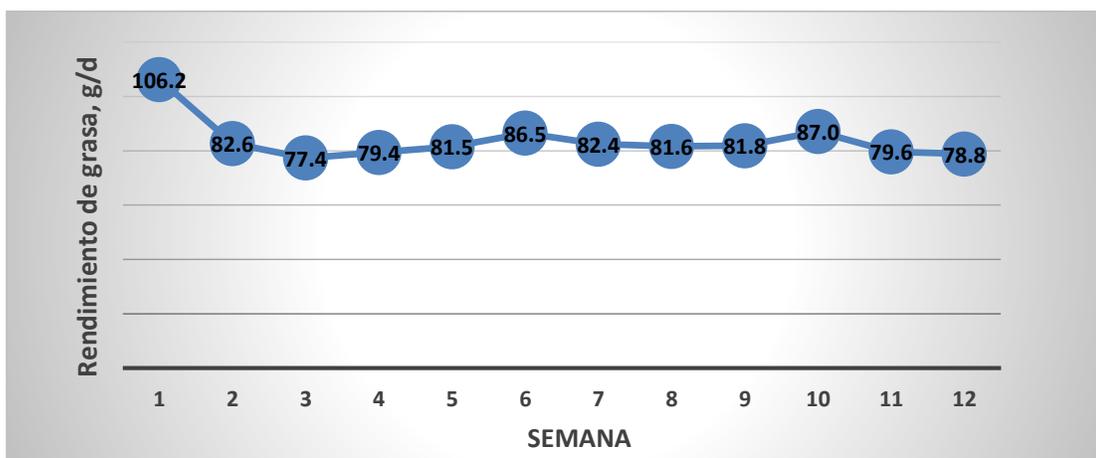


Figura 8. Efecto de la semana experimental sobre el rendimiento de grasa en leche de cabras Saanen en sistema intensivo

#### **10.4. Contenido total de ácidos grasos en leche**

El efecto de la adición de aceite de soya sobre el contenido total de ácidos grasos según su grado de saturación y longitud de cadena es mostrado en el Cuadro 6. El tratamiento con adición de aceite de soya mostró mayor ( $P<0.05$ ) contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, a expensas de la disminución de la porción saturada, la cual disminuyó 13% respecto al tratamiento control. Adicionar aceite de soya a la dieta de cabras Murciano Granadina redujo el contenido de ácidos grasos saturados de 72.8% a 64.5% e incrementó el contenido de ácidos grasos monoinsaturados (de 19.6 a 27.9%) y poliinsaturados (de 4.6 a 6.4%) de la leche (Bouattour *et al.*, 2008). La mayoría de los AG originados desde la glándula mamaria, por la síntesis *de novo*, son ácidos grasos saturados (C10 a C16) y los ácidos grasos de cadena larga inhiben marcadamente la síntesis *de novo* (Chilliard *et al.*, 2003). Este efecto es mayor cuando los ácidos grasos de cadena larga son insaturados. El aceite de soya contiene alrededor del 84% de ácidos grasos insaturados de cadena larga ( $>C18$ ) del total de AG (Bouattour *et al.*, 2008), en este orden C18:2>C18:1>C18:3>C20:1.

**Cuadro 6.** Contenido de ácidos grasos de acuerdo a su grado de saturación y longitud de cadena de la leche de cabras Saanen adicionando aceite de soya en la dieta.

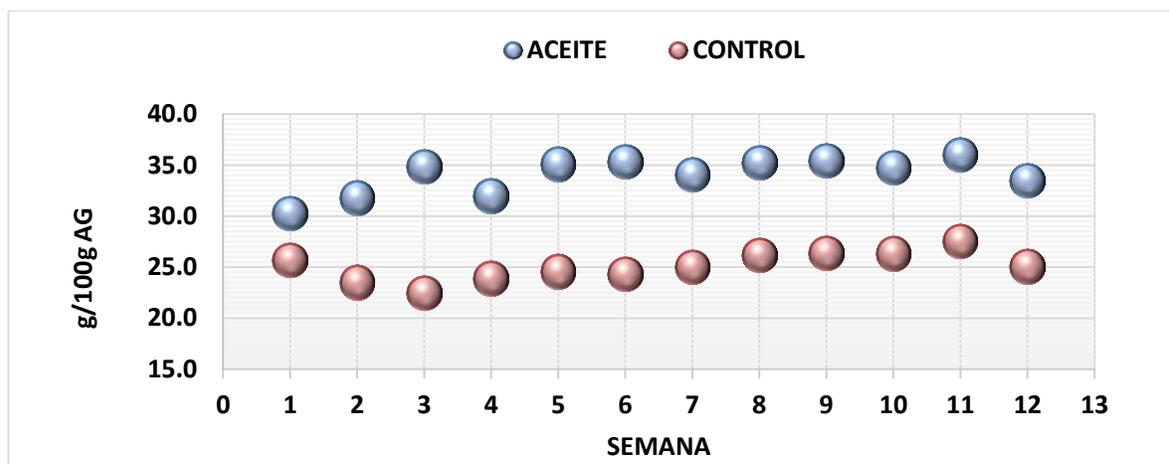
CATEGORÍA	TRATAMIENTO		EEM	P<‡		
	CONTROL	SOYA 6		T	S	T*S
<i>Grado de saturación</i>						
Saturados	72.28	62.46	0.4625	<.0001	0.0009	0.0552
Monoinsaturados	25.08	34.03	0.3747	<.0001	0.0001	0.0236
Poliinsaturados	2.64	3.51	0.1338	<.0001	0.3567	0.6479
Relación Sat:Insat	2.63	1.68	0.0487	<.0001	0.0038	0.0667
<i>Longitud de cadena</i>						
Corta (C4-C10)	19.87	12.51	1.7537	<.0001	0.0026	0.0833
Media (C11-C17)	42.92	31.18	0.4764	<.0001	0.0150	0.0064
Larga (>C18)	37.20	56.29	0.9030	<.0001	0.0006	0.0767

