



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**IMPACTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SOBRE EL PERFIL DE ÁCIDOS  
GRASOS DE LA LECHE**

**TESIS**

**PRESENTA:**

**LUIS ENRIQUE JUÁREZ DÁVILA**

**ASESORES:**

**DR. EN C. CARLOS M. ARRIAGA JORDÁN**

**DR. ERNESTO MORALES ALMARAZ**

**MVZ. DALIA ANDREA PLATA REYES**

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, OCTUBRE DE 2017**

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue identificar el impacto del sistema de alimentación sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en Sistemas de Producción de leche en Pequeña Escala (SPLPE) del Altiplano Central de México. Se evaluaron diez unidades de producción a través del enfoque de investigación participativa rural; cinco unidades basan la alimentación de las vacas en lactación en pastoreo con un mínimo de 7 horas y un máximo de 14 horas, además de la suplementación en corral de 3 a 6 kg de concentrado comercial BH por vaca por día; producciones de leche promedio de 12 kg por vaca por día; en comparación con cinco unidades de producción donde el manejo de la alimentación se realiza en estabulación con corte y acarreo de pradera *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, además de la suplementación con 4 a 8 kg de concentrado comercial BH por vaca por día; producción promedio de leche de 14 kg por vaca por día.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) para la mayoría de los ácidos grasos a excepción de Linolénico (C18:3 n-3), ( $P < 0.05$ ) que presentó niveles significativamente más altos en la leche de las vacas en pastoreo en comparación con la leche de las vacas en estabulación. Se concluye que el pastoreo puede ser una alternativa capaz de mejorar el contenido de ácido graso C18:3 n-3 con cualidades benéficas para la salud humana.

## ÍNDICE

<b>I.INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>II. REVISIÓN LITERARIA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Producción de leche .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 Producción de leche a nivel mundial .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 Producción de leche a nivel nacional .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3. Estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala del Noroeste del Estado de México .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4. La leche de vaca.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1. Composición de la leche de vaca.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5. Perfil de ácidos grasos en la leche de vaca.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6. Metabolismo de lípidos .....</b>	<b>16</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>IV.HIPÓTESIS.....</b>	<b>20</b>
<b>V. OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. Objetivo general .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>21</b>
<b>VI. MATERIAL .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1. Material biológico.....</b>	<b>22</b>

6.2. Material de campo .....	22
6.3. Material de laboratorio.....	22
6.4. Material de gabinete.....	22
<b>VII. MÉTODO .....</b>	<b>23</b>
7.1 Estrategias de alimentación evaluadas .....	23
7.2. Recolección y transporte de muestras .....	23
7.3. Perfil de ácidos grasos en leche.....	24
7.4. Análisis estadístico.....	24
<b>VIII. LÍMITE DE ESPACIO .....</b>	<b>25</b>
8.1 Unidades de producción .....	25
<b>IX. LÍMITE DE TIEMPO .....</b>	<b>26</b>
<b>X. RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
10.1. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo. ....	27
10.2. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en estabulación.....	28
10.3. Perfil de ácidos grasos de la leche en dos sistemas de alimentación de unidades de producción de leche en pequeña escala. ....	29
10.4. Categorías de ácidos grasos de la leche e índices.....	30
<b>XI. DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>XII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>XIII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Contenido promedio de ácidos grasos de la leche de unidades que realizan pastoreo como principal fuente de alimentación.....	27
Cuadro 2. Contenido promedio de ácidos grasos de la leche de unidades de producción que basan su sistema de alimentación en estabulación.....	28
Cuadro 3. Resultados promedio del perfil de ácidos grasos de las unidades de producción con diferente estrategia de alimentación.....	29
Cuadro 4. Resultados promedio por tipo de categoría y estrategia de alimentación del perfil de ácidos grasos de la leche.....	31
Figura 1. Lipólisis y biohidrogenación de lípidos en rumen.....	17
Figura 2. Formación de los isómeros más importantes del CLA en leche.....	18

## I. INTRODUCCIÓN

La leche es una fuente importante de nutrientes ricos en energía, proteína de alta calidad, minerales y vitaminas, recomendados e indispensables para la alimentación humana. A lo largo del desarrollo de la humanidad la producción de leche ha sido uno de los pilares de la alimentación y muchos países la consideran de gran importancia para el cumplimiento de sus necesidades alimenticias (Hernández *et al.*, 2014).

En México la producción de leche se realiza mediante tres sistemas: el de gran escala ubicado principalmente en el centro-norte del país con mayor infraestructura, el tropical localizado en las costas cuyo fin es la producción de carne y leche, y la lechería en pequeña escala en el Altiplano Central (Fadul *et al.*, 2013).

Los sistemas de producción en pequeña escala aportan aproximadamente el 40% de la producción de leche a nivel nacional, son una fuente importante para el desarrollo rural debido al autoempleo de los campesinos lo que otorga seguridad alimentaria (Hernández *et al.*, 2014). Se caracterizan por sus estrategias de alimentación entre las que se encuentran; la utilización de maíz molido, rastrojo de maíz, algún otro forraje como la alfalfa, concentrados y alimentos balanceados que son adquiridos fuera de las explotaciones, el pastoreo de pastizales nativos (Sainz *et al.*, 2017) y recientemente la implementación de praderas cultivadas destinadas al pastoreo en el Altiplano Central de México (Prospero *et al.*, 2017; Pincay *et al.*, 2016).

En las últimas décadas se han realizado estudios (Bargo *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2014; Vieyra, 2017) para evaluar el efecto de la alimentación sobre la proporción de los ácidos grasos de la leche, mediante la manipulación de diferentes estrategias de alimentación como la adopción del pastoreo de forrajes frescos que además de disminuir los costos de producción por la reducción de la demanda de insumos externos (Arriaga *et al.*, 2002) tiende a modificar el contenido de ácidos grasos en leche, siendo cuantitativamente más importantes los ácidos grasos de cadena media y larga, debido a que representan alrededor del 75 % del total de lípidos en la leche, los cuales provienen de la ingesta en dieta de ácido oleico (C18:1 cis-9),

ácido linoleico (C18:2 cis-9, cis-12) y ácido linolénico (C18:3 cis-9,cis-12, cis-15) (Elgersma *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2015).

Por lo anterior, en la actualidad, el sector agropecuario no está solo encaminado a la gran producción sino a incrementar aspectos como la sustentabilidad y maximizar beneficios de los productos alimenticios entre ellos los de origen animal, aportan a la salud humana, propiciando mejores prácticas de manejo de los animales así como la reducción de daños ambientales. Los lácteos presentan concentraciones bajas de ácidos grasos poliinsaturados y existe un interés en aumentarlos (Hernández *et al.*, 2014) con la inclusión de diversas estrategias de alimentación como el pastoreo o la suplementación con altos contenidos de aceites insaturados (Loor *et al.*, 2005). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dos estrategias de alimentación sobre el contenido de ácidos grasos de la leche de vacas en lactación en los Sistemas de Producción de leche en Pequeña Escala del Altiplano Central de México.

## **II. REVISIÓN LITERARIA**

### **2.1. Producción de leche**

#### **2.1.1 Producción de leche a nivel mundial**

En todo el mundo alrededor de 150 millones de hogares tienen como principal fuente de ingreso a la producción de leche y contribuyen anualmente con 500 millones de toneladas, de esta leche el 85% es de vaca y el 15% de otras especies. En la mayoría de los países en desarrollo la leche es producida por los productores en pequeña escala, se estima que representan del 80 al 90% de las unidades especializadas (Sainz *et al.*, 2017; FAO, 2013). En las últimas décadas, la producción de leche se ha duplicado pasando de 482 millones de toneladas en el año 1982 a 754 millones de toneladas al 2012, los principales productores de leche a nivel mundial son Estados Unidos de América, la Unión Europea, Nueva Zelanda y Australia (FAO, 2013; OCDE-FAO, 2015).

