



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE GRASAS PROTEGIDAS  
SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y  
COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE VACAS EN  
ESTABULACIÓN**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTAN:

**PMVZ. ALBERTO JORGE ROJAS GONZALEZ**  
**PMVZ. JOSE ARMANDO ARELLANO GOMEZ**

ASESORES

**DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ**  
**M. EN C. LUIS ALBERTO MEJIA URIBE**  
**DR. JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES**



EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, ESTADO DE MÉXICO  
ENERO 2020

## Contenido

	<b>Página</b>
Índice de cuadros.....	III
Índice de figuras.....	III
Lista de abreviaturas.....	IV
Resumen.....	V
I Introducción.....	1
II Revisión de literatura.....	3
2.1. Contexto internacional de la producción de leche.....	3
2.2. Producción mundial de leche.....	3
2.3. Contexto nacional.....	4
2.3.1. Producción de leche.....	4
2.3.2. Importación de leche en polvo.....	6
2.4. Sistemas de producción de leche en México.....	7
2.4.1. Sistema intensivo o especializado.....	8
2.4.2. Sistema semi especializado.....	9
2.4.3. Sistema doble propósito (Tropical).....	9
2.4.4. Sistema familiar o de traspatio.....	9
2.5. Ensilado de maíz en la alimentación de vacas lecheras..	9
2.6. Componentes químicos de la leche de vaca.....	9
2.6.1. Proteína en leche .....	9
2.6.2. Lactosa en leche .....	11
2.6.3. Grasa en leche .....	11
2.6.4. Minerales en leche .....	11
2.7. Estrategias de la alimentación para producción de leche.	12
2.7.1. Productos de sobrepaso.....	12
2.7.1.1. Proteína de sobrepaso.....	13
2.7.1.2. Carbohidratos de sobrepaso.....	14
2.7.1.3. Grasa de sobrepaso.....	15
2.8. Metabolismo de lípidos.....	16
2.8.1. Lipólisis y biohidrogenación.....	17
2.8.2. Biohidrogenación.....	18
2.8.3. Metabolismo de lípidos en hígado.....	21
2.9. Absorción intestinal de lípidos.....	21
2.10. Utilización de lípidos en la ubre.....	21
2.11. Adición de lípidos a la ración de vacas lecheras.....	22
2.12. Efecto de la adición de grasa de sobrepaso en vacas lecheras. ....	22
III Justificación.....	24

IV	Hipótesis.....	25
V	Objetivos.....	26
VI	Materiales y métodos.....	27
	6.1. Materiales de campo.....	27
	6.2. Materiales biológicos.....	27
	6.3. Equipo de laboratorio.....	27
	6.4. Animales, dieta y tratamientos.....	27
	6.5. Desarrollo experimental.....	28
	6.6. Análisis de laboratorio.....	29
	6.6.1. Análisis de alimentos.....	29
	6.6.2. Análisis de leche.....	30
	6.7. Análisis estadístico.....	30
	6.8. Análisis económico.....	30
VII	Límite de espacio.....	31
VIII	Límite de tiempo.....	32
IX	Resultados y discusión.....	33
X	Conclusiones.....	40
XI	Bibliografía.....	41

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Producción de leche por entidad federativa en México (miles de litros) .....	5
2	Composición de ingredientes de las dietas (% base seca) .....	29
3	Análisis químico del aporte nutricional de las dietas consumidas por las vacas lecheras en lactación .....	33
4	Peso vivo corporal (kg) y consumo de alimento (kg/ms/d) y de nutrientes (kg/d) de vacas lecheras estabuladas adicionando grasas de sobrepeso en dietas completas mezcladas.....	34
5	Producción (kg/d), composición (%) y rendimiento de componentes (kg/d) de la leche de vacas estabuladas adicionando grasa de sobrepeso en dietas completas mezcladas.....	36
6	Análisis económico (moneda nacional) del uso de grasas protegidas en la alimentación de vacas lecheras en estabulación.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Producción mundial de leche 2015-2017.....	4
2	Producción de leche (ton) en el Estado de México de 2013-2017.....	5
3	Principales municipios productores de leche en el Estado de México en 2017, producción en toneladas.....	6
4	Producción de leche vs. importaciones de leche en polvo, diciembre 2017.....	7
5	Origen de las importaciones de leche en polvo 2017.....	7
6	Metabolismo de lípidos en la vaca.....	17
7	Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y alfa-linolénico en el rumen, junto con los grupos de microorganismos implicados.....	20

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ALi</b>	Ácido linóleico
<b>ALn</b>	Acido alfa-linolénico
<b>AOI</b>	Ácido oleico
<b>ATV</b>	Ácido transvaccenico
<b>BH</b>	Biohidrogenación
<b>BAS</b>	Bacterias adheridas a la superficie
<b>BAL</b>	Bacterias adheridas al líquido del rumen
<b>C18:0</b>	Acido esteárico
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amonio
<b>TMR</b>	Ración totalmente mezclada

## Resumen

El objetivo fue evaluar la respuesta productiva y la composición química de la leche en vacas Holstein x Pardo Suizo en estabulación alimentadas con dietas completas mezcladas (TMR) adicionando grasas de sobrepaso con diferente grado de saturación. Se utilizaron tres vacas en un diseño de cuadro latido de 3 x 3, con tres periodos experimentales de 15 días (10 días de adaptación por 5 de medición). Los tratamientos fueron testigo: sin grasa de sobrepaso; SCUnsat, sales de calcio de aceite de soya como fuente de ácidos grasos insaturados; y GSSat, grasa de sobrepaso a base de aceite de palma "EnergyVAC" rica en ácidos grasos saturados. Las grasas protegidas fueron usadas estableciendo un consumo diario de 600 gr/vaca. Se observó que el consumo de materia seca incrementó ( $P < 0.05$ ) con el tratamiento SCUnsat. El uso de grasas protegidas no tuvo efecto sobre el peso vivo de las vacas (456.46 kg, EEM, 16.58). Con respecto al tratamiento testigo, la producción láctea aumentó ( $P < 0.05$ ) 16.2% y 31.55% en los tratamientos GSSat y SCUnsat, respectivamente. La composición química, grasa (3.23 %, EEM, 0.1582), proteína (2.81 %, EEM, 0.0504) y lactosa (4.22 %, EEM, 0.0732) de la leche no tuvo cambios significativos ( $P > 0.05$ ). El rendimiento de estos componentes fue mayor en el tratamiento SCUnsat. Se concluye que la adición de grasa de sobrepaso en forma de jabones de calcio de aceite de soya como fuente de ácidos grasos insaturados a vacas lecheras en estabulación aumenta el consumo de materia seca y la producción láctea, sin afectar la composición química (grasa, proteína y lactosa) de la leche, aunque representa menor margen de ganancia por concepto de alimentación.

**Palabras clave:** grasa de sobrepaso, ácidos grasos saturados e insaturados, dietas completas mezcladas, aceite de soya.

## I. Introducción

La energía ha sido un nutriente importante para la alimentación, ésta afecta directamente la producción de leche, cambio de peso y también en la reproducción de la vaca, de ahí la necesidad de dar alimentos con una buena densidad energética. A pesar de que las grasas son una buena fuente de energía, pueden interferir con el aprovechamiento de la fibra, con la fermentación ruminal y como consecuencia el rendimiento productivo. Por ese motivo se ha empleado nuevas técnicas de alimentación como son las grasas de sobrepaso, que son elaboradas con sales cálcicas y con aceites de oleaginosas, lo cual permite que se puedan incorporar a la dieta, no interferir en el metabolismo bacteriano y llegar al duodeno para ser aprovechadas (García, 2012).

La adición de fuentes de ácidos grasos (polinsaturados) en la dieta de vacas lecheras ha demostrado tener efectos sobre las producciones de leche (Robles, 2016). Méndez (2013), en su estudio con vacas suplementadas con grasa de sobrepaso en estabulación, reportó un incremento diario de 2.8 L de leche en aquellas vacas que recibieron la grasa de sobrepaso en comparación con el testigo.

La grasa de sobrepaso ha tenido gran importancia en los últimos años debido a que es una opción para modificar el perfil de ácidos grasos en los productos animales (Fuentes, 2009).

Los ácidos grasos poliinsaturados tienen efectos benéficos para la salud humana. Kouba et al. (2010) han estudiado los efectos cardiovasculares y anticancerígenos por la ingesta de ácidos grasos poliinsaturados (Omega 3 y Omega 6). Otro efecto benéfico que se describe en la leche es su contenido de Ca, que se ha correlacionado de manera positiva con el tiempo de coagulación (Carrol et al., 2006). Una de las principales fuentes de ácidos grasos saturados e insaturados en la alimentación humana, son los productos de origen animal (leche, carne, huevo) (Kouba et al., 2010).

García (2012) encontró diferencias en la producción de leche y su contenido de grasa por efecto de la inclusión de grasa en la dieta (jabón cálcico de ácidos grasos destilados del aceite de palma), en vacas, cruza de *Bos indicus* x *Bos taurus*, siendo las del tratamiento 2 (300 g de este producto por vaca) quien tuvo la mayor producción de leche y el mayor porcentaje de grasa en leche, con respecto a las del tratamiento 1 (150 g de producto por animal) y el control (sin suplementación). Este mismo autor, también reportó menor pérdida de peso en animales que recibieron la suplementación con grasa.

Al comparar el uso de grasas cálcicas en vacas Jersey múltiparas, Proaño (2015), observó un aumento de 13% en la producción de leche con la suplementación de

aceite de palma, cuando la inclusión de grasa protegida no superó el 5% (base seca). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta productiva y la composición química de la leche en vacas Holstein x Pardo Suizo en estabulación alimentadas con dietas completas mezcladas adicionando grasas de sobrepaso con diferente grado de saturación.



## **II. Revisión de literatura**

### **2.1. Contexto internacional de la producción de leche**

Existen muchos factores como lo son la oferta, demanda y comercio mundial, con políticas de apoyo en producción, comercialización y evaluación de la población y su localización, así como negociaciones internacionales. En la última década hubo un incremento proporcional en el consumo de lácteos con el aumento de la población mundial, aunque el consumo de lácteos se concentra en países industrializados (Secretaría de Economía, 2012).

Los niveles de consumo de lácteos por habitante en los países desarrollados han alcanzado niveles elevados. Por su parte, el ritmo de crecimiento potencial del consumo en los países en desarrollo también se ha elevado, debido a estos casos, al crecimiento poblacional, y al aumento en el consumo por habitante. Las reformas en las políticas agrícolas de los países, así como las negociaciones comerciales internacionales han tenido y pueden tener un alto impacto en el comercio de lácteos debido a que se trata de un sector que mantiene una política de proteccionismo, especialmente en los países industrializados, que concentran actualmente la mayor parte de la demanda y las importaciones de lácteos; pero que al mismo tiempo son, en algunos casos, figuras importantes en las exportaciones mundiales, basados en los subsidios (Secretaría de Economía, 2012).

### **2.2. Producción mundial de leche**

En muchos países a nivel mundial consideran la producción de leche una prioridad; Países desarrollados como EU y la Unión Europea, producen un gran volumen de leche (figura 1), por lo que terminan vendiendo sus excedentes a diferentes países, distorsionando los precios (Secretaría de Economía, 2012).

Figura 1. Producción mundial de leche en 2015-2017.



Fuente: Dairy World Markets and Trade / FAS / USDA – 2017

Durante los últimos años, la Unión Europea ha sido la región productora de leche de bovinos por excelencia a nivel mundial, durante el 2017 tuvo una producción de 152.5 millones de toneladas, seguida de los Estados Unidos con una producción de 98.3 millones de toneladas y, en tercer lugar, la India con 72 millones, por su parte México ocupa el octavo lugar con un crecimiento anual de 1.6% en los últimos años. El 85% corresponde a leche de vaca y el resto a otras especies (búfala 11%, cabra 2% y otras 2%). La leche de búfala solo tiene importancia en el comercio local de países del sur de Asia (India y Paquistán) (Secretaría de Economía, 2012). En 2018, se estima que México ocupará la octava posición en la producción mundial de leche, tres de cada cien litros que se producen en el mundo son de origen mexicano (SAGARPA, 2017).

## 2.3. Contexto Nacional

### 2.3.1. Producción de leche

En México la producción de leche de bovino es muy heterogénea desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo la gran variedad de climas regionales y características de tradiciones y costumbres de las poblaciones (cuadro 1). Sin embargo, la industria de productos lácteos es la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos en México, y su crecimiento depende de la disponibilidad de la leche nacional (Secretaría de

Economía, 2012). Al cierre de 2017, la producción de leche de bovino alcanzó 11 mil 807 millones de litros, es decir, 1.7% más que en el mismo periodo de 2016 (SAGARPA, 2017).

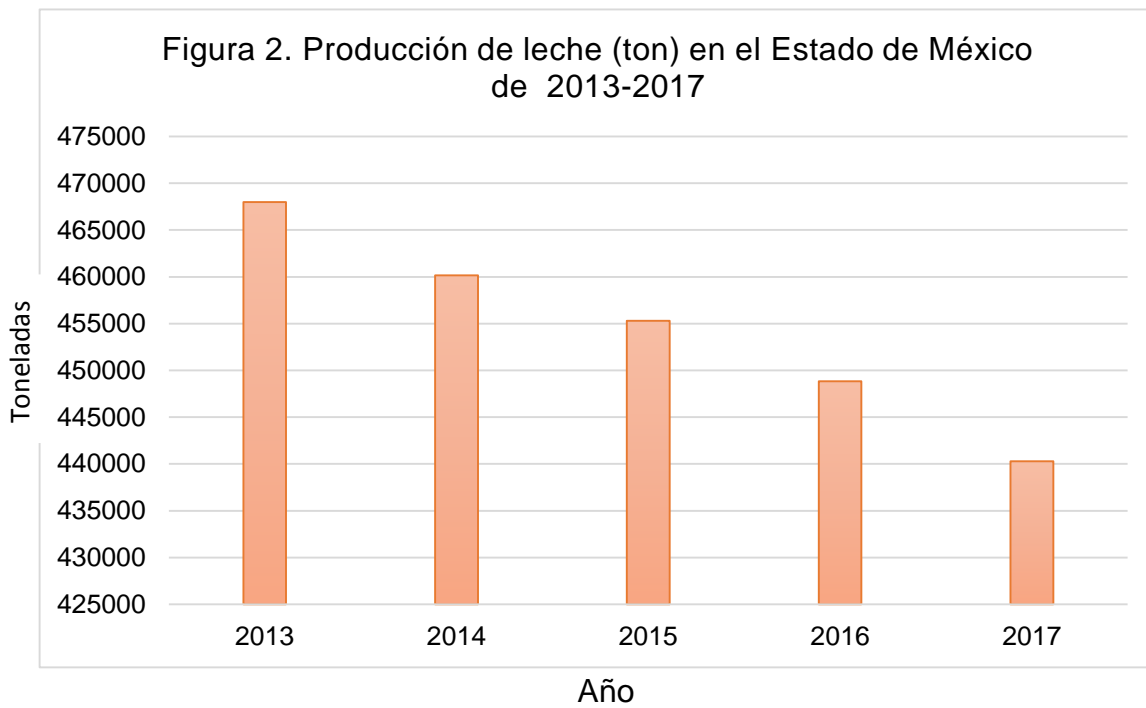
Cuadro 1. Producción de leche por entidad federativa en México (miles de litros).

