



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**PROGRAMA MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**“EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN Y DEL GENOTIPO
SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y PERFIL DE ACIDOS
GRASOS DE LA LECHE DE VACAS EN PASTOREO EN EL VALLE DE
TOLUCA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A:

MVZ. HORACIO CASTRO HERNÁNDEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México Junio de 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**“EFECTO DE LA ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN Y DEL GENOTIPO
SOBRE LA PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y PERFIL DE ACIDOS
GRASOS DE LA LECHE DE VACAS EN PASTOREO EN EL VALLE DE
TOLUCA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

P R E S E N T A:

MVZ. HORACIO CASTRO HERNÁNDEZ

COMITÉ DE TUTORES

DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ

DR. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA

DR. JUAN MANUEL PINOS RODRÍGUEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México Junio de 2014

DEDICATORIAS

A mi Mama, por ser la persona que me motiva a seguir adelante y apoyarme en todo momento.

A mis hermanos Fernando, Came y Tina, por su cariño y comprensión.

A mis sobrinos Libia, Lupe, José, Jenny y Fer por hacerme tan feliz.

A mis demás familiares que siempre me han apoyado y han confiado en mí.

A Cecy por tu apoyo y amor.

A ti mi viejo, donde quiera que estés espero te sigas sintiendo orgulloso de tu hijo.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

A la **Universidad Autónoma del Estado de México**, por facilitar todos los medios para la realización de mi trabajo experimental, en especial al Departamento de Nutrición Animal y a la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

A mi tutor el **Dr. Ernesto Morales Almaráz** por su asesoría en el desarrollo de mi proyecto experimental, en la elaboración del mi artículo y tesis para graduarme y también por brindarme su apoyo y amistad.

A mis tutores adjuntos, el **Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara** y el **Dr. Juan Manuel Pinos Rodríguez** por la asesoría en la elaboración de mi tesis.

A todos mis profesores del posgrado que me impartieron clase durante mi formación, en especial al **Dr. José Luis Bórquez Gatélum** por sus consejos y apoyo incondicional.

A mi compañero **M. en C. Rodolfo Vieyra Alberto** pos sus consejos y apoyo durante mis estudios de maestría y en especial por su amistad.

A todos mis compañeros del PCARN, maestros y trabajadores de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, en especial a **Ana Praga, José Romero, Toño, Karlita, Miguel, Arturo, Kary y Kesia** por brindarme su amistad y apoyo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1. Situación actual de la producción de leche (Situación de la lechería en el altiplano central de México)	4
2. Sistemas de producción de leche en México	6
2.1. Sistemas intensivos	6
2.1.1. Sistemas semi-intensivos	7
2.2. Sistemas de doble propósito	7
2.3. Sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE)	8
3. Composición química de la leche	9
3.1. Agua	10
3.2. Grasa	11
3.3. Proteína	11
3.3.1. Caseína	12
3.3.2. Proteínas del suero	12
3.4. Lactosa	13
3.5. Minerales	13
3.6. Vitaminas	14
3.7. Enzimas	14
4. Composición de la grasa de la leche	14

4.1. Triglicéridos	15
4.2. Fosfolípidos	15
4.3. Monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos libres	16
4.4. Esteroles	16
4.5. Carotenoides	17
4.6. Vitaminas liposolubles	17
4.7. Componentes del sabor	18
5. Ácidos grasos en la leche y sus efectos en la salud humana	18
5.1. Importancia de los ácidos grasos en la salud humana	19
6. El CLA y su importancia en la salud humana	20
6.1. Estructura del CLA	21
6.2. Origen del CLA	21
6.3. Efectos del CLA en la salud humana	22
6.3.1. Propiedades anticarcinogénicas	23
6.3.2. Efectos sobre la aterosclerosis	23
6.3.3. Efecto antidiabético y sobre el control de la obesidad	24
6.3.4. Efectos sobre el sistema inmunitario y la mineralización ósea	24
7. Metabolismo de lípidos, y síntesis de ácidos grasos	25
7.1. Metabolismo de los lípidos en el rumen	25
7.1.1. Lipólisis	26
7.1.2. Biohidrogenación ruminal	26
7.2. Síntesis de <i>novo</i>	29
8. Factores que determinan el perfil de ácidos grasos y ácido linoleico conjugado en la leche	29
8.1. La alimentación	30
8.1.1. Efecto del pastoreo	31