El aumento en el consumo de leche se ve influenciado por el incremento de la población con índices promedio del 70%, mientras que el incremento del consumo representa el 30%, es decir, que conforme siga el crecimiento demográfico la demanda aumentará cada vez más (SE, 2012).

Las proyecciones a nivel mundial en cuanto a la producción de leche, establecen un aumento del 23% del cual 75% provendrá de países en desarrollo y principalmente del continente asiático. El crecimiento en producción a nivel mundial será de 1.8% y se estima que el consumo *per cápita* de productos lácteos en países en desarrollo será de 2% anual (OCDE-FAO, 2015).

#### **2.1.2 Producción de leche a nivel nacional**

En el país se mantiene una tendencia del 1.3% de crecimiento anual a partir del inicio de la década de los noventa, sin embargo, aún con este crecimiento no se puede cubrir más del 80% de la demanda nacional. La fabricación de productos



lácteos ocupa la tercera actividad más importante dentro de la industria alimenticia (SE, 2012).

La producción de leche en México se desarrolla en todo el territorio, principalmente en los estados de Jalisco, Coahuila, Durango, Veracruz, Chihuahua y México, este último ocupa el séptimo lugar en la producción de leche a nivel nacional (SE, 2012). Se tienen bien identificados tres sistemas de producción, el intensivo que esta principalmente en el norte del país, la lechería familiar que se encuentra en parte del norte y centro del país, y la lechería de doble propósito que abarca la zona centro y mayormente la zona sur del país “zonas tropicales” (ICAMEX, 2015).

La producción de leche en México es insuficiente ya que el crecimiento poblacional es más grande que el crecimiento de producción, aunado a la importación masiva de leche descremada en polvo, la producción nacional debe buscar alternativas para producir leche con características nutricionales benéficas para el consumidor como la reducción de ácidos grasos saturados a bajo costo. Para lograr esto se deben reducir los costos de alimentación, ya que representan la mayor parte de los insumos, por ejemplo; los alimentos balanceados comerciales, rastrojos o henos que generalmente son adquiridos fuera de las explotaciones (Arriaga *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2015).

## **2.2. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala**

La producción en pequeña escala aporta el 37% de la producción nacional y representa más del 78% de las granjas lecheras especializadas, lo que la convierte en una gran oportunidad de autoempleo en las áreas rurales, por ser una alternativa de subsistencia desde tiempos remotos. Estos sistemas de producción se caracterizan por realizar sus actividades agropecuarias en una superficie promedio de 4.25 hectáreas (Pincay *et al.*, 2016; Fadul *et al.*, 2013) donde la venta de leche representa una parte o todos los ingresos de las familias y al emplear mano de obra familiar la valorizan por lo que este tipo de producción busca aliviar los problemas de pobreza en las áreas rurales de África y Sudamérica, garantizar la seguridad alimentaria y evitar la migración de las familias a las grandes urbes (Martínez *et al.*, 2015; Espinoza *et al.*, 2007).

En estos sistemas el ganado es producto de cruza de razas; Pardo suizo, criollo y mayormente Holstein, cuentan con un mínimo de 3 hasta 35 vacas más sus reemplazos (Fadul *et al.*, 2013) la alimentación se basa en rastrojo de maíz, maíz molido, pastoreo de pastizales nativos y últimamente la introducción de praderas cultivadas en el altiplano central (Sainz *et al.*, 2017; Pincay *et al.*, 2016).

Para una viabilidad a largo plazo de estos sistemas, deben ser sustentables social, económica y ambientalmente, buscando armonía con la actividad pecuaria, para aumentar y mejorar la base de los recursos naturales con los que se cuenta. Todo esto con el fin de un bienestar rural (Arriaga *et al.*, 1999).

### **2.3. Estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala del Noroeste del Estado de México**

La alimentación del ganado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) varía entre unidades de producción de acuerdo con los recursos naturales disponibles destinados para la alimentación del ganado lechero; en el Noroeste del Estado de México se basa principalmente en el forraje obtenido de pastizales nativos (Sainz *et al.*, 2017), praderas cultivadas o asociadas con leguminosas (Pincay *et al.*, 2016), y de la producción de maíz ya sea en forma de ensilado o paja, además, de suplementar con concentrados comerciales adquiridos fuera de la unidad de producción (Espinoza *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2015; Alfonso *et al.*, 2012). Sin embargo, deben considerarse aspectos como el valor nutritivo de los alimentos al ser una cuestión amplia que tiene dependencia de varios factores, como la composición química del alimento y su digestibilidad lo que tiene un efecto directo sobre la respuesta en la producción de leche del animal y el contenido de ácidos grasos (Hernández *et al.*, 2014).

Los pastos verdes son ideales para el ganado lechero ya que pueden ser consumidos directamente de la pradera reduciendo la mano de obra y los insumos requeridos para el manejo tradicional de corte y acareo (Martínez *et al.*, 2015; Pincay *et al.*, 2016;). Además, diversos estudios reportan que elevar naturalmente los niveles de ácidos grasos en leche puede lograrse al suministrar forrajes frescos en la dieta debido a que contienen una alta proporción de ácidos grasos linoléico

(C18:3) ), palmítico (C16:0), linoleico (C18:2) y en menor proporción esteárico (C18:0) y oleico (C18:1) los cuales contribuyen con alrededor del 90% del total de ácidos grasos en el forraje representando el 60%, 16.5%, 11%, 1.2% y 2% respectivamente (Morales *et al.*, 2011; Vibart *et al.*, 2008; Vieyra, 2017).

Esposito *et al.* (2014) mencionan que la leche de los sistemas de producción que basan la alimentación del ganado en pastoreo presenta niveles más altos de Ácido Linoleico Conjugado (CLA C18:2, cis-9, trans-11) y ácido vaccenico (C18:1 trans-11) y niveles reducidos de ácido palmítico (C16:0), también se ha reportado que el pastoreo genera cualidades organolépticas específicas a los productos lácteos proporcionando una imagen saludable a la leche (Esposito *et al.*, 2014; Elgersma *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2014). Al respecto Hernández *et al.* (2014) en un experimento con vacas lecheras específicamente comparando dos estrategias de alimentación pastoreo *versus* forraje conservado y grano, reportan que la leche de las vacas que consumían forraje fresco presentaba cinco veces más contenido de ácido graso linoleico conjugado que la leche de las vacas que consumían ración mezclada, en contraste otros estudios han evaluado la inclusión de fuentes ricas en ácidos grasos insaturados como las semillas de oleaginosas; donde a largo plazo se reduce tanto la producción de leche como el contenido de proteína debido a la disminución de microorganismos ruminales que este tipo de alimentos ocasiona, por lo tanto una manera natural de elevar los ácidos grasos insaturados y el CLA, es elevar el consumo de forraje rico en omegas n-3 y ácidos grasos poliinsaturados (Bilik *et al.*, 2012).

El planteamiento de estrategias alimenticias para la modificación nutritiva de la leche es de gran importancia, principalmente para la grasa, ya que es el producto más consumido a nivel mundial (OCDE-FAO, 2015).

#### **2.4. La leche de vaca**

La leche como definición hace referencia al producto que surge de la secreción normal de la glándula mamaria, obtenida por uno o varios ordeños al día. Este producto aportara nutrientes básicos para la alimentación humana. La composición no es estable y puede verse afectada por diversos factores internos y externos como

la raza, periodo de lactación, salud, edad de la vaca, hora del ordeño, estación del año, temperatura (Vibart *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2011; Vieyra, 2017) y alimentación, esta última representa una oportunidad de modificar el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de la leche (Bauman *et al.*, 1999; Buccioni *et al.*, 2012; Vieyra, 2017). La leche de vaca es un alimento de primera necesidad, ya que tiene un alto valor nutricional. Los mamíferos dependen en el primer periodo de vida, y el hombre la ha aprovechado en el producto natural y en subproductos como el queso, yogurt y mantequilla (Agudelo y Bedoya, 2005).