Estado	2016	2017
Nacional	11,608,400	11,807,556
Jalisco	2,228,482	2,306,316
Coahuila	1,411,959	1,358,884
Durango	1,133,982	1,208,808
Chihuahua	1,051,731	1,095,174
Guanajuato	823,444	822,161
Veracruz	703,003	743,182
Puebla	448,782	442,688
México	448,833	440,268
Aguascalientes	406,874	432,041
Chiapas	423,965	425,343
Otros	2,526,437	2,532,693

\*Fuente: Adaptado del SIAP (2017)

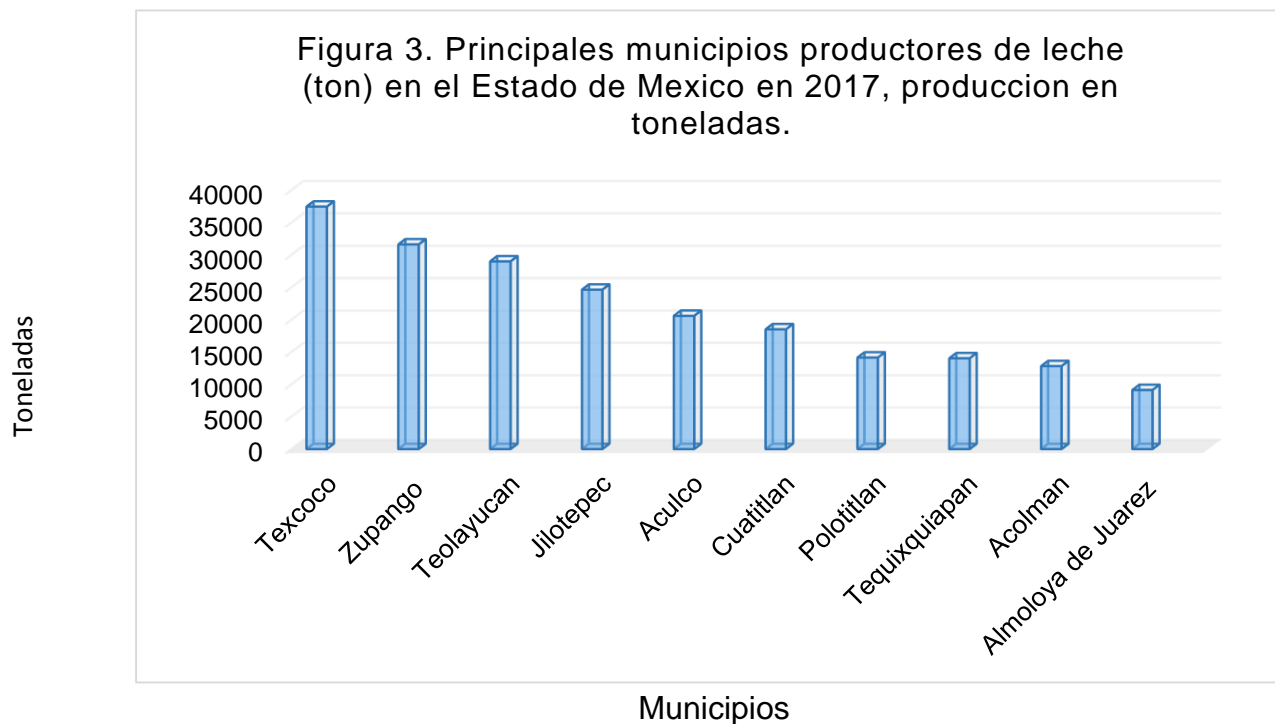
México ocupa el lugar 8 en producción de leche a nivel mundial; aun así, es un importador de leche en polvo (SAGARPA, 2017).

En los últimos años, el Estado de México ha tenido una tendencia a la baja en cuanto a producción de leche (Figura 2).



Fuente: SIAP (2017)

En el último año la producción de leche del Estado de México se ha centrado en 10 municipios principalmente (Figura 3).



Fuente: SIAP (2017)

### 2.3.2. Importaciones de leche en polvo

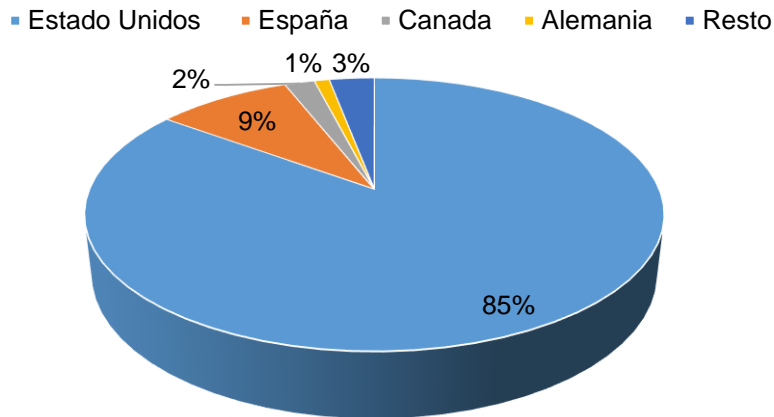
En el año 2006, se importaron 143 mil 529 toneladas; para 2017 la cifra fue de 327 mil 97 toneladas, lo que significa un aumento de 128% en doce años. Respecto al año 2016, el volumen es superior en 11.7% (SAGARPA, 2017). A diciembre 2017, las necesidades de abasto nacional de leche en polvo fueron de 569 mil 154 toneladas; 3.1% mayor que el mismo periodo del año anterior, de las cuales 57% fueron satisfechas con importaciones (SAGARPA, 2017).

Figura 4. Producción de leche vs. importaciones de leche en polvo, diciembre 2017



En la compra de leche en polvo, México ocupa el 2° lugar en el mundo, con 7.9% de las importaciones globales. Ocho de cada diez toneladas que se importan proceden de los Estados Unidos de América. Con cifras preliminares a diciembre de 2017, México importó 327 mil 97 toneladas (SAGARPA, 2017) (Figura 4 y 5).

Figura 5. Origen de las importaciones de leche en polvo 2017



Fuente: Adaptado de SIAP (2017)

#### 2.4. Sistemas de producción de leche en México

El tipo de explotación está relacionada con la rentabilidad, los niveles de producción y la competitividad del mercado. En términos relativos la utilidad es más alta en los sistemas no tecnificadas, pero el promedio de producción en litros por día es mucho menor, comparadas con las unidades tecnificadas (Secretaría de Economía, 2012)

Dentro de la producción lechera nacional, se identifican 4 sistemas, especializado, semi especializado, familiar y de doble propósito. Pero la productividad de los bovinos está influenciada por diversos factores, como son la raza, la alimentación, el medio ambiente, las instalaciones, el número de partos, entre otras cosas. En México la producción de leche es muy heterogéneas, debido a componentes como la tecnología, agroecología y socioeconómica, clima, costumbres y tradiciones de la población (Bastida, 2014).

La región tropical comprende: Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. La región templada por: Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y CDMX. La región árida y semiárida: Baja California Norte, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas. La región de la Comarca Lagunera está integrada por Coahuila y Durango, ocupando el primer lugar en producción de leche, no considerando la producción por estados (Financiera Rural, 2014).

#### 2.4.1. Sistema intensivo o especializado

Los sistemas intensivos actuales son una copia del modelo norteamericano, que está enfocado en aumentar la productividad de los recursos invertidos, utilizando insumos en grandes volúmenes. Quienes optan por este sistema su producción tiene alto costo unitarios, por lo que necesitan grandes volúmenes de producción y precios altos para tener utilidades. Emplean ganado especializado, principalmente la raza Holstein, las vacas se mantienen en instalaciones especializadas y con procesos tecnificados (Ortiz et al., 2005).

Algunas características de este sistema son:

- Se alimenta con forrajes abundantes y de buena calidad
- Complementación con concentrados a base de granos
- Utilizan mucha agua; para bebida, limpieza y cultivo de forraje
- Estabulación
- Acumulación del estiércol
- Comúnmente utilizan la inseminación artificial y otras tecnologías como es la transferencia embrionaria
- Atención veterinaria y mano de obra especializada

La ordeña mecánica, con buen control sanitario, capacitación de los empleados y equipo de enfriamiento para conservar el producto es característico del subsistema intensivo (Del Valle et al., 1997).

La ubicación geográfica de estos sistemas se basa en la cercanía a las industrias y a los diferentes servicios; esta influencia disminuye gracias a la infraestructura de comunicación y refrigeración que permiten el rápido traslado a grandes distancias de la leche sin procesar (Tepox et al., 2016).

#### 2.4.2. Sistema semi especializado

Aun cuando predomina el ganado de las razas Holstein y Pardo Suizo no se llega a los niveles de producción del sistema anterior. El ganado se mantiene en condiciones de semiestabulación que se desarrolla en pequeñas extensiones de terreno, la ordeña puede ser manual o mecanizada, en ordeñadoras individuales o de pocas unidades, mantiene un nivel medio de tecnología y en ocasiones se cuenta con algunos sistemas de enfriamiento, aunque no es lo común. Este sistema sólo produce el 21.3% (Angulo et al., 2005).

#### 2.4.3. Sistema de doble propósito (Tropical)

Dentro de este sistema predominan las razas Cebuinas y sus cruzas, en este sistema el ganado sirve para la producción de carne como de leche. El manejo del ganado se da en forma extensiva, confinándose a los acorrales solo durante la noche, su alimentación se basa en el pastoreo y con un mínimo de complementos en alimentos balanceados. La ordeña es manual. Aporta el 18.3% de la producción total (Angulo et al., 2005).

#### 2.4.4. Sistema familiar o de traspatio

Esta actividad se limita a pequeñas extensiones de terreno, cuando se ubican cerca de la vivienda se denomina de traspatio. Las razas varían desde Holstein y Suizo Americano y sus cruzas. La alimentación se basa en el pastoreo o en el suministro de forrajes y esquilmos provenientes de los que se producen en la misma granja. Representa el 9.8% del total de la leche producida (Angulo et al., 2005).

#### 2.5. Ensilado de maíz en la alimentación de vacas lecheras

Para una alimentación adecuada del ganado lechero y para aprovechar al máximo su potencial de producción durante la época seca, es necesario conservar forrajes. El maíz tiene un alto rendimiento de materia seca (MS) y si se cosecha para conservarlo cuando el grano está en estado lechoso, es un forraje rico en azúcares, lo cual facilita la elaboración de ensilaje. En climas templados, por su contenido de proteína (PC), el ensilaje de maíz puede sostener una producción de 15-16 kg de leche/vaca/día y en base a su contenido de energía hasta 23 kg (Salceda et al., 1993).

#### 2.6. Componentes químicos de la leche de vaca

##### 2.6.1. Proteína de la leche

La composición de las proteínas es un factor de gran importancia dentro de la industrialización láctea, debido a que influye de manera directa sobre el rendimiento y la aptitud tecnológica de la leche. La leche de vaca presenta un contenido proteico que oscila entre el 3 y el 4 %, distinguiéndose tres categorías para el nitrógeno proteico: Las caseínas, las proteínas del lactosuero, y las proteínas de la membrana del glóbulo graso (García et al., 2010). La caseína constituye cerca del 80% del

nitrógeno total de la leche de vaca; por acción del cuajo o ácidos precipitados, produciendo una masa coagulada llamada cuajada, que además de caseína, arrastra grasa, agua y algunas sales. Esta masa coagulada es la que después de prensada, salada y madurada se convertirá en el queso (DGPA, 2005), además de ser la más característica de la leche por no encontrarse en otros alimentos. Existen tres tipos de caseínas ( $\alpha$ ,  $\beta$  y Kapa caseína), en la leche también se encuentra la albúmina y la globulina (Gómez et al., 2005).

Las proteínas del lactosuero (albumina y globulina) resultan del drenado de la cuajada posterior a la elaboración del queso son las albúminas que son solubles en agua y soluciones diluidas de sales neutras, en cuanto a las globulinas no son solubles en agua, pero si en las soluciones diluidas de sales neutras (DGPA, 2005).

Las proteínas de la dieta son degradadas hasta amoníaco por bacterias proteolíticas nativas del rumen (p. ej., *Bacteroides amylophilus*, *Bacteroides rumenicola*, y algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens*). Este gas sirve como fuente de nitrógeno para el crecimiento bacteriano, y su metabolismo depende directamente de la energía producida a través de la fermentación de los carbohidratos suministrados en la dieta. La transferencia del amoníaco se relaciona directamente con el pH del líquido ruminal, en donde se utilizan dos formas de transporte: Uno es con un pH  $>7$  en el cual el amoníaco se transporta en forma de  $\text{NH}_3$  en asociación con lípidos, y la otra es que con un pH  $<6.5$  se moviliza como  $\text{NH}_4^+$  a través de canales de potasio localizados en las paredes ruminales. Algunos estudios sugieren que el 68% de la proteína es degradada a nivel ruminal, y el otro 32% escapa del proceso de proteólisis (García et al., 2010).

Por otro lado, la proteína bacteriana del rumen se adhiere a las partículas de alimento fermentado y así entra también en el abomaso, donde pierde sus enlaces peptídicos por hidrólisis. Este proceso enzimático, libera los aminoácidos de su estructura molecular, para ser absorbidos a nivel intestinal y transportados vía porta al hígado. La síntesis de la proteína láctea comienza en el núcleo del lactocito, donde se transcribe el ácido ribonucleico de transferencia y se producen las proteínas (García et al., 2010).

Las inmunoglobulinas son proteínas encontradas en la leche, ya que proporcionan las defensas necesarias a la cría frente a las enfermedades que llegan a presentarse durante la etapa de mayor susceptibilidad del recién nacido; estas inmunoglobulinas son absorbidas directamente de la sangre y no llevan a cabo un proceso de síntesis en la glándula mamaria, por lo tanto, su concentración en el calostro no es alta (Cunningham, 1999).



### 2.6.2. Lactosa en leche

La lactosa es el principal carbohidrato de la leche, es un disacárido constituido por glucosa y galactosa, es el principal agente osmótico de la leche, con lo que permite el transporte de agua desde la sangre (DGPA, 2005), y además aporta la mayor fuente de carbohidratos durante la lactancia y su contenido varía en las diferentes especies (Park et al., 2007; Wuattix, 2005).

La lactosa se sintetiza en el aparato de Golgi de los galactocitos a partir de glucosa proveniente del hígado, que es formada por el metabolismo del ácido propiónico en su mayoría, mientras que otra parte proviene del metabolismo de los aminoácidos. Cerca del 60 al 70% de glucosa que llega a los galactocitos de la ubre es utilizada para producir lactosa, el porcentaje restante se utiliza para la producción de proteína, como precursor de la formación de grasa y el restante para sintetizar enzimas necesarias para la producción de grasa. La secreción de lactosa dentro del alveolo produce un arrastre de agua; cada microgramo de lactosa arrastra 10 veces su peso en agua, por lo que representa uno de los determinantes más importantes del volumen de producción de leche debido a que tiene la capacidad de controlar el volumen de agua gracias a que controla la mitad de la presión osmótica en la ubre (Cerón, 2005).