EEM= Error estándar de la media

‡ Significancia, T= efecto del tratamiento; S= efecto de la semana experimental; T\*S= efecto de la interacción.

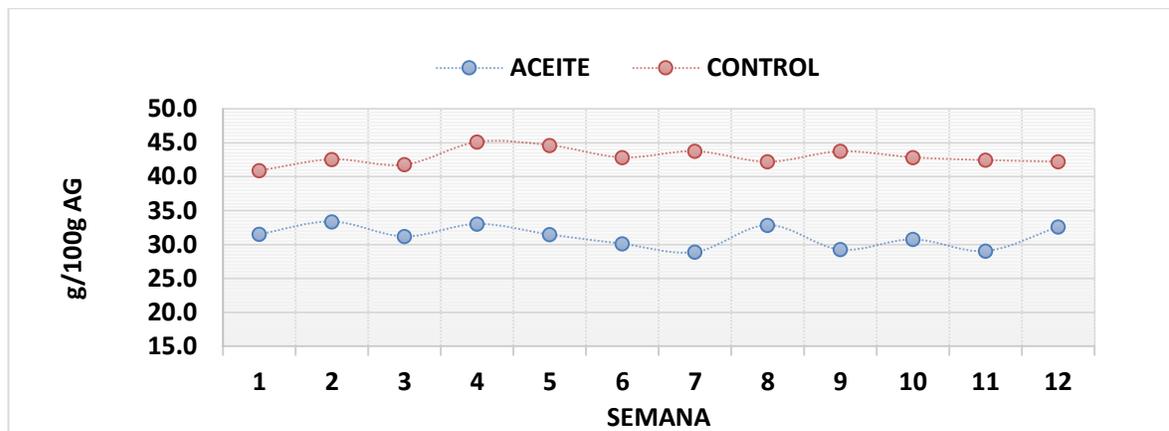
Los ácidos grasos pueden clasificarse por su número de átomos de carbono, así tenemos ácidos grasos de cadena corta (C4 a C10), de cadena media (C11 a C17) y de cadena larga (>C18). Con la suplementación de aceite de soya en la dieta de las cabras se produjo leche con mayor ( $P<0.05$ ) contenido de ácidos grasos de cadena larga (>18 átomos de carbono), un 51.3% más con respecto al tratamiento control. El incremento de esta categoría de ácidos grasos de cadena larga, ocurrió a cambio de la disminución de ácidos grasos de cadena corta y media, esto tiene correspondencia con la disminución del contenido total de ácidos grasos saturados, dado que la mayor proporción de los ácidos grasos de cadena corta y media son ácidos grasos saturados.

La interacción de la semana experimental con el tratamiento tuvo efecto ( $P < 0.05$ ) principalmente sobre el contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y el total de ácidos grasos de cadena media en leche (Cuadro 6). El contenido más alto de AGMI en leche se observó en la semana 11 en la dieta con aceite de soya, mientras que el menor contenido de esta categoría de ácidos grasos fue en la semana 3 con el tratamiento control (Figura 9)