Los productos lácteos representan de un 15 hasta un 20% de la ingesta diaria de grasa de un individuo de la cual el 23 al 33% es grasa saturada y un 15% colesterol, en una dieta promedio en Estados Unidos de América, mientras que en México los lácteos aportan 34% del total de grasas saturadas ingeridas por día (Elgersma *et al.*, 2006; Dommarco *et al.*, 2012).

#### **2.4.1. Composición de la leche de vaca**

La leche está constituida por 82% de agua, de sólidos totales tiene 12% y los sólidos no grasos están próximos al 9%. Tiene como principal proteína a la caseína que representa el 80% del total de proteínas que contiene y el otro 20% son las proteínas séricas, es una fuente de calcio, fósforo y riboflavina (vitamina B12), contribuye también a los requerimientos de vitamina A y B1 (tiamina). Los lípidos y la lactosa representan el aporte energético de la leche (Agudelo y Bedoya, 2005).

En la leche los lípidos se encuentran envueltos dentro de glóbulos grasos, la síntesis de triglicéridos se inicia en el retículo endoplasmático rugoso, aquí se forma el núcleo del glóbulo de grasa que está compuesto en 99.8% de triglicéridos, con menor cantidad de colesterol y vitaminas (Angulo *et al.*, 2009).

La grasa es el principal componente energético que se encuentra en la leche, 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 relaciona con la cantidad de energía y proteína en la dieta, la grasa se sintetiza en el retículo sarcoplasmático liso donde se concentra como glóbulos que serán liberados a la luz del alvéolo como triglicéridos (Hernández *et al.*, 2014; Vieyra, 2017).

## 2.5. Perfil de ácidos grasos en la leche de vaca

En la actualidad se ha establecido entre los consumidores de alimentos de origen animal una preferencia más allá del valor nutricional orientada a la búsqueda de efectos positivos sobre la salud humana y prevención de enfermedades a través de los microcomponentes de la grasa de los productos lácteos (Bauman *et al.*, 1999). En la grasa de la leche se encuentran ácidos grasos poliinsaturados; el CLA cuyo principal isómero es el ácido graso ruménico (C18:2 c9 t 11) tiene la capacidad de reducir la carcinogénesis, prevenir la diabetes mellitus, y la aterosclerosis, debido a que actúa como inmunomodulador en la reducción de la grasa corporal, por lo que es objeto de diversos estudios (Ellis *et al.*, 2006; Angulo *et al.*, 2009; Vieyra, 2017).

La leche de vaca está conformada en un 98% por triglicéridos que contienen de 4 a 18 átomos de carbono los cuales están constituidos por una unidad de glicerol en el que se encuentran esterificados tres ácidos grasos (sn-1, sn-2 y sn-3) y en pequeñas cantidades por mono, di y triglicéridos (ácidos grasos libres), en sangre menos del 2% de ácidos grasos se convierte en lípidos molares (fosfoglicéridos, esfingolípidos y colesterol) (Hernández *et al.*, 2014; Angulo *et al.*, 2009). Los lípidos molares tienen variaciones en su estructura, encontrándose tres grupos en la grasa de la leche bovina:

- El primer grupo son los fosfoglicéridos, estos son los más abundantes e incluyen al ácido fosfatídico.
- El segundo grupo lo conforman los esfingolípidos y glucolípidos.
- En el tercer grupo se encuentra el colesterol un lípido esteroide que está formado por una molécula de ciclopentanoperhidrofenantreno (Angulo *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2014).

La grasa de la leche bovina está constituida por 70% de ácidos grasos saturados, 25% monoinsaturados y 5% de poliinsaturados, menos del 40% de ácidos grasos saturados están dentro de la categoría de ser poco saludables. Estudios reportan que el contenido de grasa en leche puede ser modificado al manipular la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados por medio de la dieta (Angulo *et al.*, 2009; Elgersma *et al.*, 2006; Vieyra, 2017).

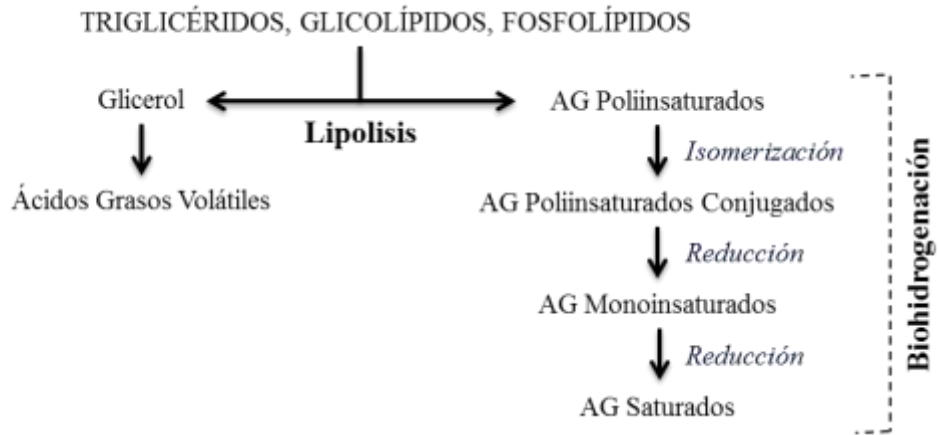
## 2.6. Metabolismo de lípidos

Se ha reportado que los ácidos grasos se sintetizan mediante tres fuentes principales:

- 1) Ácidos grasos esterificados en los triglicéridos de las lipoproteínas que circulan en la sangre y vendrán de la dieta y el metabolismo ruminal.
- 2) Ácidos grasos no esterificados estarán en la sangre pero provienen de las reservas corporales.
- 3) Síntesis de *novo* en la célula epitelial mamaria.

Los ácidos grasos de cadena corta son sintetizados en la glándula mamaria mientras que los de cadena larga provienen de la dieta, en el rumen se realizan dos procesos consecutivos a los lípidos como puede observarse en la Figura 1. La lipólisis consiste en la liberación de los ácidos grasos del éster y la biohidrogenación es la reducción de dobles enlaces y la saturación de hidrógenos en la cadena del ácido graso (Vieyra, 2017; Palmquist y Stelwagen, 2006). Las vías utilizadas y la tasa de biohidrogenación dependen en gran medida de la población microbiana, que a su vez está influenciada por la composición de la dieta y el ambiente ruminal. El aumento de ácidos grasos insaturados y la fermentación de la dieta retardan la ruta de biohidrogenación normal desplazándola a vías alternas (Jenkins *et al.*, 2014).

La mitad de la digestión de los lípidos se asocia a la porción líquida del rumen la otra mitad a los microorganismos adheridos a la superficie del alimento. La población microbiana que se encuentra en el rumen transforma los ácidos grasos poliinsaturados a ácidos grasos saturados o isómeros trans de ácidos grasos monoinsaturados (Hernández *et al.*, 2014; Castillo *et al.*, 2013). A través de la lipólisis, los lípidos ingeridos se hidrolizan por las lipasas microbianas, estas hidrolizan los enlaces éster en lípidos a base de glicerol provocando la liberación de ácidos grasos libres y glicerol que posteriormente se transforman en ácidos grasos volátiles (Jenkins *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Lipólisis y biohidrogenación de lípidos en rumen (Vieyra, 2017).