### 2.6.3. Grasa en leche

La grasa láctea se sintetiza en su inmensa mayoría en las células secretoras de la glándula mamaria y constituye cerca del 3% de la leche; se encuentra en forma de partículas emulsionadas o suspendidas en pequeños glóbulos microscópicos, cuyos diámetros pueden variar de 0.1 a 0.22 micrones que se encuentran rodeados de una capa de fosfolípidos que evitan que la grasa se aglutine y pueda separarse de la parte acuosa (Gómez et al., 2005).

La grasa es el principal componente energético que se encuentra en la leche, y así también la fracción más variable, que se ve afectada por factores ambientales y propios de la vaca; la cantidad y calidad de producción de leche se relacionan con la cantidad de energía y proteína en la dieta. La grasa es sintetizada en el retículo sarcoplasmático donde se concentran en forma de glóbulos que serán liberados a la luz del alveolo (Hernández et al., 2014). Del total de la grasa de la leche, la mitad proviene de la dieta de la vaca y la cantidad restante es sintetizada en las células de la glándula mamaria (Cerón, 2005)

### 2.6.4. Minerales en leche

Los minerales que contiene la leche no son sintetizados en la glándula mamaria, sino que son obtenidos directamente del torrente sanguíneo por medio de los

galactocitos y pasan mediante sistemas de transporte activo a través de las células mamarias hasta el lumen alveolar donde son secretados con otros componentes de la leche (Cerón, 2005).

## 2.7. Estrategias de alimentación para la producción de leche

En México, la leche de ganado bovino es un producto básico en la alimentación de la población, este factor ha influido para que la producción de leche se haya desarrollado como una de las actividades económicas presente en todas las regiones del país, a pesar de esto existe un déficit en la oferta – demanda, situación que ha llevado a nuestro país a ocupar los primeros lugares en importaciones de leche fluida y en polvo (Martínez et al., 2012).

La alimentación de vacas lecheras en lactación representa el componente mayor del costo de producción en una empresa lechera (Gómez et al. 2008). La alimentación basada en el pastoreo permite una alimentación a bajo costo; no obstante, la calidad y la cantidad de la pradera reduce la producción láctea en distintas épocas del año (Mella, 2010).

El consumo de materia seca y energía en vacas en lactación y en el periodo de transición está afectado por diferentes factores como: medio ambiente, manejo, el propio animal (peso, edad, número de lactancia y etapa de lactación); esto hace que maximizar el consumo de materia seca sea una necesidad crítica, lo que requiere apropiados manejos y estrategias en toda la fase de lactación y en los días alrededor del parto (Pendini, 2008).

Se han empleado estrategias en la alimentación bovina, como son los forrajes conservados, esquilmos agrícolas, productos y subproductos de caña de azúcar, urea, gallinaza y pollinaza, con el fin de cubrir los requerimientos nutricionales de los animales, pero a un bajo costo (Bustamante, 2004).

### 2.7.1 Productos de sobre paso

Al inicio de la década de los años 80's hubo cambios importantes en la nutrición de las vacas lecheras, debido a los niveles de producción de leche que alcanzaron en el hemisferio norte. El cambio más significativo comienza con los requerimientos proteicos (reportados hasta entonces como proteína bruta total en la dieta), incorporando el concepto de calidad de la proteína en referencia a sus sitios de digestión, esto es: proteína degradable y no degradable a nivel ruminal. La primera es la que tiene relación directa con los requerimientos de los microorganismos ruminales y la segunda la que hace referencia principalmente a la proteína digestible del alimento que llega intacta al intestino delgado (proteína "pasante" o "by-pass") (Gallardo, 2001).

Posteriormente este tema no solo se profundizó, sino que también se hizo extensivo a otros nutrientes y a los carbohidratos (almidones de cereales). Durante la década

del '90 fueron innumerables los experimentos que se realizaron con nutriente "by pass", la mayoría de los cuales fueron desarrollados para los sistemas de alimentación preponderantes en USA y en los países de la CEE (Comunidad Económica Europea), basados en dietas total o parcialmente mezcladas con ingredientes de tipo "secos" (forrajes conservados y concentrados) (Gallardo, 2001).

Dentro de los lípidos se consideran diversas moléculas que tienen en común ácidos grasos en su estructura química. Incluye productos tales como triglicéridos o grasas neutras (molécula formada por tres ácidos grasos unidos mediante un enlace éster a glicerol), lípidos estructurales (tales como las lecitinas en las cuales uno de los ácidos grasos es sustituido por un grupo fosfórico), ceras (ésteres de alcoholes de cadena larga de origen vegetal), ácidos grasos libres (procedentes de los procesos de refinado de la industria de aceites comestibles y otras) y jabones cálcicos (molécula sin glicerol y con los ácidos grasos saponificados por el ion calcio). Todos esos compuestos lipídicos citados en el párrafo anterior, ofrecidos como suplemento en la alimentación de rumiantes tiene como función básica aumentar el consumo de energía, sin aumentar la ingestión de carbohidratos no estructurales y sin disminuir la ingestión de fibra. El aumento del nivel energético de la dieta es también una alternativa para mitigar los efectos del estrés calórico en los animales, puesto que las grasas producen menos calor metabólico que otras fuentes de energía, haciéndolas mucho más eficientes (Duarte et al., 2016)

La alimentación de la vaca lechera alta productora durante el primer tercio de lactación constituye uno de los principales problemas a los que se enfrenta el productor, debido a la disminución drástica del alimento, generando un déficit de los requerimientos energéticos necesarios provocando en el animal un balance energético negativo. Con la finalidad de satisfacer las necesidades energéticas de esta etapa, los sistemas de alimentación se han enfocado al ofrecimiento de dietas con una densidad energéticas mayor, existe la alternativa de sustituir parcialmente los granos por grasas, incrementando la energía de la ración. Dentro de las principales fuentes de grasas naturales se encuentran los aceites de semillas y grasas de animales, sin embargo, la utilización de estos productos en las raciones no debe superar el 5%. Además, los alimentos formulados con grasas se pueden ranciar, alterar la fermentación, afectar la digestión de la fibra, afectar síntesis de proteína microbial y consecuentemente la producción de leche. Los problemas mencionados anteriormente han provocado el desarrollo de estrategias que permiten minimizar o prevenir estos problemas. Tal es el caso de las grasas inertes o de sobrepaso ruminal (Barrero, s/f).

#### 2.7.1.1. Proteína de sobrepaso

Esta se define como aquellas que contienen 50% o más de la proteína digestible del alimento que escapa a la fermentación ruminal. La proteína de uso frecuente a nivel mundial son las harinas de origen animal (pescado, carne, plumas), pasta de soya, gluten de maíz y productos de destilería (Gallardo, 2001).

Las investigaciones realizadas en diferentes centros, principalmente en Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, indican que las respuestas al suministro de estas fuentes sobre la producción y composición de leche son muy variables y no siempre positivas, aún con vacas de muy alta producción (9.000 a 12.000 litros/lactancia). En una de las más recientes revisiones del tema, las investigaciones consignadas indican que el aumento de proteínas no degradables (by-pass), en la dieta de vacas lecheras no mejora en forma consistente el desempeño de la lactancia, puesto que generalmente se produce una disminución de las proteínas degradables en rumen y por consiguiente una merma en la síntesis de proteína microbiana, lo cual conduciría a un cambio desfavorable en los perfiles de aminoácidos absorbidos a nivel duodenal. Es necesario aclarar que la mayoría de las fuentes comerciales que poseen altos contenidos de proteínas "pasante" tienen un perfil de aminoácidos que es de inferior calidad al de la proteína microbiana. Este aspecto es importante ya que se puede ver afectada la síntesis de proteína láctea. Con base en estas apreciaciones, las recomendaciones actuales para estos sistemas de producción consideran que una adecuada nutrición proteica en vacas lecheras de alta producción debería tener en cuenta las necesidades de aminoácidos esenciales, especialmente lisina y metionina, considerados como los más limitantes para la producción de leche (Gallardo, 2001).

#### 2.7.1.2. Carbohidratos de sobrepaso

Desde que se conoció que los almidones contenidos en diferentes cereales poseen un comportamiento fermentativo distinto a nivel ruminal (con mayor o menor capacidad by-pass) se condujeron a nivel mundial una serie de investigaciones tendientes a la utilización diferencial de estas fuentes con el propósito de adecuar los niveles de glucosa (principal precursor energético para la síntesis de leche y grasa corporal) a los requerimientos de bovinos de leche y carne de alta producción. Las conclusiones indicarían que la fermentación post-ruminal del almidón aumente la producción o modifique la composición de la leche. Aún más, una mayor utilización del almidón a nivel intestinal induciría a una mayor utilización de glucosa por los tejidos periféricos (vísceras, principalmente) con escasa a nula ganancia neta para la producción animal. Sin embargo, el uso de carbohidratos (almidones, azúcares, fibra soluble) de rápida degradación ruminal (energía rápidamente fermentable) ha capturado el mayor interés en los principales centros de investigación. El propósito es el de mejorar sustancialmente la eficiencia de captura, por parte de los microorganismos del rumen, del nitrógeno degradable y de esa manera aumentar la síntesis de proteína microbiana, sin necesidad de recurrir a fuentes más caras. En este sentido, los almidones más degradables en rumen (granos de cebada, trigo, sorgo y maíces tratados con presión y vapor) ofrecen mejores perspectivas a través de una más adecuada sincronización energético-proteica, en vacas de alta producción (Gallardo, 2001).

### 2.7.1.3. Grasas de sobrepaso

El uso de sustancias lipídicas protegidas de la fermentación ruminal surge como un desafío para la alimentación de vacas de muy alto nivel productivo, que entran con facilidad en un profundo balance energético negativo como luego del parto (Gallardo, 2001). Este periodo es crítico para el animal, período de la transición, que refleja una inadecuada capacidad de adaptación metabólica durante el complejo paso de un estado no lactante a un estado lactante (Baeck, 2012).

Técnicamente se define al período de transición como las últimas 3 semanas de gestación hasta las primeras 3 semanas después del parto. Durante este período la vaca hace frente a un importante incremento en sus demandas.

- Aumenta 3 veces el pool circulante glucosa
- Aumenta 2 veces la demanda tisular AA
- Aumenta 5 veces la demanda de Ac. grasos cadena larga
- Aumenta 4-5 veces demanda del pool de calcio rápidamente intercambiable (24 h. post parto) (Baeck, 2012).

Es complejo el manejo en vacas durante los 2 meses de seca debido a que la capacidad de ingestión de materia seca está limitada durante este período y un incremento de grasa en la ración disminuye el consumo de MS (Andresen, 2008).

La suplementación con grasas de sobrepaso es una alternativa para incrementar la densidad energética en el alimento suministrado; esta no compromete la actividad celulítica de las bacterias ya que son inertes en el rumen y son digeribles en tracto intestinal posterior. En la producción de ganado son conocidas cuatro tipos de grasas de sobrepaso: las recubiertas con proteínas y enfriadas mediante pulverización, grasas endurecidas hidrogenadas, semillas intactas y las sales de calcio de los ácidos grasos. Las sales de calcio de los ácidos grasos se obtienen por medio de un proceso de saponificación donde los ácidos grasos libres se unen con iones de Ca formando una sal o jabón, razón por la cual son también llamados jabones de Ca, estos compuestos presentan un punto de fusión alto y su solubilidad se presenta en pH inferior a 5.5, y por lo tanto no se disocian en el rumen, ni se disuelven en el líquido ruminal; el abomaso presenta un pH de 2 a 2.5 el cual le permite a esta sal disociarse liberando las moléculas de ácidos grasos y el Ca para que sean digeridos en el intestino. Los jabones cálcicos permiten que una mayor proporción de ácidos grasos insaturados ingresen al intestino, por lo cual la digestibilidad intestinal de la grasa aumenta, pero presentan baja palatabilidad al ser jabones que son poco aceptados por el animal. Las grasas de sobrepaso son utilizadas en vacas con niveles considerables de producción y durante el inicio de la lactancia, en donde la demanda de energía es más alta; estas grasas tienen sabores poco palatables para el animal, debido a olores penetrantes y sabor amargo, es por ello que los animales deben pasar por un periodo de adaptación con pequeñas inclusiones y un aumento periódico.

En un inicio, la grasa sobrepasante se utilizaba para aumentar la energía en la dieta del animal, pero en nuestros días se reconoce la importancia que tiene en el cambio positivo en la composición de la leche y genera un aumento en la producción láctea; además previene problemas metabólicos en los animales (Martínez, 2012).

## 2.8. Metabolismo de lípidos

Usualmente las dietas administradas en los bovinos productores de leche contienen solo del 4 – 6 % de lípidos, pero estos tienen gran importancia debido a que contribuyen con el casi 50 % de la grasa en la leche y son la fuente más concentrada de energía en los alimentos. Estos se encuentran en pequeñas cantidades en los forrajes y semillas; sin embargo, en algunas plantas como el algodón y la soya (oleaginosas) se acumulan más de un 20 % de lípidos. De manera común los lípidos son extraídos de las oleaginosas para ser administrados en las dietas, pero también pueden ser ofertados directamente (Wattiaux, 2005). Los lípidos de los forrajes contienen galactolípidos (mono y digalactosildiácilglicéridos) y, en una menor proporción, sulfolípidos (sulfoquinovosildiácilglicérido) y fosfolípidos (principalmente, fosfatidilcolina, fosfatidilglicerol y fosfatidiletanolamina) (Lee et al., 2007; Kaniuga, 2008; Halmemies- Beauchet-Filleau et al., 2013). Los alimentos balanceados que contienen aceites vegetales son ricos en triácilgliceroles (Harfoot y Hazlewood, 1997; Buccioni et al., 2006; AbuGhazaleh y Jacobson, 2007; Albertí et al., 2013).

El metabolismo de los lípidos en los rumiantes es muy distinto al de los monogástricos, ya que están relacionados con las modificaciones de los nutrientes en las dietas, incluyendo los lípidos y sustratos lipogénicos, los cuales se ven afectados por la fermentación microbiana ruminal (Bell, 1982). En la Figura 6, se observa el metabolismo del lípido (Wattiaux, 2005). Las grasas provenientes de los alimentos sufren 2 importantes transformaciones en el rumen: lipólisis y biohidrogenación (Wattiaux, 2005).