8.1.2. Complementación al pastoreo	32
8.1.2.1. Forrajes conservados: Ensilado y Henos	33
8.1.2.2. Complementación con concentrados	34
8.1.3. Utilización de grasas y aceites en la dieta animal	35
8.2. La raza o genotipo animal	37
8.3. Etapa de lactación	39
9. Factores que influyen en el consumo de materia seca de vacas en pastoreo	40
9.1. Factores relacionados con el alimento	40
9.1.1. Características físicas y nutricionales del forraje	40
9.1.2. Disponibilidad de forraje	41
9.1.3. Efecto de la complementación sobre el consumo de forraje	42
9.1.3.1. Tasa de sustitución y respuesta a la complementación	42
9.1.3.2. Complementación con concentrados	43
9.1.3.3. Complementación con ensilado de maíz	44
9.2. Factores relacionados con el animal	44
9.2.1. Peso corporal y estado fisiológico	45
9.2.2. Relación edad, sexo y estado nutricional	46
9.3. Factores relacionados con el manejo y el medio ambiente	46
10. Determinación del consumo de forraje fresco en ganado lechero en pastoreo	47
10.1. Método de corte de pradera o desaparición de la masa forrajera	47
10.2. Uso de Marcadores	48
10.3. Determinación del consumo de forraje mediante el rendimiento animal	49
III. JUSTIFICACIÓN	51
IV. HIPÓTESIS	52
V. OBJETIVOS	53

VI. MATERIAL Y MÉTODOS	54
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
VIII. CONCLUSION	74
IX. LITERATURA CITADA	75
X. ANEXOS	97
Anexo 1. Artículo científico para revista Agrociencia	97
Anexo 2. Memorias en Congreso XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. (AMPA)	118

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la leche procedente de distintas especies domésticas	10
Cuadro 2. Composición de ácidos grasos de la leche de bovino	19
Cuadro 3. Ingredientes usados en la elaboración del concentrado suministrado	55
Cuadro 4. Composición química y contenido de ácidos grasos del ensilado de maíz, forraje y concentrado	61
Cuadro 5. Consumo de materia seca, producción, composición química de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México	63
Cuadro 6. Efecto de la interacción nivel de concentrado con el genotipo sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo en el Valle de Toluca, México	68
Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional anual de leche de bovino	4
Figura 2. Producción de leche por estado para el 2011	5
Figura 3. Producción de leche por distritos en el Estado de México para el 2011	5
Figura 4. Distribución de la producción de leche por el tipo de sistema de producción	9
Figura 5. Ruta de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados (AGI): linoleico, linolénico y oleico	28
Figura 6. Manejo de los grupos de vacas por estrategia de alimentación	58

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del nivel de concentrado y el genotipo sobre el consumo de alimento, la producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo. Se utilizaron diez vacas Holstein (**H**) y cinco Pardo Suizo (**PS**), distribuidas en tres grupos en un arreglo cross-over 3x3 con tres periodos experimentales de 21 días. Los tratamientos fueron: i) ocho (**8c**), ii) cinco (**5c**), y iii) tres kg de concentrado (**3c**). En la estabulación se ofertó ensilado de maíz a libre acceso. La determinación del perfil de ácidos grasos fue por cromatografía de gases utilizando nitrógeno como gas acarreador. El análisis estadístico fue un completamente al azar con arreglo factorial 3x2, teniendo como factores el nivel de concentrado y genotipo. La interacción del genotipo con el nivel de concentrado únicamente afectó ($P<0.05$) el consumo de ensilado de maíz. No se observaron diferencias ($P>0.05$) en la producción y composición de la leche por efecto de la interacción del genotipo con el nivel de concentrado o por sus efectos independientes. La producción de leche aumentó ($P<0.05$) al incrementar el nivel de concentrado (18.21, 16.75 y 15.23 kg/d, para **8c**, **5c** y **3c**, respectivamente). La concentración de los ácidos grasos láurico, mirístico y palmítico en la leche incrementaron su concentración ($P<0.05$) conforme el nivel de concentrado aumentó. La concentración de ácidos grasos saturados fue mayor en 5c y 8c ($P<0.05$). Los ácidos oleico, linoleico y linolénico fueron mayores ($P<0.05$) en 3c y 5c. **PS** tuvo una mayor concentración ($P<0.05$) de ácidos grasos saturados y menor de monoinsaturados comparado con vacas **H**. Al disminuir la cantidad de concentrado en la dieta el contenido de ácidos grasos saturados disminuyó y se incrementó el de ácidos grasos poliinsaturados en la leche, lo que podría representar un producto más saludable para el consumidor.