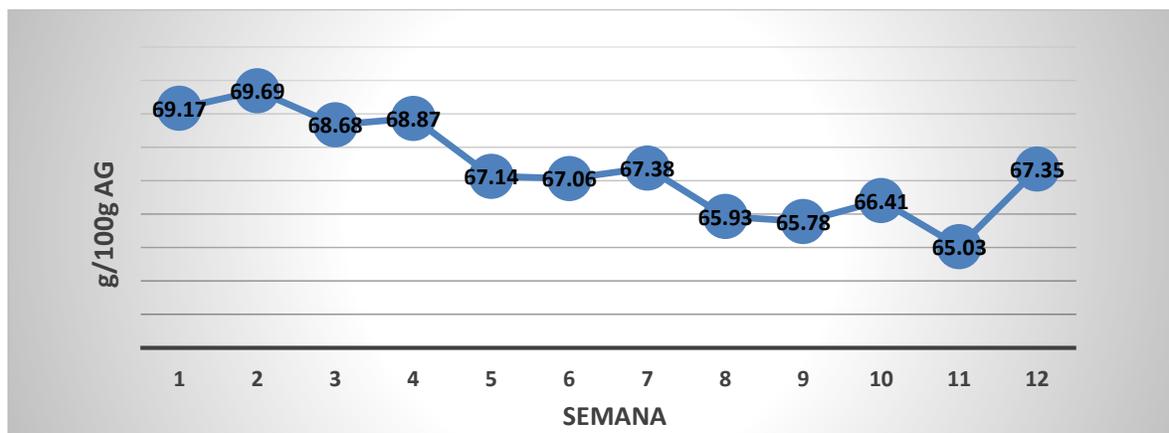


**Figura 9.** Efecto de la interacción tratamiento con semana experimental sobre el contenido ácidos grasos monoinsaturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

El contenido de ácidos grasos de cadena media de la leche mostró su mayor nivel en la semana 4 y 5 en el tratamiento control, mientras que su contenido más bajo lo fue con el tratamiento de aceite de soya en la semana 7.

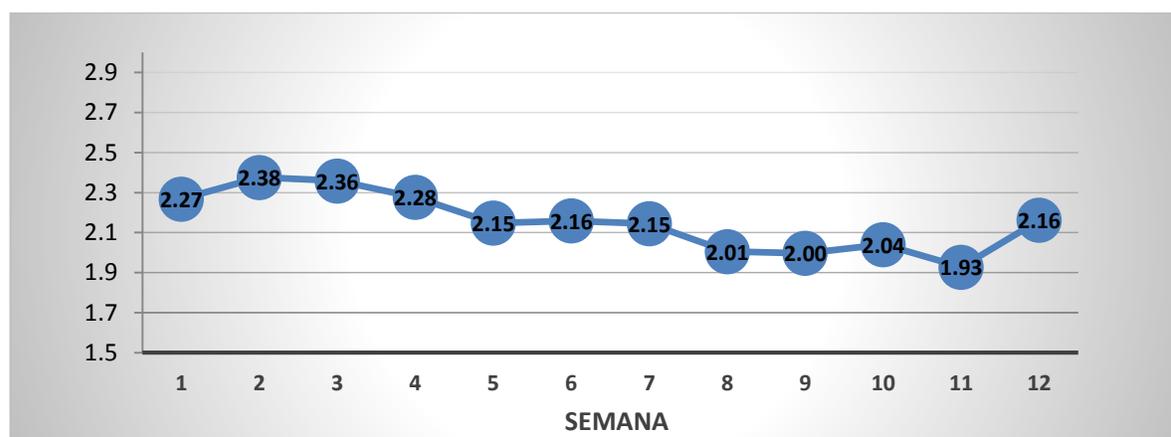


**Figura 10.** Efecto de la interacción del tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos de cadena media en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

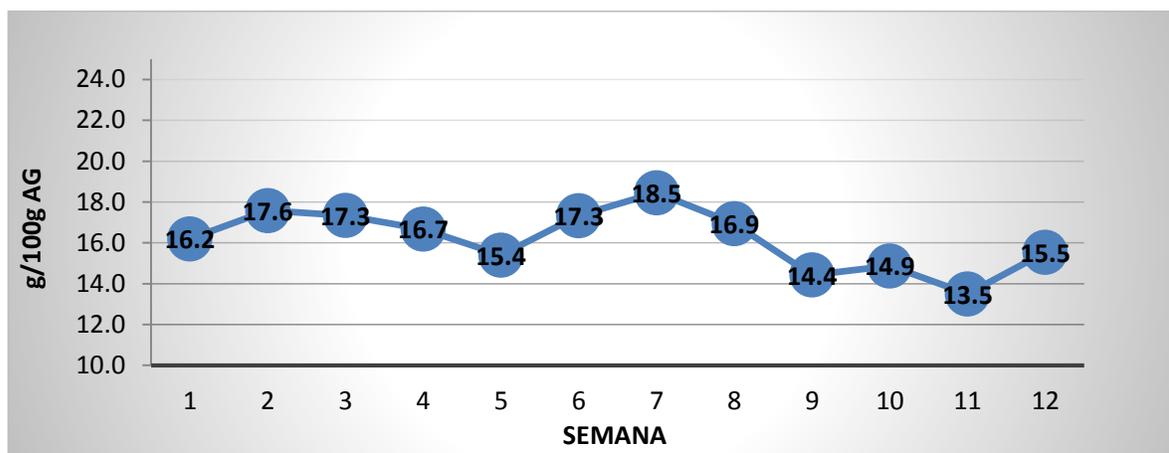


**Figura 11.** Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos saturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo

El contenido de ácidos grasos saturados en leche así como la relación Saturados:Insaturados fueron afectados ( $P<0.05$ ) por la semana experimental (Cuadro 6). El contenido total de ácidos grasos saturados en la leche de cabras disminuyó con el transcurso del experimento a expensas de incrementar el contenido de ácidos grasos insaturados. Este patrón favoreció una mejor relación Saturados:Insaturados de la leche, hacia el final del experimento ( $P<0.05$ ; Figura 12). Un patrón similar ocurrió con el contenido total de ácidos grasos de cadena corta en leche, disminuyendo su contenido en las semanas 9, 10 y 11 con un repunte en la semana 12 ( $P<0.05$ ; Figura 13). Contrariamente, el contenido de ácidos grasos de cadena larga mostró mayores variaciones en su nivel en el primer tercio y el final del tiempo experimental, siendo en las últimas semanas del estudio donde se observó la mayor cantidad de ácidos grasos en esta categoría ( $P<0.05$ ; Figura 14).

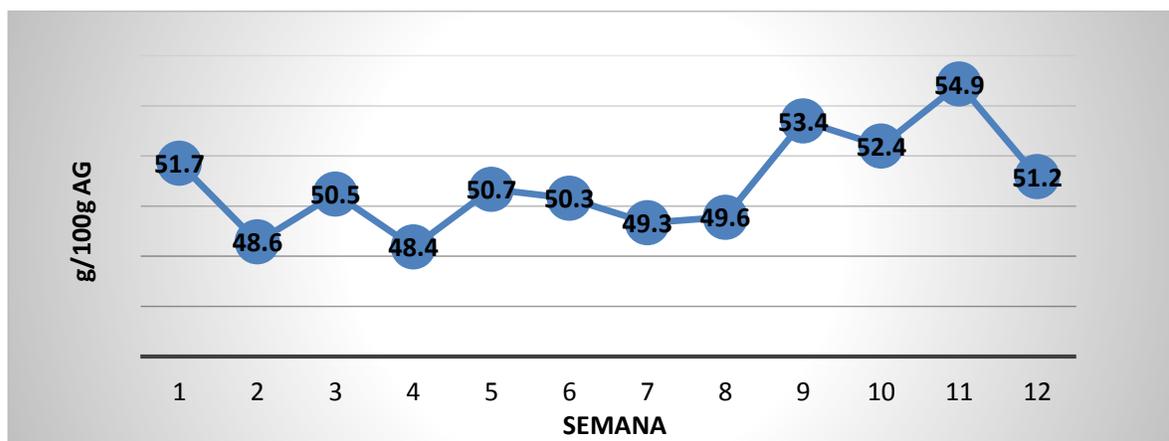


**Figura 12.** Efecto de la semana experimental sobre la relación de ácidos grasos saturados:insaturados en leche de cabras Saanen en sistema intensivo



**Figura 13.** Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena corta en leche de cabras Saanen en sistema intensivo

La suplementación con aceite de soya a cabras en lactación tiene como objetivos aumentar la densidad energética de la dieta y aportar una fuente rica de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente de ácido linoleico (C18:2 c9 c12), con la finalidad de mejorar la calidad nutritiva de la grasa de la leche hacia un contenido lipídico más saludable para el consumidor. La estrategia de alimentación con lípidos a cabras debe proveer leche con un menor contenido de grasa saturada y mayor de insaturada sin afectar el consumo de alimento, la producción de leche y el contenido de otros componentes importantes en la leche, como la proteína, principal componente de otros productos lácteos como el queso.



**Figura 14.** Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena larga en leche de cabras Saanen en sistema intensivo

En algunos países desarrollados, como Francia, Italia, España o Grecia, el interés por la producción de leche de cabra es relevante por su importancia económica basada en el incremento de la demanda productos derivados de la leche de ovejas y cabras (Haenlein, 2001). Además, existe gran interés en el valor añadido de esos productos y de aquellos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados o componentes funcionales como el CLA (Bouattour *et al.*, 2008).