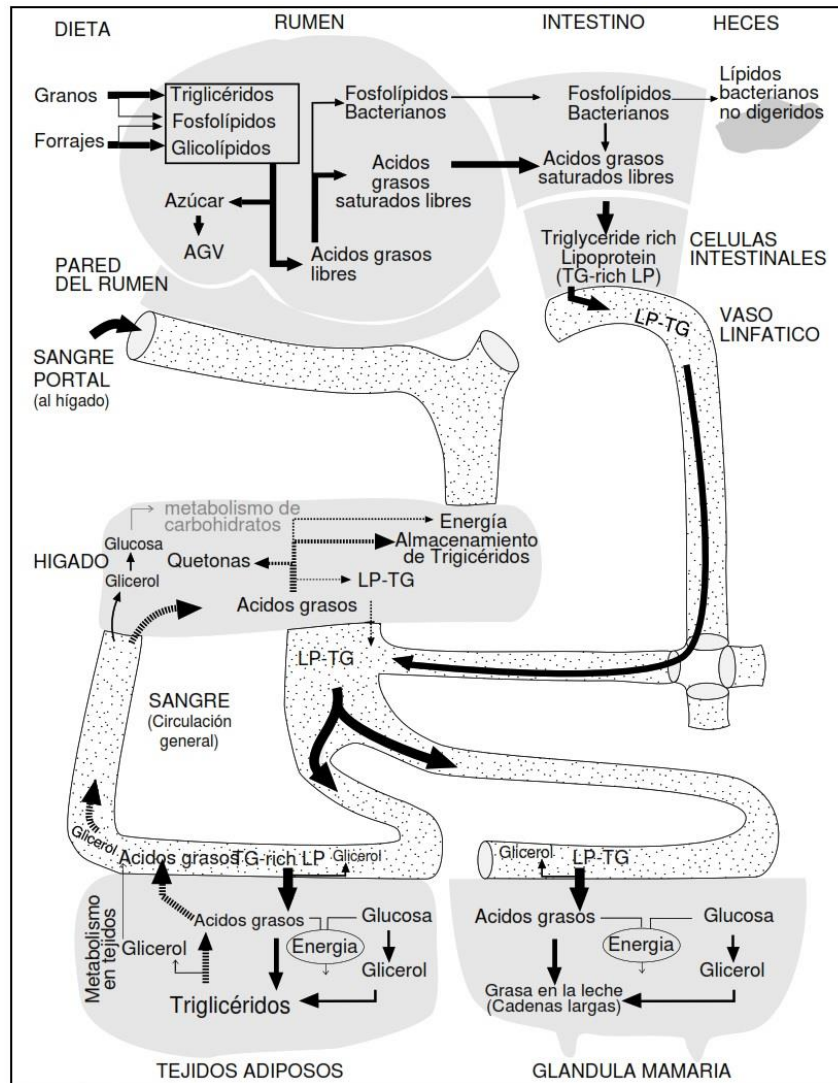


Figura 6: Metabolismo de lípidos en la vaca. Tomado de Wattiaux (2005)

### 2.8.1. Lipólisis y biohidrogenación

La lipólisis se refiere a la liberación de los ácidos grasos de los ésteres presentes en los lípidos de los alimentos, la segunda se refiere al proceso de saturación de los dobles enlaces presentes de los ácidos grasos (Martínez et al., 2010)

En rumiantes, el proceso de lipólisis lo realiza principalmente la especie bacteriana *Anaerovibrio lipolítica*, por la acción de sus lipasas asociadas a sus estructuras membranosas externas, presentándose así un mecanismo lipolítico estrictamente extracelular (Hobson y Summers, 1966; Hobson y Summer, 1967; Enjalbert et al., 2003); las lipasas tienen una actividad máxima enzimática a pH = 7.4, y una temperatura de 20 – 22 grados centígrados (Castillo, 2013).

El proceso lipolítico no se atribuye enteramente a la especie mencionada, ya que existen reportes de otros microorganismos con actividad lipolítica, como lo son las especies bacteriales *Butirivibrio fibrisolvens* y *Butirivibrio LM8/1B* (Hassim et al., 2010); el papel de los protozoos es reducido y con resultados muy variables; los hongos no intervienen en este proceso (Jenkins et al., 2008).

En la lipólisis, los galactoacilglicérols se hidrolizan a glicérol, ácidos grasos y galactosa; los fosfolípidos, a ácidos grasos libres, fosfato y glicérol y los triacilglicérols, a ácidos grasos y glicérol (Dawson et al., 1974; Jenkins et al., 2008; Kaniuga, 2008; Cabiddu et al., 2010; Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2013).

El glicérol se incorpora rápidamente a la glicólisis para la producción de piruvato, el cual es posteriormente transformado en propionato, mediante el proceso de fermentación anaerobia (Jouany et al., 2007; Jenkins et al., 2008). La galactosa es rápidamente fermentada y transformada en ácidos grasos volátiles y los ácidos grasos mono y poliinsaturados se biohidrogenan (Dawson et al., 1974; Hazlewood et al., 1976; Doreau et al., 2007). La velocidad de lipólisis aumenta cuando se incrementa el grado de insaturación de los ácidos grasos, con la excepción de los ácidos grasos presentes en los aceites de pescado (Castillo, 2013).

A consecuencia de la digestión microbiana ruminal, los lípidos que abandonan el rumen son predominantemente ácidos grasos saturados (AGS) no esterificados de origen alimentario y microbiano (70%), y cantidades variables de fosfolípidos microbianos (10-20%) (Bauchart, 1993).

Únicamente el 10-15% de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) consumidos en la dieta escapa a la biohidrogenación ruminal (Givens et al., 2006).

### 2.8.2. Biohidrogenación (BH)

Hace aproximadamente 81 años, se encontró que los lípidos que forman los tejidos de los rumiantes eran más saturados que los de los no rumiantes (Banks & Hilditch, 1931) y, por muchos años, se creyó que el proceso de BH de los lípidos ocurría en los tejidos. En la actualidad, se sabe que este proceso ocurre en el rumen por acción de los microorganismos y, en una pequeña proporción, en el tracto intestinal posterior (Harfoot y Hazlewood, 1997; Lee y Jenkins, 2011).

En unos estudios, se halló que aproximadamente, la mitad de los microorganismos involucrados en la digestión de los lípidos se encuentran asociados a la porción líquida del rumen (BAL) y los restantes se hallaban adheridos a las superficies del alimento (BAS) (Hungate, 1966).

Bauchart et al. (1990) mostraron que existe “preferencia” por parte de los ácidos grasos a adherirse a las partículas de alimento y que la concentración total de los ácidos grasos que se adherían a las BAS era casi del doble, con respecto al del BAL.



Se puede concluir que después de la lipólisis y de la liberación de ácidos grasos, éstos se adhieren a las partículas sólidas de alimento y son hidrogenados de manera preferencial por las BAS, pudiéndose generar competencia entre las partículas y las bacterias (Castillo et al., 2013).

La lipólisis constituye un paso obligado antes de la BH y las bacterias son las principales responsables del proceso, aunque los hongos y los protozoos pueden participar en la biohidrogenación (Harfoot y Hazlewood, 1997; Yañez-Ruiz et al., 2006; Maia et al. 2007; Váradyová et al., 2008; Buccioni et al., 2012).

Sachan y Davis (1969), estudiaron la especie *Borrelia B25*, hallando que esta fue inefectiva en la biohidrogenación de AOI pero altamente efectiva en la del ALi, donde el producto principal fue el ATV. Kemp et al., (1975), hallaron cinco especies bacteriales capaces de biohidrogenar en el rumen de ovejas, siendo una de estas caracterizada como *Ruminococcus albus*, dos como *Eubacterium* y las otras dos restantes, como *Fusocillus*. La especie *Fusocillus* fue capaz de biohidrogenar el AOI y ALi hasta C18:0 y el ALn hasta C18:1 cis-15. Por otro lado, la especie *R. albus* y las dos de *Eubacterium* no biohidrogenaron el AOI pero si convirtieron el ALi y ALn a una mezcla de ácidos octadecenóicos, donde el ATV fue el isómero predominante.

La identificación de los intermediarios producidos y de los diferentes microorganismos ruminales que participan en el proceso de BH ruminal, ha permitido establecer su mecanismo (Bauman et al., 1999; Lee y Jenkins, 2011; Buccioni et al., 2012). El proceso de BH involucra varios pasos bioquímicos, con velocidades, intermediarios y especies bacteriales características (Bauman et al., 1999).

Para los pasos principales, Kemp y Lander (1984) dividieron las bacterias en dos grupos, considerando las reacciones químicas en que intervenían y los productos de la BH. El grupo A es el responsable de transformar el ALi hasta el ATV; por su parte, el grupo B transforma el ATV en C18:0. Para el ALn, la BH es más compleja e involucra los dos grupos de bacterias en todos los pasos (Figura 7).

En un estudio con *Butirivibrio fibrisolvens*, se ha establecido que el primer paso es realizado por la enzima linoleato isomerasa (EC 5.2.1.5), que se encuentra en la membrana de las bacterias (Jenkins et al., 2008). Kepler et al. (1971) propusieron, por primera vez, un mecanismo de reacción, definiendo que existen dos sitios de interacción entre la molécula de ALi y la enzima, los cuales, son el sistema de electrones  $\pi$  (cis-9, cis-12) y el grupo carboxilo. Al presentarse la interacción de estas regiones con la enzima, se produce una conformación definida de la molécula de ALi y así, se puede transferir un protón de una tercera región donante de la enzima al carbono 13, haciendo que éste adquiera una configuración D, con lo cual, se produce un compuesto con el sistema conjugado cis-9, trans-11. Kepler et al. (1971) demostraron que para que se lleve a cabo el proceso de BH, el grupo carboxilo del ácido graso debe estar libre.

Los mecanismos de isomerización mejor conocidos son los de las isomerasas producidas por *Butirivibrio fibrisolvens* (IBF), *Propionobacterium filicina* (IPF) y *P. acnes* (IPA) (Liavonchanka & Feussner, 2008). Se tiene conocimiento para el ALi, que la IPA transfiere un hidrógeno del carbono 11 con estereoquímica R al carbono 9, con la misma estereoquímica R.

El segundo paso en el proceso de BH es la reducción del enlace cis-9 del sistema conjugado, para producir el ATV a partir del ALi y el C18:2 trans-11, cis-15 a partir del ALn. Este paso involucra la adición de dos hidrógenos al enlace cis-9 del sistema dieno conjugado cis-9, trans-11, por la enzima cis-9, trans-11 octadecadienoato reductasa (EC 1.3.1.-), la cual, ha sido aislada y purificada de *B. fibrisolvens* (Hughes et al., 1982; Jenkins et al., 2008; Sterk et al., 2010).

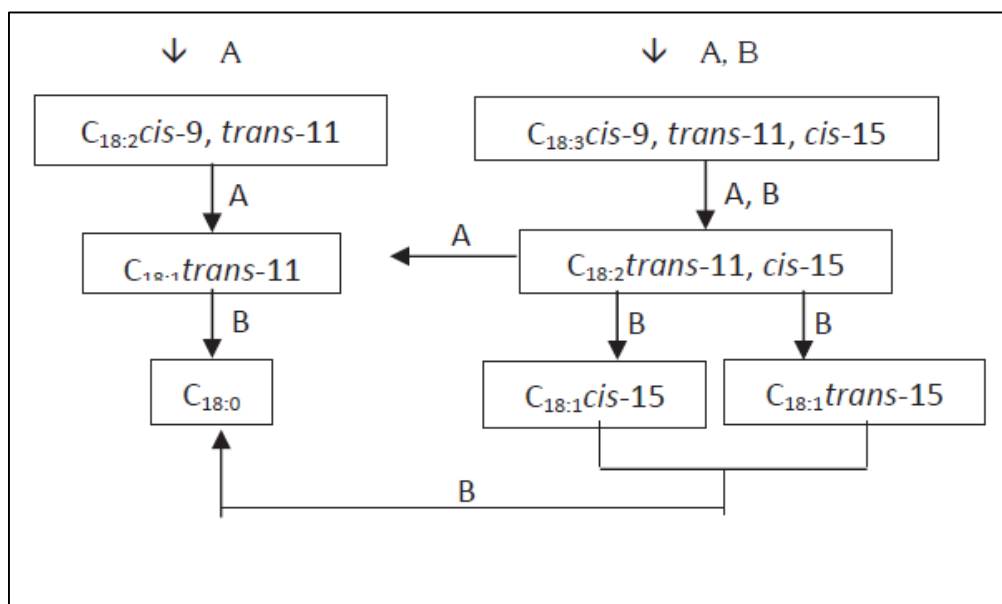


Figura 7. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y alfa-linolénico en el rumen, junto con los grupos de microorganismos implicados (Harfoot & Hazlewood, 1997; Buccioni et al., 2012). Las letras A y B indican los dos grupos bacteriales implicados en el proceso.

Estudios *in vitro* usando ALi marcado mostraron que la isomerización del enlace cis-12 involucra la rápida BH del ALC hasta ATV. La BH del ATV (tercer paso de la BH) ocurre más lentamente y, por lo tanto, se acumula y puede aumentar su disponibilidad para su absorción (Singh & Hawke, 1979; Moate et al., 2008; Buccioni et al., 2012). La reducción del ATV parece ser el paso determinante de la BH de ALi y ALn y, por lo tanto, este intermediario se podría acumular en el rumen (Moate et al. 2008), aumentándose así su disponibilidad para ser absorbido.

Castillo et al. (2013), en su revisión mencionan que la BH del ácido linoléico y alfa-linolénico se realiza por etapas sucesivas de isomerización y biohidrogenación, con características químicas y termodinámicas distintivas y por acción de especies microbianas diferentes, donde el producto final es el ácido esteárico. Las rutas metabólicas de la BH del ácido alfa-linolénico son más extensas, lo que sugiere que este ácido produce un mayor número de compuestos que pueden aparecer en la biohidrogenación de los ácidos grasos, como el ALC y el ATV. Por el contrario, el ácido linoléico presenta un menor número de vías de biohidrogenación, lo que indicaría que ocurre por la ruta principal y las secundarias.

### 2.8.3. Metabolismo de lípidos en el hígado

Los ácidos grasos de los triglicéridos almacenados en los tejidos adiposos (abdomen y encima de los riñones) son liberados hacia la sangre; estos una vez liberados son absorbidos por el hígado siendo utilizados como fuente de energía o convertidos en cuerpos cetónicos que pueden proporcionar energía en múltiples tejidos; sin embargo, el hígado no tiene la suficiente capacidad de formar y exportar lipoproteínas ricas en triglicéridos y los ácidos que sobran son almacenados como triglicéridos en las células del hígado; esta grasa depositada hace difícil al hígado formar más glucosa. Esta condición ocurre principalmente en los primeros días de la lactancia cuando el consumo voluntario de alimento está disminuido y existe una gran demanda energética; en estos casos se generan desordenes metabólicos como cetosis e hígado graso (Wattiaux, 2005).

### 2.9. Absorción intestinal de los lípidos

En el intestino delgado los fosfolípidos microbianos son digeridos y absorbidos a través de la pared intestinal. En el intestino delgado se forma una mezcla compuesta por el contenido intestinal, bilis y secreciones pancreáticas que en conjunto preparan a los lípidos para su absorción, creando partículas mezclables con el agua que pueden entrar a las células intestinales; ya en las células intestinales una porción de ácidos grasos son ligados al glicerol proveniente de la glucosa en sangre y se forman los triglicéridos, estos últimos junto a ácidos grasos libres, colesterol y otras sustancias son cubiertas por proteínas formando las lipoproteínas de baja densidad, estas posteriormente entran a los vasos linfáticos y de allí llegan a la sangre. Los lípidos absorbidos no van al hígado, sino que entran directamente a la circulación general, es por esto que los lípidos absorbidos pueden ser utilizados por todos los tejidos del cuerpo sin ser procesados por el hígado (Wattiaux, 2005).