Los ácidos grasos que escapan a la biohidrogenación pueden llegar a la glándula mamaria y excretarse en la leche, se han identificado más de 400 ácidos grasos pero el de mayor relevancia para la salud humana es el Acido linoleico conjugado CLA, que tiene una serie de isómeros posicionales (7,9; 8,10; 9,11; 10,1 y 11,13) y geométricos (*cis* o *trans*) del ácido linoleico (C18:2 c9 c12). Los isómeros del CLA presentes en la leche pueden tener dos orígenes en menor proporción por la isomerización en la dieta del ácido linoleico (C18:2 c9 c12) que escapa de la biohidrogenación y la gran mayoría que se forma en la glándula mamaria por acción de la enzima  $\Delta^9$  Desaturasa que utiliza el ácido graso vaccénico (C18:1 t 11) como sustrato (Vieyra, 2017) como se presenta en la Figura 2.

Después del proceso de biohidrogenación una porción variable es recuperada como ácido vaccénico (C18:1 trans-11) este es importante en la biohidrogenación del ácido linoleico (C18:2n-6) y linolénico (C18:3n-3). Aproximadamente el 70% del ácido ruménico se origina por la conversión de ácido vaccénico en la glándula mamaria y otros tejidos (Hernández *et al.*, 2014).





### **III. JUSTIFICACIÓN**

La alimentación del ganado lechero en los sistemas de producción de leche en pequeña escala durante la época de lluvias se basa principalmente en el pastoreo de pastizales nativos o praderas cultivadas y durante la época seca de la suplementación con concentrados balanceados comerciales con la finalidad satisfacer las necesidades nutricionales de las vacas en lactación y mantener una producción diaria. Sin embargo, más allá de la evaluación del desempeño, productivo de los bovinos lecheros, del contenido de componentes mayoritarios de la leche y de análisis económico, no se han realizado suficientes estudios respecto al efecto de las diferentes estrategias de alimentación sobre el contenido de ácidos grasos de la leche, específicamente comparando el efecto de las estrategias de alimentación sobre la leche de vacas en pastoreo y la leche de vacas en estabulación con la utilización de concentrados comerciales y el corte y acarreo de praderas es la base de la alimentación en estos sistemas de producción.

#### **IV.HIPÓTESIS**

El perfil de ácidos grasos de la leche de vaca en los sistemas de producción de leche en pequeña escala se verá afectado por el tipo de estrategia de alimentación destinada para las vacas en lactación.

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Evaluar el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas con distinto sistema de alimentación.

### **5.2. Objetivos específicos**

Analizar el contenido de ácidos grasos de la leche de vacas en producción en pastoreo y estabulación.

Determinar el contenido total de ácidos grasos, en función de su grado de saturación procedente de la leche de vacas en pastoreo y estabulación.

Determinar el contenido de ácidos grasos benéficos, especialmente ácido ruménico y vaccénico en la leche de vacas en lactación alimentadas en pastoreo y estabulación.

## **VI. MATERIAL**

### **6.1. Material biológico**

Bovinos hembras en lactación.

Leche fresca.

### **6.2. Material de campo**

Frascos de plástico de 50 mL, overol, cucharones, etiquetas, hieleras, rotuladores.

### **6.3. Material de laboratorio**

Reactivos varios, balanza analítica, frascos de plástico, etiquetas, marcadores permanentes, espátula, centrifuga, microcentrifuga, viales de vidrio ambar, viales eppendorf, pipetas pasteur, filtros, micropipetas, puntas, cromatografo, campana de extracción, estándares de ácidos grasos (Supelco 37 Component FAME Mix, transvaccenic acid y linoleic acid conjugated de SIGMA-ALDRICH), vortex, etiquetas, marcadores permanentes, bata blanca, guantes, cubrebocas, lentes de protección, zapatos cerrados, mascarilla y bitácora.

### **6.4. Material de gabinete**

Libros, artículos científicos, computadora con Windows y programas Microsoft Word y Microsoft Excel, libretas de campo, marcadores permanentes, bolígrafos, lápices y hojas.

## VII. MÉTODO

El trabajo se llevó a cabo en 10 unidades de producción de leche en pequeña escala propiedad de productores que colaboran en el proyecto “Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala” (Clave UAEM 1935/2011C) financiado por CONACyT a través del enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología ganadera (Conroy, 2005).

### 7.1 Estrategias de alimentación evaluadas

Con las 10 unidades de producción seleccionadas se evaluaron dos sistemas de alimentación; cinco de ellas con un sistema de alimentación basado en pastoreo, el tamaño promedio del hato de las unidades de producción evaluadas es de 6 a 18 vacas, con una producción promedio de 12.6 kg por vaca por día. Las vacas de estos sistemas permanecen en pastoreo de 7 a 14 horas y la alimentación se suplementa con 3.3 a 6.6 kg por vaca por día de concentrado comercial con 20% de PC Base húmeda (BH), además de rastrojo de maíz, avena, soya y maíz en sus subproductos (ensilado, masilla, molido) para complementar la alimentación de acuerdo a las prácticas de manejo usuales de cada productor en función de la disponibilidad de recursos naturales y económicos. Las cinco unidades de producción en estabulación en promedio cuentan con 7 a 17 vacas, con una producción promedio de 13.8 kg de leche por vaca por día, donde reciben de 4 a 8 kg de concentrado con 20% PC en BH, pradera de corte (*Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*), alfalfa, maíz molido y rastrojo de maíz.

### 7.2. Recolección y transporte de muestras

En cada una de las diez unidades de producción se recolectó una muestra de 50 ml representativa de todas las vacas del hato, se mantuvo en refrigeración (4°C) y se transportó al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales para su posterior análisis.

### 7.3. Perfil de ácidos grasos en leche

La determinación del perfil de ácidos grasos de la leche se realizó de acuerdo con la técnica descrita por Christie (1982), con modificaciones de Chouinard *et al.* (1999) utilizando hexano como solvente orgánico y previa extracción de la grasa por centrifugación según Feng *et al.* 2004.

Los esteres metílicos de los ácidos grasos fueron cuantificados por el cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Clarus 500) con una columna capilar (SUPELCO TM-2560). Utilizando nitrógeno como gas acarreador, el detector e inyector se mantuvo a 260°, la temperatura inicial del horno fue de 140°C por 5 minutos aumentando 4° C por minuto hasta llegar a 240°C.

Cada pico fue identificado de acuerdo con los tiempos de retención de estándares de esteres metílicos (Supelco 37 Component FAME Mix, trans-vaccenic acid y linoleic acid conjugated de SIGMA-ALDRICH) en un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Clarus 500), utilizando una columna capilar de 100m x 0.25mm x 0.2 µm marca SUPELCO TM-2560. Las condiciones del cromatógrafo fueron las señaladas por Castro *et al.* (2014). Los valores de ácidos grasos fueron reportados en g/100 g del total de ácidos grasos.

### 7.4. Análisis estadístico

El análisis de los resultados se realizó mediante una prueba de “t” de Student para muestras independientes (Scheffler, 1979), debido a que no existe ninguna relación entre las vacas y las Unidades de Producción muestreadas utilizando la media de las diferencias del contenido de ácidos grasos entre ambas estrategias de alimentación. Los calculos se realizaron con la siguiente formula:

$$t = \frac{\text{Diferencia de las medias}}{EEDM}$$

Dónde:

EEDM = Error estándar de la diferencia de las medias.

## **VIII. LÍMITE DE ESPACIO**

### **8.1 Unidades de producción**

Las muestras de leche fresca fueron recolectadas en el mes de junio de 2016 en diez unidades de producción de leche en pequeña escala con las que se trabaja a través del enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología ganadera (Conroy, 2005) pertenecientes al municipio de Aculco de Espinoza, Estado de México el cual tiene una superficie de 465.7 kilómetros cuadrados, y representa el 2.18% del total estatal (Fadul *et al.*, 2013), ubicado al noroeste del Estado de México, colinda al norte con el municipio de Polotitlán y el Estado de Querétaro, al sur con el municipio de Acambay, al este con el municipio de Jilotepec y al oeste igualmente con el Estado de Querétaro. El clima es templado sub-húmedo con temperaturas entre los 10° y 18°C, y una precipitación anual entre 700 a 1000 mm (INEGI, 2009).