En la mayoría de los estudios que han evaluado de suplementación de grasa o aceite adicional en la dieta de cabras (Toral *et al.*, 2014; Bouattour *et al.*, 2008) ovejas (Gómez-Cortéz *et al.* 2008) y vacas (Griinari y Bauman, 2006; Chilliard *et al.* 2003, 2007) el análisis sobre la viabilidad económica de su utilización no ha sido evaluada. Quizá, se asume que, en los países donde han sido llevados a cabo esos estudios (Europa y Norteamérica, principalmente), existe pago de la calidad diferenciada, más allá de su contenido total de grasa, proteína o sólidos totales, como podría ser el perfil de lípidos de la leche, debido al valor agregado por la mayor presencia de ácidos grasos insaturados (omega 3, omega 6) y otros componentes funcionales, como el ácido linoleico conjugado (CLA), mismos que han demostrado tener propiedades beneficiosas para la salud humana (Belury, 1995). Una condición que, en nuestro país, aún no es considerado para el pago de la leche al productor.

*Respuesta productiva de cabras lecheras en confinamiento adicionando aceite de soya en la dieta*

---

En esta investigación se incluyó un análisis de costos parciales (por concepto de alimentación) para conocer el incremento del precio con la adición de aceite de soya. El aumento de componentes benéficos en la leche utilizada para consumo humano debe ser pagado a los productores.

**Cuadro 7.** Análisis económico de la adición de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen en lactación bajo un sistema de producción intensivo.

INGREDIENTE	\$/kg <sup>A</sup>	DIETAS EXPERIMENTALES	
		CONTROL	SOYA 6
Ensilado de maíz	4.55		
Rastrojo de maíz	2.22		
Maíz grano (molido)	4.10		
Pasta de soya	10.00		
Canola	6.33		
Aceite de soya	18.20		
Premezcla de Vit-Min	12.00		
Costo de la dieta, \$/kg MS		4.93	5.69
Precio venta leche, \$/L <sup>B</sup>	6.01		
PARAMETROS PRODUCTIVOS			
Consumo, kg MS/d		2.09	2.34
Producción leche, kg/d		2.22	2.15
Gastos de alimentación, \$/d		10.94	13.31
Gastos de alimentación, \$/kg leche		4.92	6.19
Ingresos por venta leche, \$/d		13.34	12.92
Utilidad, \$/d <sup>C</sup>		2.4	-0.39

<sup>A</sup> Precios al mes de marzo de 2014, moneda nacional (base seca).

<sup>B</sup> Fuente: SIAP (2014)

<sup>C</sup> Calculado: ingresos por venta de leche – gastos de alimentación.

### **10.5. Análisis económico**

El Cuadro 7 muestra el análisis económico de la producción de leche de cabras Saanen alimentadas con la adición de aceite de soya en la dieta. Los costos de las dietas experimentales (Cuadro 1) se calcularon de acuerdo a los precios de los ingredientes en materia seca (\$/kg de MS). El costo de la dieta con la adición de aceite de soya fue 15.4% mayor comparado con la dieta control, este aumento de costo se le debió a la inclusión de aceite de soya. La mayor ingestión de alimento por las cabras en el tratamiento SOYA 6 (Cuadro 4) y el costo más elevado se reflejó en el costo de la alimentación por día el cual fue 21.7% mayor comparado con el tratamiento CONTROL.

Tomando en cuenta el precio unitario de la leche (\$6.01 pesos/L) según el SIAP (2014), el ingreso por venta fue ligeramente mayor con la dieta control, apenas \$0.42 pesos/d, pero el costo de alimentación fue mayor en la leche de cabra producida con la adición de aceite de soya en la dieta; con esto la utilidad de la leche de los tratamientos CONTROL y SOYA 6 fue de 2.4 y -0.39 pesos por día, respectivamente.

No obstante, se debe destacar que la leche producida con mayor proporción de componentes benéficos al consumidor (ácidos grasos insaturados), en este caso por la inclusión de una fuente adicional de lípidos insaturados en la dieta, podría ser pagada a un precio más elevado que aquella que se produce en un sistema intensivo tradicional.

## **XI. CONCLUSIÓN**

Con el presente trabajo se concluye que la inclusión de aceite de soya en dietas de cabras Saanen en lactación en un sistema de producción intensiva no tiene efecto sobre el peso vivo, la producción de leche, el contenido de grasa, de proteína y de lactosa en leche, pero aumenta el consumo diario de alimento. Mejoro la calidad de la grasa de la leche por el incremento del contenido de ácidos grasos insaturados y de cadena larga, y disminuyendo el total de ácidos grasos saturados. Sin embargo, en las condiciones de esta investigación, la utilización de aceite de soya resulta económicamente no viable, debido al incremento de los gastos de alimentación. Por lo tanto, su viabilidad dependería en gran parte del costo de venta de la como un producto diferenciado o con valor agregado.