### 2.10. Utilización de los lípidos en la ubre de las vacas

En la glándula mamaria se lleva a cabo el metabolismo de lípidos generando una gran parte de la grasa de la leche (casi la mitad); esta grasa en leche proviene principalmente de las lipoproteínas, 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 esto también inhibe la síntesis de ácidos de cadena corta y mediana. Cuando se alimenta a las vacas con dietas bajas en fibra existe una marcada

depresión en la secreción de grasa en la leche que no se compensa con la administración de más grasa en la dieta (Wattiaux, 2005).

#### 2.11. Adición de lípidos a la ración de vacas lecheras

Los lípidos aportan mayor energía que los carbohidratos, (2.25 veces más), se les conoce como nutrientes fríos debido a que durante su digestión y utilización por el animal generan menos calor que los carbohidratos y proteína (Wattiaux, 2005). La utilización de lípidos en las raciones de las vacas genera: incremento de la densidad calórica (energía) especialmente en casos de ingesta reducida, limita el uso de concentrados altos en carbohidratos y en climas calurosos ayudan a reducir el estrés calórico. Los cambios notados en la ingestión de alimentos y la producción de leche varían mucho según el tipo de lípidos agregados a la dieta. Las vacas no deben ser alimentadas 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 lípido en la dieta usualmente reduce la proteína en la leche en un 0.1%. Además, un exceso de lípidos puede reducir la ingestión de alimentos, producción de leche y la composición de la grasa en la leche (Wattiaux, 2005).

#### 2.12. Efecto de la suplementación con grasas de sobrepaso

Las grasas de sobrepaso tienen poca o ninguna actividad en el rumen y su asimilación ocurre en el duodeno (Romero, 2014). Al ser utilizadas se ha encontrado un incremento en el contenido de grasa en la leche y reducción en las pérdidas de peso durante los primeros 100 días de lactancia (Villegas, 2007).

Se llevó a cabo un trabajo con vacas primíparas de la raza Holstein, Pardo Suizo y Jersey y sus cruces evaluando dietas con grasa 0.3 kg y sin grasa sobrepasante, reportando un incremento en la producción de 2.84 litros/vaca/día, y una rentabilidad de 0,22 centavos de dólar, en los animales suplementados (Méndez, 2013).

Otros estudios coinciden en que la suplementación con grasas protegidas incrementa la producción de leche aproximadamente en un 10%, además de que aumenta el porcentaje de grasa y lactosa en la leche; la disminución en el porcentaje de proteína se atribuye a la mayor síntesis de lactosa y un efecto de dilución provocado por el incremento en el volumen de la leche y solo se presenta cuando la suplementación excede los 400 g/día (Salvador, 2009).

El suministro de grasa sobrepasante tiene efecto en el aumento de peso después del parto, ayuda a mantener o aumentar la condición corporal y evita la movilización de reservas grasas. El perfil de ácidos grasos en la dieta puede determinar características físicas, organolépticas y nutricionales de la leche y los productos lácteos; por esta razón, la suplementación con grasa sobrepasante, modifica los AG presentes en la grasa láctea y se busca una mayor proporción

del ácido linoleico conjugado, a partir del metabolismo lipídico en los rumiantes, al cual se le han atribuido propiedades benéficas en la salud humana (Calvopiña et al., 2007).

Otros resultados con la suplementación de grasa de sobrepeso es que la suplementación grasa, con alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados, contribuye en el posparto a la recuperación de parámetros reproductivos específicos como el crecimiento folicular y el restablecimiento de la función lútea, reduciendo el intervalo entre el parto y la primera ovulación, así como el número de días abiertos, mejorando el comportamiento reproductivo del ganado bovino (Salas et al., 2011).

Otro autor señala que la incorporación de grasas en la ración de vacas en postparto no modifica su estatus energético y sugiere que el efecto sobre la respuesta reproductiva tiene más que ver con el aporte de ácidos grasos de cadena larga (AGCL) que alteran la disponibilidad del sustrato, que el simple aporte energético (Martínez, 2012).

### III. Justificación

En la actualidad, México es uno de los principales países importadores de leche en el mundo.

En la alimentación animal, la ingestión de materia seca define el nivel de producción del animal. Además, uno de los principales factores limitantes de la producción animal, es la demanda de energía del organismo.

Las grasas de sobrepaso ofrecen mayor densidad energética por unidad de materia seca en comparación con los cereales, otra ventaja es que, al estar protegidas, no alteran la digestibilidad del alimento, pasando intactas al abomaso donde se liberan los lípidos y pasan al intestino delgado para su absorción. Así, pueden ser incluidos en la etapa más crítica de la vaca que es el periodo de transición, donde se requiere una mayor demanda de nutrientes incluida la energía, para iniciar y mantener la lactación. A lo cual, las grasas de sobrepaso proveen una fuente de energía para mantener los niveles de producción y reducir los afectos en la salud en el animal (pérdida de peso y cetosis). Otro beneficio es que independiente de la fuente de ácidos grasos, saturada o insaturada, como en el caso de AGPI tiene efectos benéficos en la reproducción del animal como el crecimiento folicular y el restablecimiento de la función lútea, reduciendo el intervalo entre el parto y la primera ovulación, así como el número de días abiertos, mejorando el comportamiento reproductivo del ganado bovino. Sin embargo, una desventaja es su nivel de inclusión, el cual no debe exceder el 6 % de MS que consuma el animal puesto que se han reportado efectos negativos en la producción y en la composición química de la leche.

La adición en la dieta de grasas protegidas persigue el objetivo de aumentar el consumo y la eficiencia alimentaria, logrando incrementar la producción de leche y mejorar el contenido de componentes químicos mayoritarios de la leche.

#### **IV. Hipótesis**

La adición de grasa de sobrepaso (rica en ácidos grasos saturados) y sales de calcio de ácidos grasos insaturados en la dieta de vacas lecheras, al ser una fuente de grasa inerte en rumen, dándose su asimilación en intestino delgado, incrementa la producción láctea y modifica la composición química de la leche.

## V. Objetivos

### **General**

Evaluar el efecto de la adición de grasa de sobrepaso en la dieta de ganado vacuno lechero en estabulación sobre la respuesta productiva y composición química de la leche.

### **Específicos:**

- a) Estimar la respuesta productiva (consumo de materia seca, producción de leche, cambio de peso) de vacas lecheras alimentadas con grasa de sobrepaso en dietas completas mezcladas a base de ensilado de maíz.
- b) Analizar la composición química (grasa, proteína y lactosa) de la leche de vacas lecheras alimentadas con grasa de sobrepaso en dietas completas mezcladas a base de ensilado de maíz.
- c) Valorar mediante un análisis económico la viabilidad de la utilización de grasa de sobrepaso en dietas completas mezcladas a base de ensilado de maíz en ganado lechero.



## VI. Materiales y métodos

### 6.1. Material de campo

- Bascula digital
- Carretillas
- Palas
- Bolsas de plástico
- Marcadores permanentes
- Frascos de plástico
- Morteros para molienda.
- Cubetas
- Tinajas de plástico
- Revolvedora de alimento

### 6.2. Material biológico

- Tres vacas híbridas (Holstein x Pardo suizo).
  - Vaca ID, 14 – 15
  - Vaca ID, 13 – 15
  - Vaca ID, 6 – 16

### 6.3. Equipo de laboratorio:

- Lactoscan
- Bascula digital
- Estufas de aire forzado
- Mufla
- Equipos para determinar grasa (soxtec), nitrógeno (Büchi kjeldalh) y fibras (Ankom) de las dietas

### 6.4. Animales, dieta y tratamientos

Se utilizaron tres vacas híbridas (Holstein x Pardo Suizo,  $443.6 \pm 42.9$  kg PV) de primer parto al inicio de su lactación (producción de leche promedio de  $16.56 \pm 1.71$  kg/d), las cuales se manejaron de acuerdo con las normas de salud y de bienestar animal establecidas por la institución.

Las vacas se colocaron en 3 corrales diferentes para su completa estabulación, se trabajó con animales lo más homogéneos posible, considerando su peso vivo, número de parto, producción de leche y días en lactación. El diseño experimental que se utilizó fue un Cuadro Latino 3x3 (repetido), con periodos experimentales de quince días (diez de adaptación y cinco de medición).

La alimentación se realizó con raciones completas mezcladas (TMR, por sus siglas en inglés), conformada por ensilado de maíz y un concentrado, en un sistema estabulado. El concentrado, se elaboró a base de cereales y fuentes proteicas, se adicionó sales de calcio o grasa de sobrepaso con el fin de suministrar 600 g/d por animal. Los tratamientos a evaluar fueron los siguientes:

- 1) **Testigo**, dieta completa mezclada sin grasa de sobrepaso.
- 2) **SCUnsat**, dieta completa mezclada con sales de calcio de aceite de soya como fuente de ácidos grasos insaturados.
- 3) **GSSat**, dieta completa mezclada con grasa de sobrepaso a base de aceite de palma (EnergyVac<sup>MR</sup>) rica en ácidos grasos saturados.

Los concentrados de los tres tratamientos se mezclaron con días de anticipación, el ensilado de maíz se recogió del silo de la institución en el momento que se realizó la TMR, antes de realizar la oferta tanto AM – PM. Se pesó perfectamente tanto ensilado – concentrado – grasa de sobrepaso y se realizó la mezcla de los ingredientes. Las dietas integrales fueron formuladas para ser isoproteicas e isoenergéticas. La composición de las dietas se observa en el Cuadro 2.

#### 6.5. Desarrollo experimental

El trabajo experimental comprendió tres periodos, divididos en dos fases cada uno. La primera fase consistió en la adaptación al manejo y la dieta, los cuales fueron de 10 días, y los últimos cinco días de cada periodo fue la medición del consumo de alimento, producción de leche y toma de muestras (leche y alimento). Las vacas se pesaron al inicio y final de la fase de medición. Diariamente las vacas fueron alimentadas dos veces al día, oferta 07:00h y 16:00h respectivamente,

Diariamente se realizaron dos ordeños (06:00h y 15:00h) establecidos dentro del manejo de la unidad de producción. Finalizado el ordeño matutino, los animales permanecieron en corrales individuales (4x4m) provistos de bebedero y comedero donde se les proporciono la TMR *ad libitum*, después de ofertar la dieta por la mañana, al medio día (12:00h) los animales se trasladaron a un área de descanso donde permanecieron hasta el inicio del ordeño vespertino. El ordeño se realizó con ordeñadora mecánica (siguiendo la metodología de la institución). Concluido el segundo ordeño, los animales se regresaron a los corrales individuales, donde se les oferto la dieta TMR.

La producción láctea y la oferta de alimento se registraron diariamente y de forma individual. En los 5 días de medición se tomó una muestra de leche en cada ordeño, y se preparó una alícuota proporcional a la producción, misma que fue conservada en refrigeración (-20 °C) para su posterior análisis en laboratorio.

Cuadro 2. Composición de ingredientes de las dietas (% base seca).

Ingrediente	Tratamiento <sup>†</sup>		
	Testigo	GSSat	SCUnsat
Harina de Soya	5.68	6.50	6.49
Canola	19.12	18.94	19.04
Sorgo molido	15.64	10.98	10.69
Rastrojo de maíz	1.72	1.75	1.75
Jabón de calcio <sup>§</sup>	-	-	4.18
EnergyVac <sup>∞</sup>	-	4.18	-
Minerales	1.00	1.00	1.00
Carbonato de Ca	1.15	0.15	0.36
Ensilado de maíz	55.68	56.50	56.50

<sup>§</sup> Jabones de calcio con aceite de soya

<sup>∞</sup> Producto comercial

<sup>†</sup>Tratamientos: Testigo; dieta sin adición de grasa protegida; GSSat; grasa protegida comercial rica en ácidos grasos saturados; SCUnsat; sales de calcio de aceite de soya rica en ácidos grasos insaturados.

El consumo voluntario de alimento en el corral se determinó por diferencia entre la oferta y rechazo.

## 6.6. Análisis de laboratorio

### 6.6.1. Alimentos

El análisis de la composición química de los alimentos (TMR) comprendió la determinación del contenido de materia seca (MS) y cenizas por pérdida de peso tras desecación de la muestra a  $103 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  en estufa de aire forzado durante 24h, seguida de la incineración en mufla a  $550 \pm 10.0^{\circ}\text{C}$  (AOAC, 2012). El contenido de grasa (EE) se obtuvo con solvente orgánico, utilizando el equipo *Soxtec FOSS 2055 a 220V* (AOAC, 2012). El contenido de proteína cruda se determinó por la concentración de nitrógeno mediante destilación directa de la muestra en analizador Kjeldalh (Kjeltec Auto 1030, Tecator, Foss, Glechic A/S, Hillarod, Dinamarca). La determinación de fibra detergente neutro (FDN) se determinó mediante la solubilización de la muestra en una solución neutro detergente (sulfato laurel y EDTA), tras ebullición suave durante una hora y lavado final con acetona (Van Soest et al., 1991). La determinación de fibra detergente ácido (FDA) se obtuvo según Goering y Van Soest (1970), y lignina se realizó por el método descrito por Van Soest et al. (1991).

### 6.6.2. Leche

Se obtuvo una muestra representativa de leche, a partir de una alícuota obtenida de muestras de leche (am y pm), posteriormente se midió el contenido de proteína, grasa y lactosa en la leche en un analizador Lactoscan SL60, las muestras fueron analizadas por duplicado.

### 6.7. Análisis estadístico

A las variables de respuesta: consumo de alimento, producción de leche y composición de la leche fueron sujetas a un análisis de varianza para un diseño cuadro latino 3x3 repetido, con el procedimiento mixed del paquete estadístico SAS (1999), según el modelo estadístico siguiente.:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + T_j + P_k + E_{ijk}.$$

Dónde:  $Y_{ijk}$ , es la variable respuesta;  $\mu$ , es la media general;  $V_i$ , es el efecto debido a la vaca;  $T_j$ , es el efecto del tratamiento o grasa añadida en la dieta;  $P_k$ , es el efecto debido al periodo; y  $E_{ijk}$ , es el error residual. Se utilizó el peso vivo inicial y producción de leche al comienzo del experimento como covariable, para corregir cada una de las variables de respuesta.

En las variables donde se observó efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias (SAS, 1999). Se habló de tendencia estadística cuando la probabilidad fue  $>0.05$  y  $<0.10$ .

### 6.8. Análisis económico.

Se realizó un análisis de presupuestos parciales utilizando la metodología de Wiggins et al. (2001), y así determinar la viabilidad económica de los tratamientos evaluados. Se estableció el costo de alimentación como principal costo de producción de leche, incluyendo el costo de las dietas en función de la materia prima.

La utilidad se calculó a partir del costo de venta menos el costo de alimentación y así determinar si es factible la inclusión de dichas grasas.

## **VII. Límite de espacio**

La presente investigación se realizó en la Coordinación de Producción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, en el área de bovinos productores de leche, ubicada en El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca de Lerdo, localizada a 19° 24' 43.48" Latitud Norte y 99° 41' 6.18" Longitud oeste en relación al meridiano de Greenwich, con una de 2604 snm, clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 18.7 °C, con una precipitación pluvial de 780mm (INEGI, 2014).