Los análisis para la determinación del perfil de ácidos grasos se realizaron en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales dependencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicados en el campus universitario “El Cerrillo”, Toluca Estado de México.

## IX. LÍMITE DE TIEMPO

La recolección de muestras de leche fresca se realizó durante el mes de junio de 2016.

El análisis, procesamiento de muestras e interpretación de los resultados se realizó en el siguiente orden:

<b>Mes</b>	<b>Actividad</b>
Junio de 2016	Recolección y transporte de muestras
Julio de 2016	Centrifugación, metilación y almacenamiento de muestras
Agosto de 2016	Revisión de literatura
Septiembre de 2016	Capacitación, organización de trabajo y material de laboratorio
Octubre y Noviembre de 2016	Estandarización de técnica para la determinación del perfil de ácidos grasos en leche
Diciembre de 2016 y Enero de 2017	Interpretación de los cromatogramas y análisis estadístico de los resultados
Febrero a Septiembre de 2017	Redacción del trabajo escrito



## X. RESULTADOS

### 10.1. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo.

El cuadro 1 muestra el promedio, valores máximos y mínimos correspondientes a los resultados obtenidos del perfil de ácidos grasos de la leche (g / 100 g) de cinco unidades de producción que basan la alimentación de las vacas en pastoreo.

**Cuadro 1. Contenido promedio de ácidos grasos de la leche de unidades que realizan pastoreo como principal fuente de alimentación.**

ÁCIDOS GRASOS	UNIDADES DE PRODUCCION PASTOREO					MEDIA	DESV	MIN	MÀX
	1	2	3	4	5				
<b>C4:0</b>	3.32	3.19	3.88	3.74	3.27	3.48	0.31	3.19	3.88
<b>C6:0</b>	1.87	2.43	2.47	2.01	2.29	2.21	0.20	1.87	2.47
<b>C8:0</b>	0.94	0.97	1.26	1.05	1.35	1.11	0.18	0.94	1.35
<b>C10:0</b>	1.87	2.26	2.32	2.38	2.98	2.36	0.40	1.87	2.98
<b>C11:0</b>	0.20	0.12	0.10	0.10	0.17	0.13	0.04	0.10	0.20
<b>C12:0</b>	2.00	2.46	2.28	2.77	3.07	2.51	0.42	2.00	3.07
<b>C13:0</b>	0.09	0.10	0.11	0.09	0.11	0.10	0.01	0.09	0.11
<b>C14:0</b>	10.39	10.34	9.31	10.89	12.11	10.60	1.02	9.31	12.11
<b>C14:1</b>	0.70	0.33	0.49	0.53	0.59	0.52	0.14	0.33	0.70
<b>C15</b>	1.27	0.73	0.61	0.91	0.79	0.86	0.25	0.61	1.27
<b>C15:1</b>	0.29	0.24	0.19	0.12	0.10	0.18	0.08	0.10	0.29
<b>C16:0</b>	32.71	29.80	26.75	29.77	31.00	30.00	2.18	26.70	32.71
<b>C16:1</b>	1.79	1.27	0.91	1.49	1.68	1.42	0.35	0.91	1.79
<b>C17:0</b>	0.69	0.48	0.35	0.55	0.33	0.48	0.15	0.33	0.69
<b>C17:1</b>	0.16	0.44	0.07	0.13	0.18	0.19	0.14	0.07	0.44
<b>C18:0</b>	11.99	15.44	15.18	13.88	10.42	13.38	2.15	10.42	15.44
<b>C18:1t11</b>	1.96	0.74	4.14	2.15	2.83	2.36	1.25	0.74	4.14
<b>C18:1n9c</b>	24.57	24.70	25.74	24.43	22.64	24.41	1.12	22.64	25.74
<b>C18:2n6t</b>	0.13	0.04	0.11	0.10	0.18	0.11	0.05	0.04	0.18
<b>C18:2n6c</b>	1.00	1.86	1.98	1.10	1.46	1.48	0.44	1.00	1.98

<b>C18:3n3</b>	0.31	0.25	0.36	0.40	0.39	0.34	0.06	0.25	0.39
<b>C18:2c9t11</b>	0.76	1.13	1.06	0.69	1.42	1.01	0.30	0.69	1.42
<b>C20:0</b>	0.0000002	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.06
<b>C23:0</b>	0.06	0.03	0.03	0.10	0.15	0.07	0.05	0.03	0.10
<b>Otros</b>	0.94	0.61	0.29	0.62	0.49	0.06	0.24	0.29	0.94
<b>AGS</b>	67.48	68.50	64.68	68.28	68.11	67.41	1.57	64.68	68.50
<b>AGM</b>	29.57	27.88	31.62	29.00	28.14	29.24	1.49	27.88	31.62
<b>AGPI</b>	2.96	3.64	3.70	2.73	3.75	3.40	0.47	2.73	3.75

**1, 2, 3, 4, 5:** Representa cada una de las unidades de producción; **DESV:** Desviación estándar; **MIN:** Valor mínimo correspondiente al ácido graso; **MÀX:** valor máximo correspondiente al ácido graso.

## 10.2. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en estabulación.

El cuadro 2 muestra el promedio, valores máximos y mínimos correspondientes a los resultados obtenidos del perfil de ácidos grasos de la leche (g / 100 g) de cinco unidades de producción que basan la alimentación en estabulación.

**Cuadro 2. Contenido promedio de ácidos grasos de la leche de unidades de producción que basan su sistema de alimentación en estabulación.**

UNIDADES DE PRODUCCIÓN ESTABULADO									
ÁCIDO GRASO	1	2	3	4	5	MEDIA	DESV	MÍN	MÀX
<b>C4:0</b>	3.00	3.08	3.39	3.75	3.74	3.39	0.35	3.00	3.75
<b>C6:0</b>	2.50	2.34	2.49	1.82	2.37	2.30	0.28	1.82	2.50
<b>C8:0</b>	1.39	1.02	1.08	0.91	1.51	1.18	0.26	0.91	1.51
<b>C10:0</b>	2.72	2.10	1.99	1.58	2.83	2.24	0.52	1.58	2.83
<b>C11:0</b>	0.27	0.20	0.19	0.10	0.06	0.16	0.08	0.06	0.27
<b>C12:0</b>	3.25	2.32	2.18	1.82	3.23	2.56	0.65	1.82	3.25
<b>C13:0</b>	0.09	0.30	0.09	0.05	0.11	0.13	0.10	0.05	0.30
<b>C14:0</b>	13.32	11.32	10.51	8.44	12.54	11.23	1.90	8.44	13.32
<b>C14:1</b>	0.73	0.62	0.44	0.52	0.65	0.59	0.11	0.44	0.73
<b>C15</b>	0.93	1.29	1.15	0.63	0.66	0.93	0.29	0.63	1.29