## **XII. LITERATURA CITADA**

- Abijaoude, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., Sauvant, D. (2000). Influence of forage: concentrate ratio and type of starch in the diet on feeding behaviour, dietary preferences, digestion, metabolism and performance of dairy goats in mid lactation. *Anim. Sci.* 71, 359–368.
- Andrade, H., Bernal, G., Llamas, G. (1996). Influence of different alfalfa: sorghum ratios in the diet of dairy goats on productivity and rumen turnover. *Small Rumin. Res.* 21, 77–82.
- AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19th. ed. AOAC. Arlington. VA, USA.
- Arbiza J, Bermúdez W, De Lucas J, Cruz P, Cuellar A, Hernández C, Jaramillo E, Oviedo G, Pérez E, Trejo A. (1986): Producción de Caprinos 1<sup>er</sup> ed., A. G. T Editor, México. p. 97-110.
- Arbiza S, De Lucas J. (2001): La Leche Caprina y su producción. 1ra ed. Editores Mexicanos Unidos S. A. México.
- Beauchemin KA, McGinn SM, Benchaar C, Holtshausen L. (2009): Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.* 92: 2118-2127.
- Belury MA (1995). Conjugated dienoic linoleate: A polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties. *Nutr. Rev.* 53: 83-89.
- Bernard, L., Shingfield, K.J., Rouel, J., Ferlay, A., Chilliard, Y. (2009): Effect of plant oils in the diet on performance and milk fatty acid composition in goats fed diets based on grass hay or maize silage. *Br. J. Nutr.* 101, 213–224.
- Bouattour MA, Casals R, Albanell E, Such X, Caja G. (2008): Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk. *J. Dairy Sci.* 91:2399–2407.
- Cantú J, (2008): Zootecnia de Ganado Caprino 1<sup>er</sup> ed., Ed. Trillas, México.
- Carasso Y, Maltz E, Silanikove G, Shefet G, Meltzer A, Barak M. (1988): The use of complete diets for Israeli goats. Seminar of FAO subnetwork on goat nutrition and feeding. Potenza (Italy).
- Cepeda R. (2007): Manual de Producción de Caprinos: un enfoque técnico y social, Universidad Autónoma de Baja California sur, BCS.
- Chamberlain A, Wilkinson J. (1996): Feeding the dairy cow. *Lincoln.* 89:241.
- Chandan R, Attaie R, Shahani K. (1992): Nutritional aspects of goat milk and its products. *Animal Scientific Research*, 2(1): 399-420.
- Chilliard Y, Ferlay A, Rouel J, Lamberett G. (2003): A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J Dairy Sci.* 86, 1751-1770.
- Chilliard Y, Ferlay A. (2004): Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acids composition and sensory properties. *Repr. Nutr. Dev.*, 44: 467-492.
- Chilliard Y, Ollier A. (1994): Alimentation lipidique et métabolisme du tissu adipeux chez les ruminants. Comparaison avec le porc et les rongeurs. *INRA Prod. Anim.* 7, 293-308.

- 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. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109, 828–855.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal-Ljutovac, K., Lauret, A., Leroux, C. (2006). Optimising goat milk and cheese fatty acid composition: effects of genotype, feeding factors and dairy technology. In: Willians, C., Buttriss, J. (Eds.). "Improving the fat content of foods" Woodhead Publishing Ltd. pp. 281-312.
- Chouinard PY, Louise Corneau, Barmano DM, Metzger LE, Bauman DE (1999): Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.* 129: 1579-1584.
- Cofré P. (2001): producción de cabras lecheras Boletín INIA NO.66 Instituto de investigaciones Agropecuarias Chillán, Chile, 150-166.
- De la Rosa, S. (2011): Manual de Produccion Caprina.
- Doreau M, Chilliard Y (1992): Influence d'une supplémentation de la ration en lipides sur la qualité du lait chez la vache. *INRA Prod. Anim.* 5:103-111.
- Doreau M, Ferlay A. (1994): Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 45: 379-396.
- Doreau, M., Chilliard, Y. (1997): Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78: S15-S35.
- Doreau, M., Ferlay, A. (1995): Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livest. Prod. Sci.* 43: 97-110.
- FAO (1987): Análisis mundial: Análisis por regiones Cambios en las prioridades de la ciencia agrícola y la tecnología en los países en desarrollo, Roma. <http://www.fao.org/docrep/017/ap667s/ap667s.pdf> (18 mayo 2014).
- FEDNA (2003): Federación Española de Nutrición Animal. Nutrición y alimentación de caprinos de leche en sistemas intensivos de explotación. [www.acorex.es/es/pienso/nutricionyalimentaciondelcaprinodelecheensistemasintensivosdeexplotacion.pdf](http://www.acorex.es/es/pienso/nutricionyalimentaciondelcaprinodelecheensistemasintensivosdeexplotacion.pdf) (15 de Marzo 2015).
- Feng S, Lock AL, Garnsworthy PC (2004): Tecncial note: A rapid lipid separation method for determining fatty acod composition of milk. *J. Dairy Sci.* 87: 3785-3788.
- Ferlay A, Chilliard Y, Doreau M. (1992): Effects of calcium salts differing in fatty acid composition on duodenal and milk fatty acid profiles in dairy cows." *J. Sci. Food Agric.*, 60: 31.
- FIRA. (1999): Oportunidades de Desarrollo de la industria de la leche y carne de cabra en México. <https://www.fira.gob.mx> (24 Abril 2015).
- Ford J.E., Knaggs G.S., Salters D.N., Scott K.J. (1972). Folate nutrition in the kid. *Br. J. Nutr.* 27, 257.
- Galina M. (2002): Artisanal goat cheese production under semi arid rangeland seasonal grazing whit protein or non protein urea supplementation compared to a high protein diet. [Word wide science.org](http://Wordwide.science.org).