Los análisis de laboratorio (leche y dietas) se realizaron, en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEMex.

## **VIII. Límite de tiempo**

La investigación se realizó en 4 fases:

Fase 1. Trabajo de campo. Diciembre 2017-Enero2018.

Fase 2. Análisis de laboratorio. Febrero 2018-Julio 2018.

Fase 3. Análisis estadístico e interpretación de datos. Agosto 2018-Marzo 2019.

Fase 4. Redacción y revisión de tesis. Marzo 2019 – Septiembre 2019.

## IX. Resultados y Discusión

Las dietas de rumiantes son comúnmente suplementadas con aceites y grasas para satisfacer los requerimientos al inicio de la lactación y/o para dirigir la composición de la grasa de la leche hacia el enriquecimiento de ácidos grasos benéficos para el ser humano (Mele et al., 2006).

La composición química de las dietas experimentales que incluyeron grasas protegidas se presenta en el Cuadro 3. Se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en el contenido de fibra detergente neutro, cenizas y extracto etéreo, los cuales fueron más altos en la dieta que incluyó la grasa protegida a base de aceite de palma (GSSat). Un mayor contenido de Calcio en las dietas con grasa protegidas podría explicar las diferencias en el contenido de materia inorgánica. Era esperado un mayor contenido de grasa bruta en las dietas que incluyeron las grasas protegidas en comparación con el testigo.

Cuadro 3. Análisis químico del aporte nutricional (%) de las dietas consumidas por las vacas lecheras en lactación.

	Tratamiento <sup>†</sup>			EEM	P
	Testigo	GSSat	GSUnsat		
Materia seca	37.72	37.47	37.07	0.938	0.4533
Cenizas	6.27 <sup>b</sup>	7.14 <sup>a</sup>	6.79 <sup>ab</sup>	0.145	0.0148
Proteína cruda	17.38	17.11	17.41	0.386	0.8406
Fibra detergente neutro	37.08 <sup>b</sup>	38.64 <sup>a</sup>	37.89 <sup>ab</sup>	0.291	0.0257
Fibra detergente acida	19.89	20.29	19.37	0.337	0.2359
Extracto etéreo	1.24 <sup>c</sup>	4.43 <sup>a</sup>	3.02 <sup>b</sup>	0.060	0.0001
Energía neta de lactancia (Mcal/ kg ms) <sup>‡</sup>	2.12	2.12	2.12	0.115	0.2367

<sup>abc</sup>Literales diferentes en la misma fila indican significativa ( $P > 0.05$ )

<sup>†</sup> Tratamientos: Testigo; dieta sin adición de grasa protegida; GSSat; grasa protegida comercial rica en ácidos grasos saturados; SCUnsat; sales de calcio de aceite de soya rica en ácidos grasos insaturados.

<sup>‡</sup> EN<sub>L</sub>: 9.07 - (.0097 \* FDA), (Menke y Stenigas, 1988).

EEM, Error estándar de la media; P, Significancia estadística.

En el Cuadro 4 se observa el peso vivo corporal al inicio y final del experimental. Así como, el consumo de materia seca (CMS) y de consumo de nutrientes de vacas lecheras en estabulación. No hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) en el cambio de peso vivo

corporal entre tratamientos, sin embargo, el tratamiento SCUnsat mostró el peso más alto.

El consumo de materia se incrementó ( $P < 0.05$ ) con la suplementación de sales cálcicas de ácidos grasos insaturados, el cual fue 11 y 18% mayor que el testigo y GSSat, respectivamente. En otros estudios se ha reportado que la ingesta de grasa protegida en vacas lactantes puede disminuir el consumo de materia seca (Schroeder et al., 2004; Hammon et al., 2008). Sin embargo, se menciona que la inclusión de la grasa debe estar en un rango de 5-6% del CMS para no verse afectada la digestión ruminal (Palmquist, 1984; Gagliostro y Chilliard, 1992; Chilliard et al., 1993). En una revisión (Schroeder et al., 2004) mencionan que la reducción del CMS ha estado muy asociada con la fuente y la cantidad de grasa suplementada (Coppock et al., 1987; Wu y Huber, 1994).

Cuadro 4. Peso vivo corporal (kg) y consumo de alimento (kg MS/d) y de nutrientes (kg/d) de vacas lecheras estabuladas adicionando grasa de sobrepaso en dietas completas mezcladas.

Variable	Tratamientos <sup>†</sup>			EEM	P
	Testigo	Gssat	Scunsat		
Peso vivo inicial	445.0	443.7	454.3	18.377	0.9063
Peso vivo final	449.7	448.7	471.0	16.588	0.5893
Consumo de materia seca	15.29 <sup>b</sup>	14.10 <sup>b</sup>	17.24 <sup>a</sup>	0.4259	<.0001
Consumo nutrientes					
<i>Proteína bruta</i>	2.657 <sup>b</sup>	2.413 <sup>b</sup>	3.002 <sup>a</sup>	0.0739	<.0001
<i>Extracto etéreo</i>	0.363 <sup>c</sup>	0.590 <sup>b</sup>	0.843 <sup>a</sup>	0.0152	<.0001
<i>Fibra detergente neutro</i>	5.668 <sup>b</sup>	5.447 <sup>b</sup>	6.352 <sup>a</sup>	0.1597	<.0001

<sup>abc</sup>Literales diferentes en la misma fila indican significativa ( $P > 0.05$ )

<sup>†</sup>Tratamientos: Testigo, dieta sin adición de grasa protegida; GSSat, grasa protegida comercial rica en ácidos grasos saturados; SCUnsat, sales de calcio de aceite de soya rica en ácidos grasos insaturados.

EEM, Error estándar de la media; P, Significancia estadística.

Gagliostro y Chilliard (1992), observaron que el CMS disminuyó después de suplementar grasa de sobrepaso insaturada (2.6 kg DMI/kg) o saturada (1.8 kg DMI/kg). La disminución fue menor y más variable con la suplementación de sales cálcicas de ácidos grasos (CaFA), con una reducción media de 0.6 kg MS/día con CaFA ( $P < 0.01$ )

Aguilar et al. (2009) suplementaron 1.8% de la ingesta estimada de MS con jabones de calcio de ácidos grasos de cadena larga de aceite de palma a vacas cruzadas de Holstein x Cebu, y no observaron efecto sobre el consumo de materia seca total



(12.5 kg) ni en el cambio de peso vivo (452.2 kg) de las vacas. Una respuesta similar ha sido observada en ovinos (Behan et al., 2019)

El principal factor que restringe el CMS es el contenido de fibra detergente neutro (FND) y cuando los forrajes son la principal fuente de FND, la ingesta de MS y FND se correlacionan negativamente entre sí (Behan et al., 2019).

Por otro lado, la alimentación con jabones de calcio a animales podría afectar a la palatabilidad o gustocidad de la dieta (Behan et al., 2019), cuando el nivel de inclusión de la grasa es el adecuado, el problema de palatabilidad puede ser reducido con la mezcla adecuada de los jabones en la dieta. En el presente estudio, se observó un incremento en el consumo de materia seca para el tratamiento SCUnsat, la grasa se mezcló perfectamente en cada oferta de alimentación y no se tuvo problemas de palatabilidad.

De acuerdo con Lewis et al. (1999), para evitar efectos adversos sobre la digestión de la fibra en rumen, la formulación de las dietas para ganado normalmente no debe alcanzar concentraciones de grasa en la dieta más allá de 40-50 g/kg MS, mientras que el NRC (2001) recomienda de 50 a 60 g/kg MS como grasa total de la dieta. En el presente trabajo, se estableció un consumo diario de 600 gr de grasa protegida, con lo cual, conocido el consumo de materia seca total, la oferta de grasas protegidas en la dieta de vacas lecheras se encontró dentro de lo recomendado por los autores antes mencionados.

El aumento en el consumo de MS con la suplementación de ácidos grasos insaturados (AGI) probablemente pueda estar relacionado con una mejor utilización de la energía en lugar del aumento en la ingesta calórica (Schroeder et al. 2004). Estos ácidos grasos que escapan de la biohidrogenación son liberados en el abomaso y según Noble (1978) las grasas son absorbidas principalmente en el tramo medio y final del yeyuno. Luego de ser absorbidas, los ácidos grasos de cadena larga son absorbidos dentro del sistema linfático, para luego ser incorporado en el torrente sanguíneo y no es necesario que pasen primero por el hígado (Duque et al., 2011; Palmquist y Jenkins, 1980).

Según Chilliard et al. (2001) aproximadamente el 60% de los AG presentes en la leche son captados de la sangre y el 40% son sintetizados *de novo* en la glándula mamaria. Además, Look y Bauman (2004) señalaron que los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos tienden a reducir la síntesis *de novo* de los AG de 4 a 10 carbonos. Mientras que una cantidad elevada de AG C18 *trans* inhibe la síntesis *de novo* y la actividad de la  $\Delta^9$ -estearoil-CoA desaturasa, limitando la conversión de ácidos grasos saturados a monoinsaturados (Moioli et al., 2007), concuerdan Sessler y Ntambi (1998) donde ellos mencionan que la actividad de esta enzima es inhibida por los AGPI, y también por los ácidos ciclopropanoicos (Bickerstaffe y Johnson, 1972). Esta reducción de la actividad enzimática, por el efecto de la suplementación de la dieta rica en AGPI, produciría una menor utilización de la glucosa para la síntesis de algunos ácidos grasos, por consiguiente esta glucosa podría servir para

otros tejidos y especialmente para la glándula mamaria ya que puede consumir hasta el 80% del total de la glucosa producida (Bell y Bauman, 1997; Emery et al., 1992), provocando una mayor producción leche y demanda mayor consumo de nutrientes por el animal, consecuentemente también el consumo de MS, gracias al efecto de una óptima utilización de la energía.

Ciertamente, la suplementación de grasa incrementa la densidad energética de la dieta, y según Purushothaman et al. (2008), maximizando el consumo de energía por el incremento de la densidad energética de la dieta es una estrategia de alimentación lógica para el ganado al inicio de la lactación. Además, la mejora de la eficiencia energética con la suplementación de grasa protegidas es un resultado de reducir la producción de metano desde el rumen y el uso directo de los ácidos grasos de cadena larga (Park et al., 2010)

La producción y composición de la leche y el rendimiento de esta en vacas alimentadas con dietas completas mezcladas adicionando grasas protegidas se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Producción (kg/d), composición (%) y rendimiento de componentes (kg/d) de la leche de vacas estabuladas adicionando grasa de sobrepeso en dietas completas mezcladas.

Variable	Tratamientos <sup>†</sup>			EEM	P
	Testigo	Gssat	Scunsat		
Producción leche (PL)	19.41 <sup>b</sup>	20.61 <sup>b</sup>	24.49 <sup>a</sup>	0.3935	<.0001
PL corregida 4% <sup>‡</sup>	16.54 <sup>c</sup>	19.22 <sup>b</sup>	21.76 <sup>a</sup>	0.5793	<.0001
Composición química					
<i>Proteína</i>	2.85	2.78	2.80	0.0504	0.5954
<i>Grasa</i>	2.97	3.51	3.22	0.1582	0.0650
<i>Lactosa</i>	4.28	4.18	4.20	0.0732	0.6250
<i>Sólidos no grasos</i>	7.78	7.60	7.64	0.1320	0.6159
Rendimientos					
<i>Proteína</i>	0.555 <sup>b</sup>	0.574 <sup>b</sup>	0.686 <sup>a</sup>	0.0151	<.0001
<i>Grasa</i>	0.585 <sup>b</sup>	0.732 <sup>a</sup>	0.797 <sup>a</sup>	0.0341	<.0003
<i>Lactosa</i>	0.831 <sup>b</sup>	0.861 <sup>b</sup>	1.029 <sup>a</sup>	0.0227	<.0001
<i>Sólidos no grasos</i>	1.511 <sup>b</sup>	1.568 <sup>b</sup>	1.870 <sup>a</sup>	0.0409	<.0001

<sup>abc</sup>Literales diferentes en la misma fila indican significativa ( $P>0.05$ )

<sup>†</sup>Tratamientos: Testigo, dieta sin adición de grasa protegida; GSSat, grasa protegida comercial rica en ácidos grasos saturados; SCUnsat, sales de calcio de aceite de soya rica en ácidos grasos insaturados.

<sup>‡</sup> Producción corregida al 4% de grasa=  $(0.4 \cdot \text{Leche}) + (15 \cdot \text{kg Grasa})$ . (Rodriguez et al., 2014)  
EEM, Error estándar de la media; P, Significancia estadística.

La adición de grasas protegidas incrementó ( $P<0.05$ ) la producción de leche. Con respecto al testigo, la producción láctea en los tratamientos GSSat y SCUnsat, aumentó 16.2% y 31.5% respectivamente. Numéricamente el tratamiento SCUnsat produjo 3.8L promedio por encima del tratamiento GSSat, este a su vez presenta 1.2L promedio por encima del testigo, lo cual indica que el tratamiento SCUnsat resulta el más conveniente en cuanto a producción láctea.

Rodríguez et al. (2014) al adicionar 650g de grasa en la dieta de vacas Holstein, observaron un aumento en la producción de leche de 1.8 kg y 3.6 kg al utilizar un suplemento alto en proteína más la grasa de sobrepeso, respecto al grupo control. Según Méndez (2013), en vacas primíparas de la raza Holstein, Pardo Suizo y Jersey y sus cruces, los efectos de la inclusión de 0.3 kg de grasa en a dieta, produjo un incremento diario de 2.84L de leche/vaca sobre el grupo control, cuando la alimentación fue a base de concentrado comercial, ensilado de maíz y heno.

La composición química de la leche no mostró diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 5). Mientras que el tratamiento SCUnsat con grasa rica en ácidos grasos insaturados mostró 19% mayor rendimiento de leche que el tratamiento GSSat con grasa protegida rica en ácido grasos saturados, esto podría darle un valor agregado a esta leche ya que se podría utilizar en la industria láctea, como queso, mantequilla y crema.

El efecto de los lípidos de la dieta sobre el contenido de la grasa de la leche de vaca es altamente variable en función de aspectos como: la naturaleza de la grasa añadida, el nivel de suplementación de grasa y la naturaleza de la dieta basal (Chilliard et al., 1993; Schemidely y Sauvant, 2001).

Los ácidos grasos saturados e instaurados de cadena larga tienen menos efecto sobre la fermentación en rumen cuando son suplementados como sales de calcio que como ácidos grasos libres (Chalupa et al., 1985). Además, previene la biohidrogenación de ácidos grasos poli-insaturados esenciales en el rumen, e incrementa su absorción en intestino delgado, lo que potencialmente incrementa el suministro de estos ácidos grasos a la glándula mamaria (Purushothaman et al., 2008).