<b>C15:1</b>	0.26	0.36	0.33	0.13	0.08	0.23	0.12	0.08	0.36
<b>C16:0</b>	32.43	32.99	29.24	29.48	31.98	31.22	1.74	29.24	32.99
<b>C16:1</b>	1.26	1.51	1.86	2.16	1.26	1.61	0.39	1.26	2.16
<b>C17:0</b>	0.51	0.54	0.76	0.54	0.33	0.54	0.15	0.33	0.76
<b>C17:1</b>	0.16	0.24	0.38	0.17	0.10	0.21	0.11	0.10	0.38
<b>C18:0</b>	11.84	11.31	14.86	11.96	9.78	11.95	1.84	9.78	14.86
<b>C18:1t11</b>	0.63	1.12	0.72	2.02	3.13	1.52	1.05	0.63	3.13
<b>C18:1n9c</b>	21.48	24.56	25.62	31.24	22.14	25.01	3.88	21.48	31.24
<b>C18:2n6t</b>	0.15	0.23	0.08	0.08	0.13	0.13	0.06	0.08	0.23
<b>C18:2n6c</b>	1.36	1.00	1.16	1.14	1.36	1.20	0.16	1.00	1.36
<b>C18:3n3</b>	0.14	0.14	0.23	0.14	0.28	0.19	0.07	0.14	0.28
<b>C18:2c9t11</b>	1.06	0.97	0.70	0.75	1.08	0.91	0.18	0.70	1.08
<b>C20:0</b>	0.02	0.05	0.04	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00	0.05
<b>C23:0</b>	0.02	0.01	0.01	0.09	0.05	0.04	0.03	0.01	0.09
<b>Otros</b>	0.49	0.38	0.50	0.51	0.58	0.50	0.07	0.38	0.58
<b>AGS</b>	72.35	68.95	68.04	61.20	69.23	68.00	4.11	61.20	72.35
<b>AGMI</b>	24.65	28.50	29.47	36.38	27.45	29.30	4.35	24.65	36.38
<b>AGPI</b>	3.00	2.55	2.48	2.45	3.30	2.80	0.38	2.45	3.30

**1, 2, 3, 4, 5:** Representa cada una de las unidades de producción; **DESV:** Desviación estándar; **MIN:** Valor mínimo correspondiente al ácido graso; **MÁX:** valor máximo correspondiente al ácido graso.

### 10.3. Perfil de ácidos grasos de la leche en dos sistemas de alimentación de unidades de producción de leche en pequeña escala.

El cuadro 3 muestra los resultados correspondientes al perfil de ácidos grasos promedio de las dos estrategias de alimentación de los sistemas de producción de leche en pequeña escala (pastoreo y estabulación).

**Cuadro 3. Resultados promedio del perfil de ácidos grasos de las unidades de producción con diferente estrategia de alimentación**

ÁCIDO GRASO	ESTRATEGIA		EEM	P
	PASTOREO	ESTABULADO		
<b>C4:0</b>	3.48	3.39	0.16	0.620 <sup>NS</sup>
<b>C6:0</b>	2.21	2.30	0.14	0.563 <sup>NS</sup>
<b>C8:0</b>	1.11	1.18	0.11	0.583 <sup>NS</sup>

<b>C10:0</b>	2.36	2.24	0.27	0.684 <sup>NS</sup>
<b>C11:0</b>	0.14	0.16	0.04	0.526 <sup>NS</sup>
<b>C12:0</b>	2.52	2.56	0.35	0.907 <sup>NS</sup>
<b>C13:0</b>	0.10	0.13	0.04	0.556 <sup>NS</sup>
<b>C14:0</b>	10.61	11.23	0.87	0.518 <sup>NS</sup>
<b>C14:1</b>	0.53	0.59	0.06	0.342 <sup>NS</sup>
<b>C15:0</b>	0.86	0.93	0.20	0.743 <sup>NS</sup>
<b>C15:1</b>	0.19	0.23	0.04	0.287 <sup>NS</sup>
<b>C16:0</b>	30.01	31.22	0.71	0.161 <sup>NS</sup>
<b>C16:1</b>	1.43	1.61	0.29	0.566 <sup>NS</sup>
<b>C17:0</b>	0.48	0.54	0.09	0.595 <sup>NS</sup>
<b>C17:1</b>	0.20	0.21	0.08	0.877 <sup>NS</sup>
<b>C18:0</b>	13.38	11.95	0.74	0.126 <sup>NS</sup>
<b>C18:1 trans 11</b>	2.36	1.52	0.71	0.304 <sup>NS</sup>
<b>C18:1 cis n-9</b>	24.42	25.01	1.65	0.738 <sup>NS</sup>
<b>C18:2 trans9, trans12 n-6</b>	0.11	0.13	0.04	0.640 <sup>NS</sup>
<b>C18:2 cis9,cis12 n-6</b>	1.48	1.20	0.24	0.318 <sup>NS</sup>
<b>C20:0</b>	0.01	0.02	0.007	0.426 <sup>NS</sup>
<b>C18:3 cis9, cis12, cis15 n-3</b>	0.34	0.19	0.028	0.005*
<b>C18:2 cis-9, trans 11 (CLA)</b>	1.01	0.91	0.13	0.470 <sup>NS</sup>
<b>C23:0</b>	0.07	0.04	0.01	0.079 <sup>NS</sup>
<b>Otros AG</b>	0.59	0.49	0.12	0.448 <sup>NS</sup>

EEM= Error estándar de media; P=<sup>NS</sup> P>0.05, P=\* P<0.05

#### 10.4. Categorías de ácidos grasos de la leche e índices

El cuadro 4 muestra los resultados correspondientes al perfil de ácidos grasos por categoría, grado de saturación, índice de aterogenicidad y actividad  $\Delta^9$  Desaturasa.

Los ácidos grasos se clasifican en cadena corta, media y larga en función del número de carbonos y por el número de enlaces son saturados los que no presentan dobles enlaces, insaturados los que tienen uno o más dobles enlaces y estos se subdividen en dos monoinsaturados, con un sólo doble enlace, y poliinsaturados, con más de un doble enlace.

**Cuadro 4. Resultados promedio por tipo de categoría y estrategia de alimentación del perfil de ácidos grasos de la leche**

CATEGORÍA DE ÁCIDOS GRASOS	ESTRATEGIA		EEM	P
	PASTOREO	ESTABULADO		
<b>Longitud de cadena</b>				
Cadena Corta (C4:0 – C12:0)	11.82	11.83	0.46	0.29 <sup>NS</sup>
Cadena Media (C13:0 – C18:0)	57.79	58.63	1.60	0.57 <sup>NS</sup>
Cadena Larga (C18:1 t11- C23:0)	30.39	29.54	1.99	0.68 <sup>NS</sup>
<b>Grado saturación</b>				
%AGS	67.42	67.96	2.06	0.80 <sup>NS</sup>
%AGI	32.66	32.09	2.06	0.80 <sup>NS</sup>
%AGMI	29.24	29.31	2.05	0.97 <sup>NS</sup>
% AGPI	3.36	2.71	0.19	0.02*
<sup>1</sup> Índice aterogenicidad	1.86	1.90	0.19	0.83 <sup>NS</sup>
<b><sup>2</sup>Δ<sup>9</sup> Desaturasa</b>				
C14	0.05	0.15	0.09	0.35 <sup>NS</sup>
C16	0.04	0.10	0.04	0.29 <sup>NS</sup>
C18	0.65	0.67	0.02	0.29 <sup>NS</sup>
CLA	0.33	0.32	0.08	0.90 <sup>NS</sup>

**AGS=** Ácidos grasos saturados; **AGI=** Ácidos grasos insaturados; **AGMI=** Ácidos grasos monoinsaturados; **AGPI=** Ácidos grasos poliinsaturados; **EEM=** Error Estándar de la media; **P=NS** P>0.05, **P=\*** P<0.05

<sup>1</sup>Calculado según Ulbricht y Southgate (1991) como  $(C12 + 4 * C14 + C16) / (\sum \text{ácidos grasos insaturados})$ .

<sup>2</sup>Calculado para cada par de ácidos grasos de acuerdo con Kelsey *et al.* (2003) como (producto de Δ<sup>9</sup>-desaturasa) / (producto de Δ<sup>9</sup>-desaturasa + sustrato de Δ<sup>9</sup>-desaturasa); por ejemplo, para C14: C14: 1 / (C14: 1 + C14: 0).