- Gangliostro, G.A., Schroeder, G.F. (2007): Efectos de la suplementación con sales cálcicas de ácidos grasos insaturados sobre la digestión ruminal en vacas lecheras en pastoreo. Arch. Latinoam. Prod. Anim.15: 85-97.
- Gómez A, Pinos J, Aguirre J. (2009): Manual de producción caprina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- Gómez-Cortés P, Frutos P, Mantecón AR, Juárez M, de la Fuente MA, Hervás G. (2008). Milk production, conjugated linoleic acid conten, and in vitro ruminal fermentation in response to high levels of soybean oil in dairy ewe diet. J. Dairy sci. 91:1560-1569.
- Griinari JM, Bauman DE. (2006). Milk fat depression: concepts, mechanisms and management. En: Ruminant physiology – Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Sejrsen K. Hvelplund T. Nielsen MO (Eds). Wageningen Acad. Publ. (NL). pp. 389–417.
- Griinari JM, Dwyer DA, McGuire MA, Bauman DE, Palmquist DL, Nurmela KVV. (1998). Trans- octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 81: 1251-1261.
- Haenlein G, Caccese R. (eds) (1984): Goat milk versus cow milk. Extension Goat Handbook 2 4<sup>a</sup> ed., Washington, DC.
- Haenlein G, Wendorff W. (2006): Sheep milk-production and utilization of sheep milk. Blackwell publishing professional, Oxford, UK. 137-194.
- Haenlein, G.F.W. (2001): Past, present and future perspectives of small ruminant dairy research. J. Dairy Sci. 84:2097–2115.
- Harfoot C.G. (1978). Lipid metabolism in the rumen. Prog. Lipid Res. 17, 21–54.
- Herrera JG. (1999): La cabra criolla en México xiv Reunion nacional de caprinocultores, Montecillo, Estado de México, 1-15.
- INEGI. (2014): Disponible en [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx). (25 de Octubre de 2014).
- Jenkins C, Wallace J, Moate J, Mosley E. (2008): Recent advances in Biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. J. Anim. Sci., 86:397-412.
- Jenkins C. (1993): Symposium: advances in ruminant lipid metabolism. Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy. Sci., 76: 38-51.
- Jenkins TC, Bridges Jr WC. (2007): Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. Eur. J. Lipid Sci. Technol., vol. 109, p. 778-789.
- Jenkins TC. (2004): Challenges of meeting cow demands for omega fatty acids. 15th Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, USA, p. 52-66.
- Jimeno V, Rebolla G, Castro T. (2003): Nutrición y Alimentación del caprino de leche en sistemas intensivo de explotación. En: XIX Curso de Especialización FEDNA. p. 155-178.
- Knights M, García W. (1997): The estatus and characteristics of the goat (*capra hircus*) and its potential role as a significant milk producer in the tropics: A review. Small Ruminant. Res., 26: 203-215.
- Konare A, Thomas C, Rock AF. (1979): The concentration of some water soluble constituents in the milk of cows, sows, ewes, and goats. J. Dairy Res., 38:333-340.