Nuestros resultados de producción de leche coinciden con los reportados por otros autores. Leduc et al. (2017) observaron en vacas Holstein en su primer tercio de lactancia que la adición de 600 g/vaca/día de grasa protegida rica en ácidos grasos insaturados aumenta la producción de leche y la cantidad de grasa. Cabrera y Del Carpio (2007) evaluaron la inclusión de 0.430 kg de sales cálcicas de ácidos grasos (50% saturados y 50% de insaturados) y observaron un incremento de la producción láctea del 20% en comparación con el tratamiento control. Además, incrementó el contenido de grasa en la leche de vacas Holstein en el primer tercio de lactación en estabulación cuya dieta tuvo una relación forraje:concentrado de 50:50.

Duque et al. (2011) adicionaron 560 g/día de grasas protegidas a base de omega 3 y omega 6 en la dieta de vacas Holstein durante el primer tercio de la lactancia, los resultados obtenidos, mostraron que no hubo efecto en la producción láctea ni en la composición química en la leche con respecto al grupo testigo. Estos resultados coinciden parcialmente con los nuestros. Por otra parte, Roa et al. (2014) utilizaron una grasa de sobrepaso comercial sobre un grupo de vacas Holstein, se añadieron 150 g/día encontrando un aumento en la producción láctea con respecto al grupo testigo, además de que se encontró un aumento del porcentaje de grasa en leche y mejoró la condición corporal de las vacas.

Otros autores no reportan cambios en la producción de leche de vacas consumiendo grasa protegida. Aguilar et al. (2009) suplementaron con grasa de sobrepaso a vacas y no observaron incremento en la producción de leche (11.9 kg/ día), aunque la tasa de disminución de la producción de leche durante el experimento fue de 21 g/d para las vacas control y 6 g/d para las vacas alimentadas con la grasa de sobrepaso, siendo más persistentes en su producción de leche los animales suplementados con grasa de sobrepaso.

En relación al análisis económico por concepto de alimentación de las dietas evaluadas en el presente trabajo, los resultados son mostrados en el Cuadro 6. Como se indicó anteriormente, la producción de leche fue mayor con el tratamiento SCUnsat, aunque la composición química de la leche no difirió, sí se observó mayor rendimiento en sus componentes (Cuadro 5). Así; con la adición de jabones de calcio de aceite de soya; este tratamiento representó la dieta con mayor costo, aunque con un margen sobre la alimentación menor que el tratamiento GSSat, y el testigo.

Cuadro 6. Análisis económico (moneda nacional) del uso de grasas protegidas en la alimentación de vacas lecheras en estabulación.

	Tratamientos <sup>†</sup>		
	Testigo	Gssat	Scunsat
Costo de la dieta	\$4.57	\$4.94	\$5.14
Costo total de alimentación	\$3,377.90	\$3,133.70	\$3,987.30
Producción total de leche (l)	888.40	888.60	1,027.10
Precio de venta de leche	\$6.00	\$6.00	\$ 6.00
Ingreso de venta de leche	\$5,330.40	\$5,331.60	\$6,162.60
Margen sobre los costos de alimentación	\$1,952.54	\$2,197.93	\$ 2,175.27
Costo de alimentación/kg de leche	\$ 3.80	\$3.53	\$3.88
Margen sobre los costos de alimentación/kg de leche	\$2.20	\$2.47	\$2.12
Ingresos/costos de alimentación	\$1.58	\$1.70	\$1.55

El tratamiento con grasa protegida a base de aceite de palma (GSSat), podría ser una alternativa de suplementar por su bajo costo en la alimentación, sin embargo, con este se sacrifica el rendimiento de leche. Este tratamiento parece ser el más rentable para aumentar la producción de leche ya que por cada \$1.00 que se invierte en se recupera \$1.70 hablando solo por concepto de alimentación, un margen mayor que el tratamiento testigo.

El tratamiento SCUnsat por su alto rendimiento de componentes en leche, podría ser una alternativa para la elaboración de queso, crema, mantequilla, donde el rendimiento de los componentes lácteos es muy importante. Además, este tratamiento podría representar una opción para mejorar la calidad de la grasa de la leche, ya que la relación de ácidos grasos insaturados se incrementa y estos están relacionados con efectos benéficos en la salud humana.

El objetivo con el uso de grasas protegidas es intentar mejorar la transferencia de ácidos grasos insaturados de la ración a la leche (Park et al., 1971). Según Chouinard et al. (2001), la liberación lenta de los ácidos grasos insaturados obtenidos a partir de los jabones de calcio crean unas condiciones favorables para la acumulación del ácido vaccénico (C18:1 *trans*11) y en consecuencia para el incremento de la concentración del principal isómero del ácido linoleico conjugado, C18:2 *cis*9 *trans*11 o ácido ruménico, en leche; ambos ácidos son intermediarios de la hidrogenación del ácido linoleico en el rumen, este es un ácido graso esencial y predominante en el aceites vegetales como el de soya.

El ácido ruménico, es de gran interés por los efectos saludables positivos asociados en modelos experimentales, en la reducción de la acumulación de la grasa corporal (Park et al., 1997), efectos antidiabéticos (Belury, 1995), reducción en el desarrollo de aterosclerosis (Lee et al., 1994), aumento de la mineralización ósea y la modulación del sistema inmune (Belury, 1995; Banni y Martin, 1998; Houseknecht et al., 1998), efectos antioxidantes (Park et al., 1997) y supresión de la carcinogenesis (Ip et al., 1994; Belury, 1995).

## **X. Conclusiones**

La adición de grasa protegida con diferentes grados de saturación en vacas en estabulación aumenta el consumo de materia seca y la producción láctea, sin afectar la composición química de la leche.

El rendimiento de componentes de la leche (grasa, proteína y lactosa) se incrementa con el uso de jabones de calcio de aceite de soya en lugar de grasa protegida rica en ácidos grasos saturados.

El uso de aceite de soya en la alimentación del ganado lechero como fuente de ácidos grasos insaturados en forma de jabones de calcio, es una estrategia que genera menor margen de utilidad, pero podría representar una alternativa para mejorar la calidad de la grasa de la leche, con alto contenido de componentes funcionales con potenciales beneficios para la salud humana, y proporcionar alto valor agregado al producto.

## XI. Bibliografía

Abughazaleh, A.A.; Jacobson, B.N. 2007. The effect of pH and polyunsaturated C18 fatty acid source on the production of vaccenic acid and conjugated linoleic acid in ruminal cultures incubated with docosahexaenoic acid. *Anim. Feed Sci. Technol.* 136:11-22.

Aguilar, C.; Ku-Vera, J.; Garnsworthy, P. 2009. Effects of bypass fat on energy balance, milk production and reproduction in grazing crossbred cows in the tropics. *Livestock Science* 121, 64–71.

Alberto, P.; Gómez, I.; Mendizabal, J.A.; Ripoll, G.; Barahona, M.; Sarriés, V.; Insausti, K.; Beriain, M.J.; Purroy, A.; Realini, C. 2013. Effect of whole linseed and rumen protected conjugated linoleic acid enriched diets on feedlot performance, carcass characteristics, and adipose tissue development in young Holstein bulls. *Meat Sci.* 94:208-214.

Ángulo, V.; Olivera, L. 2005. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México, Coordinación General de Ganadería SAGARPA. México.

Association of Official Analytical Chemists. 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. AOAC. Arlington. VA, USA. Pp. 34-36

Baeck, J. 2012. Transición de la vaca lechera. Nuevos criterios nutricionales que desafían nuestros paradigmas. VI Congreso de conservación de forrajes y nutrición. 25 y 26 de octubre. Consultado el 12 noviembre 2018. Disponible en [http://www.produccionanimal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/metabolicas/metabolicas\\_bovinos/53-transicion.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/metabolicas/metabolicas_bovinos/53-transicion.pdf)

Banni, S. y Martin, J.C. 1998. Conjugated linoleic acid and metabolites. In: *Trans Fatty Acids in human Nutrition*. JJ Sebedio .WW Cristie (Eds). Oily Press, Dundee, Scotland. 261-302

Barreto, R. s/f. Utilización de grasas de sobrepeso en raciones para vacas altas productoras de leche, INIFAP, Ojuelos, Jalisco. México,

Bastida, C. 2014. Caracterización del sistema de producción de leche en la comunidad de loma blanca, Almoloya de Juárez, estado de México. Tesis de Maestría, ICAR, UAEM. México.

Bauchart, D. 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.*, vol. 76, p. 3864-3881.

Bauman, D.E.; Baumgard, L.H.; Corl, B.A.; Griinari, J.M. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *J. Anim Sci.* 77:1-15.

Behan, A.; Chewen, T.; Fakusari, S., Kaka, U., Kaka, A., Samsudin, A. 2019. Effects of Supplementation of Rumen Protected Fats on Rumen Ecology and Digestibility of Nutrients in Sheep, *Animals*, 9, 400.

Bell, A.W.; Bauman D.E. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J Mamm Gland Biol Neopl*; 2:265-278.

Bell, A.W. 1982. Control of lipid metabolism in ruminants. *Proc. Nutr. Soc. Aus.* vol. 7, p. 97-104.

Belury, M.A. 1995. Conjugated dienoic linoleate: A polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties. *Nutr. Rev.* 53: 505-531.

Bickerstaffe, R.; Johnson, R.A. 1972. The effect of intravenous infusions of sterculic acid on milk fat synthesis. *Br. J. Nutr.*, vol. 27, *J. Dairy Sci.* vol. 63, p. 1-14.

Buccioni, A.; Antongiovanni, M.; Petacchi, F.; Mele, M.; Serra, A.; Secchiari, P.; Benvenuti, D. 2006. Effect of dietary fat quality on C18:1 fatty acids and conjugated linoleic acid production: An *in vitro* rumen fermentation study. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127:268-282.

Buccioni, A.; Decandia, M.; Minieri, S.; Molle, G.; Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174:1-25.

Bustamante, J. 2004. Estrategias de alimentación para la ganadería bovina en Nayarit. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental "El Verdineño". Folleto para Productores Núm. 1 Div. Pecuaria Septiembre

Cabiddu, A.; Salis, L.; Tweed, J.K.S.; Molle, G.; Decandia, M.; Lee, M.R.F. 2010. The influence of plant polyphenols on lipolysis and biohydrogenation in dried forages at different phenological stages: *in vitro* study. *J. Sci. Food Agric.* 90:829-835.

Cabrera, O. y Del Carpio, P. 2007. Rendimiento de vacas holstein en lactación alimentadas con grasa sobrepasante en la dietas. Consultado el 09 de Julio de 2019, disponible en <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/rendimiento-vacas-holstein-lactacion-t27416.htm>

Calvopiña A.; León V. 2007. Estudio de la suplementación de tres niveles de grasa sobrepasante en la alimentación de vacas lactantes Holstein friesian, Aloasi-Pichincha. *Rumipamba VOL. XXI N° 1*, pp 1-12.



Carroll, S.; DePetrs, E.; Taylor, S.; Rosenberg, M.; Perez-Monti, H.; Capps, V. 2009. Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response the increasing levels of dietary fat. *Animal fed Science and technology* 13 :451-473

Castaneda, E.; Overton, T.; Buttler, W.; Bouman D. 2005. Dietary supplements of two doses of calcium salts of conjugated linoleic acid during the transition period and early lactation. *J. Dairy Sci.* 88: 1078-1089.

Castillo V., J.; Olivera A., M.; Carulla F., J. 2013. Descripción del mecanismo bioquímico de la biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos poliinsaturados: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 459-468.

Cerón, J. (2005): Síntesis de la leche. *Despertar Lechero*, 57-59.

Chilliard Y., and Bocquier F. 1993. Effect of fat sup- plementation on milk yield and composi- tion in dairy goats and ewes, in: *Proceedings of the 5th International Symposium “La qualità delle produzioni dei piccolo rumi- nanti”*, Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura di Varese, Italy. Pp. 61–78.

Chilliard, Y., 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: A review. *J. Dairy Sci.* 76, 3897 – 3931.

Chouinard, P.Y.; Corneau, L.; Bautler, W.R.; Chillard, Y.; Drackley, J.K.; Bauman, D.E. 2001. Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentration in milk fat. *J. Dairy Sci.* 84: 680-690.

Coppock, C.E.; Lanham, J.K.; Horner, J.L., 1987. A review of nutritive value and utilization of whole cottonseed, cottonseed meal, and associated by-products by dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 18, 89 – 97.

Cunningham, G. J. (1999): *Fisiología Veterinaria México*, México, México: Mc-Graw Hill Interamericana: 555-557.

Dawson, R.M.C.; Hemington, N. 1974. Digestion of grass lipids and pigments in the sheep rumen. *Br. J. Nutr.* 32:327-340.

Del Valle, M. y Álvarez, A.1997. La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos del TLCAN. *LASA* Guadalajara, Jal. México.

DGPA. 2005. Dirección general de producción agraria. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de ASPECTOS NUTRICIONALES Y TECNOLÓGICOS DE LA LECHE:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3\\_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/\\$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicodelaleche.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicodelaleche.pdf)

Doreau, M.; Rearte, D.; Portelli, J.; Peyraud, J.L. 2007. Fatty acid ruminal metabolism and digestibility in cows fed perennial ryegrass. Eur. J. Lip. Sci. Technol. 109:790-798.

Duarte, J.; Ramirez, G.; Castañeda, R. 2016. Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico. Rev Colombiana Cienc Anim 2016; 8(2):228-242. Colombia.

Duque, M.; Olivera, M.; Rosero, R.; 2011. Metabolismo energético en vacas durante la lactancia temprana y el efecto de la suplementación con grasa protegida. Rev Colomb Cienc Pecu ; 24:74-82.

Duque, M; Olivera, M; Rosera, R. 2011. Efecto de la suplementación con grasas protegidas sobre la producción y composición de la leche; Facultad de ciencias agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Emery, R.; Liesman, J.; Herdt, T.1992. Metabolism of long chain fatty acids by ruminant liver. J. Nutr ; 122:832-837.

Enjalbert, F.; Eynard, P.; Nicot, M.C.; Troegelermeynadier, A.; Bayourthe, C.; Mocoulon, R. 2003. *In vitro* versus *in situ* ruminal biohydrogenation of unsaturated fatty acids from raw or extruded mixture of ground canola seed/canola meal. J Dairy Sci. 86:351-359.

Financiera Rural. 2012. Monografía de bovinos lecheros. FINRURAL. México. 24 p

Fuentes, M. 2009. Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional de las vacas lecheras: el papel del rumen. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra. Barcelona.

Gagliostro, G.A. y Chilliard, Y., 1992. Utilización de lípidos protegidos en la nutrición de vacas lecheras. I. Efectos sobre la producción y la composición de la leche, y sobre la ingestión de materia seca y energía. Rev. Arg. Prod. Anim. 12 (1), 1 – 15

Gallardo, M. 2001. Los nutrientes by-pass en los sistemas lecheros pastoriles: ¿una moda o una necesidad? Producir XX1. Año 9. Nro 113: 34.

García, K. 2012. Respuesta a la suplementación con grasas sobrepasante en vacas mestizas en postparto en condiciones del trópico. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

García, C. A.; Montiel, R. L., & Borderas, T. F. 2010. Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de [http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/19\\_10\\_27\\_3153R\\_EVISIONGrasaGarcia.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/19_10_27_3153R_EVISIONGrasaGarcia.pdf)

García, K. 2012. Respuesta a la suplementación con grasa sobrepasante en vacas mestizas en posparto en condiciones de trópico; Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Givens, D.I.; Kliem, K.E.; Gibbs, R.A. 2006 .The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Sci.*, vol. 74, p. 209-218.