En el presente estudio la diferencia del promedio de ácidos grasos saturados fue de 0.59 g / 100 g AG, de ácidos grasos monoinsaturados de 0.06 g / 100 g AG para vacas en estabulación, mientras que la diferencia del promedio de los ácidos grasos poliinsaturados fue de 0.6 g / 100 g AG más para vacas en pastoreo (Cuadro 4). El

promedio de las diferencias de medias para ácidos grasos de cadena corta fue de 0.08 g / 100 g de grasa encontrándose el mayor rango de diferencia en el C10:0 con 0.12 g / 100 g AG más para vacas en pastoreo que en estabulación, para los ácidos grasos de cadena media el promedio fue de 0.38 g / 100 g AG encontrándose la mayor diferencia en C16:0 con 1.22 g / 100 g AG más para la leche de las vacas en estabulación y C18:0 con 1.43 g / 100 g AG más para vacas en pastoreo.

Con respecto a los ácidos grasos de cadena larga el promedio fue de 0.23 g / 100 g AG, presentándose en el C18:1 t11 la mayor diferencia con 0.84 g / 100 g AG para vacas en pastoreo.

## XI. DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio son similares para la mayoría de los ácidos grasos, esto se debe a que las dietas complementarias con las prácticas usuales de manejo en las praderas ya sea bajo un sistema de pastoreo o de corte y acarreo son muy similares. Los niveles de ácidos grasos saturados y monoinsaturados fueron ligeramente superiores para vacas que se encontraban en estabulación pero no existieron diferencias estadísticamente significativas, esto conlleva a niveles superiores de ácidos grasos poliinsaturados en vacas en pastoreo donde si existieron diferencias significativas.

De acuerdo a los resultados de Morales *et al.* (2010; 2011) al aumentar las horas de pastoreo se reducen los niveles de ácidos grasos saturados, se incrementan los niveles de ácidos grasos poliinsaturados. Algunos estudios (Elgersma *et al.*, 2006; Bargo *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2010) mencionan que las vacas alimentadas con pastoreo tienden a ingerir más C18:3 n-3 y C18:2 n-6 que las vacas que tienen una alimentación en estabulación donde en su mayoría se suplementan con concentrado debido a que se reduce el consumo de forraje fresco en las vacas estabuladas, lo que repercute en niveles más bajos de AGPI en leche.

Al ingerir una mayor cantidad de C18:3 n-3 y C18:2 n-6 en la dieta se aumentan CLA C18:2 c9, t11 y C18:1 t11 en leche según lo reportado por Morales *et al.* (2011) y Vieyra, (2017) ya que existe una relación entre la cantidad de pasto ingerido y los niveles de CLA en leche por el proceso de biohidrogenación y la actividad de la  $\Delta^9$  Desaturasa en la glándula mamaria. En el presente estudio se obtuvieron niveles altos para vacas en pastoreo de C18:2 n-6 (1.48 g /100 g AG) , C18:2 c9 t11 (1.01 g /100 g AG) respecto lo reportado por Vieyra, (2017) 1.32 y 0.82 g / 100 g AG y Castro *et al.* (2014) 1.24 y 0.81 g/100 g AG respectivamente, y niveles semejantes a lo reportado por Rugoho *et al.* (2017) 1.12 y 1.35 g / 100 g AG; pero no existieron diferencias significativas mientras que para el C18:3 n-3 se obtuvo casi el doble en la leche de las vacas alimentadas en base a pastoreo. Una gran proporción de la ingesta de C18:3 n-3 se hidrogena en rumen hasta C18:0, produciendo diversos

intermediarios, entre ellos el C18:1 t11 (Morales *et al.*, 2010; Vieyra, 2017). Un ácido graso que posteriormente se desatura en la glándula mamaria a C18:2 c9 t11 por acción de la enzima delta<sup>9</sup> desaturasa (Elgersma *et al.*, 2006; Vieyra, 2017). El C18:3 n-3 es el ácido graso que se encuentra en mayor proporción en la dieta basada en pastoreo, las altas concentraciones de triglicéridos en dieta aumenta el total de lípidos en el rumen; el aumento de ácidos grasos insaturados se puede ver comprometido al reducirse la tasa de lipólisis y biohidrogenación, las tasas lipolíticas son suficientes para convertir la mayor cantidad de triglicéridos provenientes de la dieta a ácidos grasos libres en tiempos cortos, pero estudios recientes revelan que la tasa de lipólisis y biohidrogenación se alteran por la madurez del forraje, el contenido de Nitrogeno y el tamaño de la partícula en rumen (Jenkins, 1993). Los niveles más altos para C18:3 n-3 en vacas en pastoreo se debe a que el forraje se consume en una etapa temprana y tiene niveles más altos de C18:3 n-3 y C18:2 n-6, al contrario de las vacas estabuladas que reciben el forraje cortado y al dejar crecer el forraje sufre un proceso de maduración por lo que tendrá un mayor porcentaje de tallo y material muerto los cuales disminuyen el nivel de estos ácidos grasos, sólo poco más del 1% de ácido linolénico se encontrara en la leche (Dewhurst *et al.* 2001; Rugoho *et al.* 2017). Los niveles de C18:3 n-3 encontrados en este estudio, son similares a lo reportado por Vieyra, (2017) con valores promedio de 0.36 g /100 g AG en vacas con 8 horas de pastoreo y una TMR con niveles de inclusión de aceite de soya del 0, 3 y 6%, pero menores en comparación con los reportados por Castro *et al.* (2014) y Rugoho *et al.* (2017), con 0.74 y 0.78 g /100 g AG ofertando una dieta de 12 horas de pastoreo y 5 kg de concentrado y una dieta basada en tipos de pastoreo y suplementación de concentrado respectivamente, y mayores a los resultados reportados por Hernández *et al.* (2014) y Morales *et al.* (2011) quienes encontraron 0.31 y 0.25 g / 100 g AG en la leche de vacas en lactación alimentadas con una dieta basada en ensilado de maíz, y en una TMR con diferentes ingredientes como ensilado de maíz, ensilado de pastura, alfalfa, paja y concentrado, respectivamente.

Los niveles de CLA (C18:2 cis-9 trans-11) reportados en el presente estudio fueron mayores a lo encontrado por Morales *et al.* (2011) con valores promedio de 0.86 g



/ 100 g AG, y Vieyra, (2017) con valores promedio de 0.82 g /100 g AG y a lo reportado por Castro *et al.* (2014) 0.81 g /100 g AG, pero menor a lo reportado por Hernández *et al.* (2014) y Rugoho *et al.* (2017) 2.14 y 1.35 g / 100 g AG; las variaciones se pueden deber a factores dietéticos, el tipo de forraje o suplementación de aceites y factores del animal como la raza, etapa de lactación o factores fisiológicos.

Aumentar los niveles de C18:2 c9 t11 y los AGPI omega-3 es de gran importancia ya que se consideran alimentos funcionales, estudios actuales han demostrado que específicamente estos ácidos grasos poseen cualidades anticancerígenas por su modulación en la regulación del sistema inmunitario del hospedador contra tumores, reductores de grasa corporal, efectos antiaterogénicos, efectos antidiabéticos y alteración del metabolismo de diferentes nutrientes (Belury, 1995; Elgersma *et al.*, 2006). Una forma más sencilla de modificarlos es a través de la dieta y la forma más económica es a través del manejo de diferentes estrategias de alimentación como la implementación del pastoreo. Considerando lo anterior se acepta la hipótesis planteada en el presente estudio y se hace énfasis en que con una alimentación de mínimo siete horas de pastoreo podrá repercutir en la mejora del perfil de ácidos grasos de la leche de las vacas, con implicaciones positivas sobre los ácidos grasos poliinsaturados benéficos para la salud humana.