- Loor J, Bandara A, Herbein J. (2002): Characterization of 18:1 and 18:2 isomers produced during microbial biohydrogenation of unsaturated fatty acids from canola and soya bean oil in the rumen of lactating cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 86: 422-432.
- Martin C, Rouel J, Jouany JP, Doreau M, Chilliard Y. (2008): Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *J. Anim. Sci.* 86: 2642-2650.
- Martínez A, Pérez M, Pérez L, Gómez G, Corrión D. (2011): Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. *Revista electrónica veterinaria*, 11(08) 1-21.
- Masson C, Rubino R, Fedele V. (1991): Goat Nutrition. P. Morand-Fehr (Ed.). Wageningen Pudoc E.A.A.P., Publ. 46.: 145-159.
- McAllister TA, Newbold CJ. (2008): Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust. J. Exp. Agric.*, vol. 48, p. 7-13.
- McDonald P, Edward A, Greenhalgh D, Morgan A. (1995): *Nutricion Animal*. 5ª ed., Acribia S. A., España.
- Mele M, Serra A, Buccioni A, Conte G, Pollicardo A, Secchiari P. (2008). Effect of soybean oil supplementation on milk fatty acid composition from Saanen goats fed diets with different forage:concentrate ratios. *Ital. J. Anim. Sci.* 7, 297–311.
- Menke H, Steingass H. (1988): Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.*, 28: 7-55.
- Morand P, Boyazoglu J. (1999): Presents and future Outlook of the small ruminant sector. *Small Rumin. Res.*, 34: 175-188.
- Morand-Fehr P, Owen E, Giger-Reverdin S. (1991): Goat Nutrition. P. Morand-Fehr (Ed.). Wageningen Pudoc E.A.A.P., Publ. 46. pp. 3-12.
- National Research Council (2001): NRC. Nutrient requirements of dairy cattle 7th rev. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. (2007): NRC. Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Animal Nutrition Series. The National Academy Press. Washington, DC, USA.
- Osorio S, Vinazco J. (2010): El metabolismo lipídico y su relación con la dieta, condición corporal, el estado productivo y patologías asociadas. *Biosalud*, 9(2):56-66.
- Palmquist D, Jenkins T. (1980): Fat in lactation rations. *Review. Dairy Sci.*, 63:1-14.
- Palmquist DL, Beaulieu AD, Barbano DM. (1993): Feed and animal factors influencing milk fat composition *J.DairySci.*63: 1-14.
- Park Y, Chukwu I. (1988): Macro-mineral concentrations in milk of two goat breed at different stage of lactation. *Small Rumin. Res.*, 1:157-168.
- Park Y, Juárez G, Ramos M, Haenlein FW. (2007): Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.*, 68: 88-113.
- Park Y.W. (1994). Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. *Small Rumin. Res.* 14, 151–161.

- Park Y.W. (2006). Goat milk—chemistry and nutrition. In: Park,Y.W., Haenlein, G.F.W. (Eds.), Handbook of Milk of Non-bovine Mammals. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, pp. 34–58.
- Park Y.W., Chukwu H.I. (1989). Trace mineral concentrations in goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds during the first 5 months of lactation. *J. Food Compos. Anal.* 2, 161–169.
- Parkash S, Jennes R. (1968): The composition and characteristics of goats milk. *Dairy Sci. Abstrac*, 30: 67-75.
- Ramírez G. (2009): *Nutrición de Rumiantes sistemas extensivo* 2da ed., Trillas, México.
- Ramírez H, Buntinx E. (2012): *Metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas.* [www.textos/alimenta/MET\\_CHO\\_LIP\\_PRO2pdf](http://www.textos/alimenta/MET_CHO_LIP_PRO2pdf). (11 de Febrero 2015).
- Remeul F, Lenoir J. (1986): Relationship between the physic-chemical characteristics of goats milk and its rennetability. *Intl. Dairy bull.*, 202: 68.
- SAS. (2012): *SAS/ STATTM User’s Guide.* Statistical analysis system institute Inc. Cary, North Caroline, USA.
- Sauvant, D, Bas P. (2001): La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Prod. Anim.* 14: 303-310.
- Shi H, Luo J, Zhang W, Sheng H. (2015). Using safflower supplementation to improve the fatty acid profile in milk of dairy goat. *Small Ruminant Research* 127:68–73.
- Shimada A. (2009): *Nutrición animal.* 2a ed; Trillas, México.
- SIAP. (2014): Dirección de Ganadería: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). (27 Enero de 2015).
- Silva MC, Rodrigues MT, Branco RH, Rodrigues AF, Sarmento LR, Queiroz AC, Silva SP. (2007): Suplementação de lipídios em dietas para cabras em lactação: consumo e eficiência de utilização de nutrientes. *R. Bras. Zootec.*, vol. 36, p. 257-26.
- Stark B. (1988): Improving quality of goat milk. *Dairy industries int.* 53:23-25.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA. (1997): *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach.* 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622p.
- Toral PG., Rouel J., Bernard L., Chilliard Y. (2014). Interaction between fish oil and plant oils or starchy concentrates in the diet: Effects on dairy performance and milk fatty acid composition in goats. *Animal Feed Science and Technology* 198:67–82.
- Valencia CM. (2002): Desafíos del sistema extensivo de Producción Caprina XVII Reunión Nacional Sobre Caprinocultura Durango, México, 122-128.
- Van Soest J, Robertson J, Lewis A. (1991): Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *J. Dairy Sc.*, 74:3583-3597.
- Van Soest P. (1994): Nutritional ecology of the ruminant. Chapter 20 in *Lipids*, Cornell Univ. Press. Ithaca, N.Y.
- Vilmar G. (2011): *Bioquímica dos Ruminantes* 3ª ed., aufsm, Brasil.
- Wattiaux M. (2005): *Guía Técnica Lechera.* Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera. 9-20, 77-80.