Gómez, D. A., & Bedoya Mejía, O. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Lasallista de Investigación*, 38-42.

Halmemies-Beauchet-Filleau, A.; Kairenius, P.; Ahvenjärvi, S.; Crosley, L.K.; Muetzel, S.; Huhtanen, P.; Vanhatalo, A.; Toivonen, V.; Wallace, R.J.; Shingfield, K.J., 2013. Effect of forage conservation method on ruminal lipid metabolism and microbial ecology in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage-to-concentrate ratio. *J. Dairy Sci.* 96:2428-2447.

Kemp, P.; Lander, d.j. 1984. The hydrogenation of the series of methylene-interrupted cis,cis-octadecadienoic acids by pure cultures of six rumen bacteria. *Br. J. Nutr.* 52:171-177.

Hammon, H.; Metges, C.; Junghans, P.; Becker, F.; Bellmann, O.; Schneider, F.,2008 Metabolic changes and net portal flux in dairy cows fed a ration containing rumen-protected fat as compared to a control diet. *J Dairy Sci*; 91(1):208.

Harfoot, C.G.; Hazlewood, G.P. 1997. Lipid metabolism in the rumen. In: Hobson, P.N.; Stewart, C.S. (eds). *The Rumen Microbial Ecosystem*, ed. Chapman and Hall, London, UK. p.382-426.

Hassim, H.A.; Lourenço, M.; Goel, G.; Vlaeminck, B.; Goh, Y.M.; Fievez, V. 2010. Effect of different inclusion levels of oil palm fronds on *in vitro* rumen fermentation pattern, fatty acid metabolism and apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid. *Anim Feed Sci. Technol.* 162:155-158.

Hazlewood, G.P.; Kemp, P.; Lander, D.; Dawson, R.M.C. 1976. C18 unsaturated fatty acid biohydrogenation patterns of some rumen bacteria and their ability to hydrolyse exogenous phospholipids. *Br. J. Nutr.* 35:293-297.

Hobson, P.N.; Summer, R. 1967. The continuous culture of anaerobic bacteria. *J. Gen. Microbiol.* 47:53-65.

Hobson, P.N.; Summers, K. 1966. Effect of growth rate on the lipase activity of a rumen bacterium. *Nature.* 209:736-737.

Houseknecht, K.L.; Vanden Heuvel, J.P.; Moya-Camarena, S.Y.; Portocarrero, C.P.; Peck, L.W.; Nickel, K.P.; Belury M.A. 1998. Dietary conjugated linoleic acid

normalizes impaired glucose tolerance in the Zucker diabetic fatty fa/fa rat. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 244:678-682

Hughes, P.E.; Hunter, W.J.; Tove, S.B. 1982. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. Purification and properties of cis-9, trans-11-octadecadienoate reductase. *J. Biol. Chem.* 257(1):3643-3649.

INEGI. 2014. Anuario Estadístico. México. Gobierno del Estado de México. México. pp: 230.

Ip, C.; Chin, S.F.; Thompson, H.J. 1994. Conjugated linoleic acid powerful anticarcinogen from animal sources. *Cancer* 74: 1050-1054.

Jenkins, T.C.; Wallace, R.J.; Moate, P.J.; Mosley, E.E. 2008. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86: 397-412.

Jouany, J.P.; Lassalas, B.; Doreau, M.; Glasser, F. 2007. Dynamic features of the rumen metabolism of linoleic acid, linolenic acid and linseed oil measured in vitro. *Lipids.* 42: 351-360.

Kaniuga, Z. 2008. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. *Plant Biol.* 10:171-184.

Kemp, P.; White, R.W.; Y Lander, D.J. 1975: The hydrogenation of insaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. *J Gen Microbiol:* 90: 100-114.

Kemp, P.; Lander, D.J.; Holman, R.T. 1984. The hydrogenation of the series of methylene-interrupted cis, cis-octadecadienoic acid by pure cultures of rumen bacteria. *Br. J. Nutr.* 52:171-177.

Kouba, M. y Mourut, J. 2010. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie* 93: 13-17

Leduc, M.; Gerrais, R.; Chovinard, P.Y. 2017. Effect of calcium salts of polyunsaturated fatty acids with different particle sizes on lactation performance and milk fatty acid profile in dairy cows. *Departement des sciences animales, University Laval, Quebec, Canada.*

Lee, M.R.F.; Pafitt, L.J.; Scollan, N.D.; Minchin, F.R. 2007. Lipolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities in the presence and absence of rumen fluid. *J. Sci. Food Agric.* 87:1308-1314.

Lee, Y.; Jenkins, T.C. 2011. Biohydrogenation of linolenic acid to stearic acid by the rumen microbial population yields multiple intermediate conjugated diene isomers. *J. Nutr.* 141(8):1445-1450.

Lee, K.N.; Krichevsky, D.; Pariza, M.W. 1994. Conjugated linoleic and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis* 108: 19-25.

Lewis, W. D.; Bertrand, J. A.; and Jenkins, T. C. (1999). Interaction of tallow and hay particle size on ruminal parameters. *Journal of Dairy Science*, 82, 1532–1537.

Liavonchanka, A.; Feussner, I. 2008. Biochemistry of PUFA Double Bond Isomerases Producing Conjugated Linoleic Acid. *ChemBioChem.* 9:1867-1872. *Lipid Res.*, 1978, vol. 17, p. 55-91

Lock, A.L. and Bauman, D.E. 2004. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids*, 39: *Archivos de zootecnia* vol. 63 (R), p. 103. 1197-1206.

Maia, M.R.G.; Chaudhary, L.C.; Figueres, L.; Wallace, R.J. 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 91:303-314.

Martínez, C.; Cotera, J.; Abad, J. 2012. Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero , Veracruz, *Revista Mexicana de Agronegocios*, Vol. 30, PP 816 – 824, Torreón México.

Martínez del Olmo, D. 2012. Suplementación de las raciones para vacas lecheras de alta producción con aceites de origen vegetal. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Martínez, A.; Pérez, M.; Pérez, L.; Gómez, G.; Carrión, D. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria* 1695-7504 Volumen 11 Número 08

Martínez, K. 2012. Respuesta a la suplementación con grasa sobrepasante en vacas mestizas en posparto en condiciones de trópico, Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad nacional de Colombia. Colombia.

Mele, M.; Buccioni, A.; Petacchi, F.; Serra, A.; Banni, S.; Antongiovanni, M. and Secchiari P. (2006). Effect of forage/concentrate ratio and soybean oil supplementation on milk yield, and composition from Sarda ewes. *\_Anim. Res.* 55:273-285

Mella, C. 2010: Suplementación de vacas lecheras de alta producción en pastoreo, Universidad de Chile, Chile.

Méndez, M. 2013. Desempeño productivo y análisis económico de vacas lecheras primíparas suplementadas con grasa sobrepasante en una ración totalmente mezclada. Tesis de licenciatura. Zamora, Honduras.

Menke, K. H.; Raab, L.; Salewski, A.; Steingass, H.; Fritz, D., Schneider, W. (1988). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. Agricultural Sci. Cambridge*. 93: 217-222.

Moate, P.J.; Boston, R.C.; Jenkins, T.C.; Lean I.J. 2008. Kinetics of ruminal lipolysis of triacylglycerol and biohydrogenation of long-chain fatty acids: New insights from old data. *J. Dairy. Sci.* 91:731-742.

Moioli, B.; Contarini, G.; Avalli, A.; Catillo, G.; Orru, L.; De Matteis, G.; Masoero, G. and Napolitano, F. 2007. Effect of stearoyl-coenzyme A desaturase polymorphism on fatty acid composition of milk. *J Dairy Sci*, 90: 3553-3558.

Noble, R.C. Digestion, absorption and transport of lipids. *Prog. Ortiz J. Garcia O. Morales G. 2005. Manejo de bovinos productores de leche. Secretaria de la Reforma Agraria. Colegio de Posgraduados.p. 561-570.*

Palmquist, D.L., 1984. Use of fats in diets for lactating dairy cow. *Fat in Animal Nutrition*, pp. 357 – 381 Editions Bultersworkts, London.

Palmquist, D.L.; Jenkins, T.C. 1980. Fat in Lactation Rations: Review. *Journal of Dairy Science*. Volume 63, Issue 1, January 1980, Pages 1-14.

Park, B.K.; Choi, N.J.; Kim, H.C.; Kim, T.I.; Cho, Y.M.; Oh, Y.K.; Im, S.K.; Kim, Y.J.; Chang, J.S.; Hwang, I.H. 2010. Effects of amino acid-enriched ruminally protected fatty acids on plasma metabolites, growth performance and carcass characteristics of Hanwoo steers. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 23:1013–1021.

Park, Y.; Albright, K.J.; Liu, W.; Storkson, J.M.; Cook, M.E.; Pariza, M.W. 1997. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids* 32: 853-858.

Pedini, C. 2008. Alimentación del ganado lechero: notas sobre alimentación de la vaca lechera. Dpto Producción Animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Pérez Cabrejas, M. D., & Sánchez Paniagua, L. (2012): ZAGUAN. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de Estudio de las proteínas de la membrana del glóbulo graso de leche de vaca y oveja: <https://zaguan.unizar.es/record/8938?ln=es#>

Proaño, F. 2015. Obtención y evaluación de grasas de sobrepaso a partir de aceites residuales de aceite de palma y sebo de ovino en la suplementación de bovinos. Tesis de Doctorado. Universidad Agraria de la Habana. Cuba.

Purushothaman, S.; Kumar, A.; and Tiwari D. P. (2008). Effect of feeding calcium salts of palm oil fatty acids on performance of lactating crossbred cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21 (3): 376-385

Roa, C.A; León, A.L. 2014. Efecto de la suplementación energética durante el periodo de transición en vacas lecheras; Universidad de la Salle, Facultad de ciencias agropecuarias, Bogotá, D.C.

Robles, G. 2016: Influencia de la suplementación de aceite de soya sobre la producción y composición de la leche en vacas Holstein en pastoreo. *FMVZ. UAEMex. México*

Rodríguez, C.; Gómez, D.; Moyano, M. 2014. Efecto de la suplementación con alimentos ricos en ácidos grasos sobre parámetros productivos y composicionales de la leche bovina. *Ciencia y Agricultura Vol. 11 - Nº. 2 - Julio - Diciembre 2014*, p.77-82.

Romero, D. 2014. Uso de grasas sobrepasantes sobre la producción y reproducción de vacas jersey en la hacienda la Virginia. Tesis de licenciatura. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Carrera de Ingeniería Zootécnica

Sachan, D.S.; Davis, C.L. 1969. Hydrogenation of linoleic acid by a rumen spirochete. *J. Bacteriol.* 98(1):300-301.

SAGARPA 2017. Panorama de la leche en México, SIAP. 1-12

Salas, G.; Herrera, J.; Gutiérrez, E.; Ku-Vera, J., y Aké, J. 2011. Reinicio de la actividad ovárica posparto y concentración plasmática de metabolitos lípidos y progesterona en vacas suplementadas con grasa de sobrepaso. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 385-392.

Salvador, A. 2009. Efecto de la alimentación con grasa sobrepasante sobre la producción y composición de la leche de cabra en condiciones tropicales. *Zootecnia Tropical*. 27: pp 285-298

Schmidely, P. and Sauvant D. 2001. Taux butyreux et composition de la matière grasse du laitchez les petits ruminants: effets de l'apport de matière grasses ou d'aliment concentré, *INRA Prod. Anim.* 14:337–354.

Schroeder, G.; Gagliostro, G.; Bargo, F.; Delahoy, J.; Muller, L. Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livest Prod Sci* 2004;86(1-3):1-18.

Scott, T.W.; Cook, L.J.; Mills, S.C. 1971. Protection of dietary polyunsaturated fatty acids against microbial hydrogenation in ruminants. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 48: 358-364.

Secretaría de Economía. (2012). Análisis del sector lácteo en México. SE, México. 29 p

Secretaria de Economía. 2010. Análisis del sector lechero en México. Dirección General de Industrias Básicas. (1-29)

Sessler, A.; Ntambi, J. 1998. Polyunsaturated Fatty Acid Regulation of Gene Expression. *The Journal of Nutrition*, Volume 128, Issue 6, Pages 923–926.

SIAP. 2017. Anuario estadístico de la producción ganadera. Consultado el 8 Noviembre 2017. Disponible en: [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/)

Singh, S.; Hawke, J.C. 1979. The in vitro lipolysis and biohydrogenation of monogalactosyldiglyceride by whole rumen contents and its fractions. *J. Sci. Food Agric.* 30:603-612.

Souza, J.; Batistefñ F. Portela F. 2017. Effect of Sources of calcium salts of fatty acid son production nutrient digestibility energy balance, and carryover effects or early lactation grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100 (1072-1085)

Sterk, A.; Hovenier, R.; Vlaeminck, B.; Van Vuuren, A.M.; Hendriks, W.H.; Dijkstra, J. 2010. Effects of chemically or technologically treated linseed products and docosahexaenoic acid addition to linseed oil on biohydrogenation of C18:3n-3 in vitro. *J. Dairy Sci.* 93:5286-5299.

Tepox, R.; Rabling F. 2016. Manejo productivo y eficiencia económica en establos lecheros familiares en Texcoco, Estado De México. Tesis de licenciatura. FMVZ. UAEM.

USDA. 2017. Producción. Principales países productores de leche en 2015, 2016 y 2017. Disponible en <https://www.fas.usda.gov/data>

Váradyová, Z.; Kišidayová, P.S.; Dušan, J. 2008. Comparison of fatty acid composition of bacterial and protozoal fractions in rumen fluid of sheep fed diet supplemented with sunflower, rapeseed and linseed oils. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 144:44-54.

VILLEGAS, L. 2007. Utilización de grasa sobrepasante. Consultado el 12 de noviembre 2014. Disponible en <http://www.zoetecnocampo.com/forog/Forum5/HTML/000256.html>

Wattiaux, M. (2005): Metabolismo de lípidos en las vacas lecheras. Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera. 13 -16.

Wiggins, S.; Tzintzun-Rascón, R.; Ramírez-González, M.; Ramírez-González, R.; Ramírez-Valencia, F.J.; Ortiz-Ortiz, G.; Piña-Cárdenas, B.; Aguilar-Barradas, U.; Espinoza-Ortega, A.; Pedraza-Fuentes, A.M.; Rivera-Herrejón, G.; Arriaga-Jordán, C.M. 2001. Costos y retornos de la producción de leche en pequeña



escala en la zona central de México. La lechería como empresa. Serie Cuadernos de Investigación, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

Wu, Z. y Huber, J.T., 1994. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 39, 141 – 155.

Yañez-Ruiz, D.R.; Scollan, N.D.; Merry, R.J.; Newbold, C.J. 2006. Contribution of rumen protozoa to duodenal flow of nitrogen, conjugated linoleic acid and vaccenic acid in steers fed silages differing in their water-soluble carbohydrate content. *Br. J. Nutr.* 96:861–869.