## **XII. CONCLUSIONES**

Con base los resultados obtenidos en la presente evaluacion se puede concluir:

- La implementacion de minimo 7 horas de pastoreo en vacas productoras de leche en sistemas de produccion de leche en pequeña escala, favorece a un producto con niveles mas altos de acidos grasos insaturados; y se reducen los acidos grasos saturados principalmente C12:0, C14:0 y C16:0.
- Se obtienen mejores resultados en el nivel de n-3 y ácidos grasos poliinsaturados en vacas que tienen una dieta basada en pastoreo.
- La implementación del pastoreo continuo intensivo como estrategia de alimentación reduce los costos de producción debido a la disminución de la demanda de insumos externos en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, lo que proporciona una oportunidad de desarrollo en el medio rural; donde si bien no se da un pago extra por la calidad de la leche los resultados de este estudio representan un antecedente para conocer las características de la leche, desde el punto de vista del perfil de ácidos grasos de la grasa de la leche, en dos sistemas de alimentación de unidades de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del estado de México.

### XIII. LITERATURA CITADA

- Agudelo DA y Bedoya O. (2005): Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1): 38-42.
- Alfonso AR, Wattiaux MA, Espinoza A, Sánchez E, Arriaga CM. (2012): Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44(3): 637-644.
- Angulo A, Mahecha L, Olivera M. (2009): Síntesis, composición y modificación de la grasa de la leche bovina: un nutriente valioso para la salud humana. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia de Córdoba*, 14(3):1856-1866.
- Arriaga C, Espinoza A, Albarrán B, Castelán O. (1999): Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el Altiplano Central. *Ciencia Ergo Sum*, 6 (3): 290-300, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Arriaga C, Albarrán B, Espinoza A, García A, Castelán O. (2002): On-Farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of central México. *Experimental Agriculture*, 38: 375-388.
- Bargo F, Delahoy J, Schroeder G, Muller L. (2006): Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pastures allowances and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Animal Feed Sciences and Technology*. 125: 17-31.
- Bauman D, Baumgard L, Corl B, Griinari. (1999): Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *American Society of Animal Science*.
- Belury M. (1995): Conjugated dienoic linoleate: A Polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties. *Nutrition Reviews*, 53 (4): 83-89.
- Bilik K, Niwińska B, Łopuszńska-Rusek M, Fijał J. (2012): Effect of type of roughage on chemical composition and technological value of milk from cows fed TMR diets. *Annals of Animal Science Journal*, 12 (4): 633–648.

- Buccioni A, Decandia M, Minieri S, Molle G, Cabiddu A. (2012): Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohidrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*. 174:1-25
- Castillo JV, Olivera MA y Carulla JF. (2013): Descripción del mecanismo bioquímico de la biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos poliinsaturados: una revisión. *Revista U.D.CA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2): 459-468.
- Castro H, González F, Domínguez A, Pinos JM, Morales E, Vieyra R. (2014): Efecto del nivel de concentrado sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein en pastoreo. *Agrociencia*, 48: 765-775.
- Chouinard PY, Louise C, Barbano DM, Metzger LE, Bauman DE. (1999): Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Journal of Nutrition*. 129: 1579-1584.
- Christie WW. (1982): A simple procedure for rapid transmethylolation of glycerolipids and cholesterylesters. *Journal of Lipid Research*. 23:1072-1075.
- Conroy C. (2005): Participatory livestock research: a guide. ITDG Publishing, Netherlands
- Dewhurst RJ, Scollan ND, Youell SJ, Tweed JKS, Humphreys MO. (2001): Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass and Forage Science*. (56), 68-74.
- Dommarco J, López N, Aburto T, Pedraza L, Sánchez T. (2012): Consumo de productos lácteos en población mexicana. [http://www.institutodanone.org.mx/imagenes/\\_CONTENIDOS/d69dc4bf54d5484a92114ef9f593c18b.PDF](http://www.institutodanone.org.mx/imagenes/_CONTENIDOS/d69dc4bf54d5484a92114ef9f593c18b.PDF) (Enero 2017).
- Elgersma A, Tamminga S, Ellen G. (2006): Modifying milk composition through forage. *Animal Feed Science and Technology*, (131): 207-225.
- Ellis K, Innocent G, Grove D, Cripps P, McLean W, Howard C, Mihm. (2006): Comparing the Fatty Acid Composition of Organic and Conventional Milk. *Journal Dairy Science*. 89: 1938-1950.

- Espinoza A, Espinosa E, Bastida J, Castañeda T, Arriaga CM. (2007): Small scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, (43):241-256.
- Esposito G, Masucci F, Napolitano F, Braghieri A, Romano R, Manzo N, Di Francia A. (2014): Fatty acid and sensory profiles of Caciocavallo cheese as affected by management system. *Journal Dairy Science*, (97):1918–1928.
- Fadul L, Wattiaux MA, Espinoza A, Sánchez E, Arriaga CM. (2013): Evaluation of sustainability of small holder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, (37):882–901.
- FAO. (2013): Producción y productos lácteos. <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/es/> (Septiembre 2016).
- Feng S, Lock AL, Garsworthy PC. (2004): Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *Journal Dairy Science*, 87:3785–3788.
- Hernández M, Martínez A, Soldado A, González A, Arriaga CM, Argamenteoría A, Delgado B, Vicente F. (2014): Effect of total mixed ration composition and daily grazing pattern on milk production, composition and fatty acids profile of dairy cows. *Journal of Dairy Research*, (81): 471-478.
- ICAMEX. Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal. Secretaría de Desarrollo Agropecuario Ganado Bovino. [http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/pecuaria/bovinos/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/pecuaria/bovinos/index.htm) (Septiembre 2016).
- INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009): Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Aculco, México. Clave geoestadística 15003. Disponible en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15003.pdf> (Acceso enero 2017).

- Jenkins TC. (1993): Lipid Metabolism in the Rumen. *Animal, Dairy and Veterinary Sciences*. (76):3851-3863.
- Jenkins TC, Harvatine K. (2014): Lipid feeding and milk fat depression. *Veterinary clinics of North America: Food Animal Practice*. 30(3). 623-642.
- Loor J, Ferlay A, Ollier A, Doreau M, Chilliard Y. (2005): Relationship among Trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *Journal of Dairy Science*, 88:726–740.
- Martínez C, Rayas A, Anaya J, Martínez F. (2015): Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2): 331-337.
- Morales E, Soldado A, González A, Martínez A, Domínguez I, de la Roza B, Vicente F. (2010): Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *Journal of Dairy Research* (77): 225-230.
- Morales E, Roza B, González A, Soldado A, Rodríguez M, Peláez M, Vicente F. (2011): Effect of feeding system on unsaturated fatty acid level in milk of dairy cows. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26(3):224-229.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. OCDE-FAO *Perspectivas Agrícolas 2015-2024*. <http://www.fao.org/3/a-i4738s.pdf> (Diciembre 2016).
- Palmquist D, Stelwagen K. (2006): Modifying milk composition to increase use of dairy products in healthy diets. *Animal feed science and technology*. 131: 149-153.
- Pincay PE, López F, Velarde J, Heredia D, Martínez FE, Vicente F, Martínez A, Arriaga CM. (2016): Cut and carry vs. Grazing of cultivated pastures in small-scale dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*. 110 (2): 329-363.

- Prospero F, Martínez CG, Olea R, López F, Arriaga CM. (2017): Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*.
- Rugoho I, Cheng L, Aizimu W, Bryant RH, Edwards GR. (2017): Effects of post-grazing herbage height and concentrate feeding on milk production and major milk fatty acids of dairy cow in mid-lactation. *Grass and Forage Science*. (72), 211-219.
- Sainz PA, López F, Estrada JG, Martínez CG, Arriaga CM. (2017): Effect stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 49: 179-186.
- Scheffler WC. (1979): *Statistics for the biological sciences*. Second Edition. Adison-Weley publishing Company, Reading, Massachusetts, EUA.
- Secretaría de Economía. (2012): *Análisis del Sector Lácteo en México* dirección General de industrias Básicas.
- Vibart R, Fellner V, Burns J, Huntington G, Green J. (2008): Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research*.75:471-480.
- Vieyra R. (2017): *Estrategias de alimentación con base en el pastoreo para modificar el perfil de ácidos grasos en leche*. Tesis Doctoral, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