Palabras clave: ácidos grasos, bovinos, concentrado, genotipo.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of concentrate level and genotype on feed intake, production, composition and fatty acid profile of milk from grazing cows. Ten Holstein (H) and five Brown Swiss (PS) cows in a 3x3 cross-over design were distributed in three groups of five during three experimental periods of 21 days, 14 days for adaptation and 5 days of measurement. The treatments were: i) eight (8c), ii) five (5c), and iii) three kg concentrate (3c). In housing it was offered corn silage ad libitum. Gas chromatography was used to fatty acid profile analysis using nitrogen as a carrier gas. The statistical analysis was a completely randomized 3x2 factorial arrangement, the factors were level of concentrate and genotype and their interaction. The interaction of genotype with concentrate only affected ($P<0.05$) the DM intake of corn silage. Milk production increased ($P<0.05$) with concentrate supplementation (18.21, 16.75 and 15.23 kg/d, for 8c, 5c and 3c, respectively). The concentration of fatty acids lauric, myristic and palmitic in milk increased ($P<0.05$) as the level of concentrate was enhanced. Total saturated fatty acids content was higher in 5c and 8c ($P<0.05$). Oleic, linoleic and linolenic acids were higher ($P<0.05$) in 3c and 5c. PS has a higher concentration ($P<0.05$) of saturated fatty acids and less of monounsaturated than H. To reduce the amount of concentrate to grazing dairy cows affected milk fatty acid profile, decreasing saturated fatty acids and increasing the fatty acids polyunsaturated which could represent a product healthy for the consumer.

Keywords: milk fatty acids, dairy cows, concentrate, genotype.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de que según cifras del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en México durante el periodo 2003-2011 la producción nacional de leche ha tenido una tasa media de crecimiento del 1.3%, la industria lechera enfrenta una gran competencia internacional; en los últimos años se ha reportado un incremento en las importaciones de leche en polvo para satisfacer la demanda interna (221,948 toneladas para el 2011 en comparación con 143,529 toneladas registradas en el 2006) , con lo cual, el dinamismo de la demanda pecuaria, en el corto y largo plazo, sugiere grandes retos para implementar estrategias que aumenten la producción ganadera (SIAP, 2011, SAGARPA, 2010).

Producir leche en cantidad y calidad óptimas, al más bajo costo posible, es el objetivo primordial de cualquier unidad de producción. La mayoría de las unidades de producción de vacuno lechero llevan un sistema de alimentación basado en forrajes conservados (henos o ensilados) y concentrados; sin embargo, las vacas alimentadas solo con forraje representan el sistema con menor costo, debido a que el forraje consumido es la fuente más barata de nutrientes (Peyraud y Delaby, 2001). El desafío, en los sistemas de producción del ganado lechero en pastoreo, es alcanzar altos niveles de consumo de materia seca y la mayor producción de leche por el manejo del pastoreo y la complementación (Bargo *et al.*, 2003). Sin embargo, la estacionalidad de la producción de forraje y la variabilidad en su aporte nutritivo, provoca gran variación en la productividad del animal, y por otro lado, el uso excesivo de suplementos elaborados con granos de cereales y fuentes de proteína vegetal, tienden a ser caros en relación a otros componentes, por lo que su uso, al ser un componente principal de los costos de alimentación (Espinoza *et al.*, 1997), incrementa los costos de producción. Asimismo, en las vacas de alta producción, con uso del pastoreo como base de su alimentación, incluso considerando praderas de alta calidad, el primer nutriente limitante es la energía (Kolver y Muller, 1998), por lo que resulta necesario complementar fuentes de energía a estos animales. No obstante, en el ganado, con rendimientos lecheros de bajo a medio, los recursos forrajeros pueden ser suficientes para su nivel de producción láctea, sin usar demasiado concentrado en la dieta, excepto, quizás,

cuando la disponibilidad de forraje, en determinadas épocas del año, es baja. La complementación del ganado lechero en pastoreo tiene la finalidad de aumentar la producción de leche por vaca, y/o por unidad de tierra, mantener o mejorar la condición corporal (Kellaway y Porta 1993), así como lograr un mayor consumo total de MS respecto a lo aportado por el forraje (Peyraud y Delaby, 2001; Stockdale, 2000).

Aumentar el contenido nutrimental en la leche, por influencia de la alimentación, ha sido evaluado en muchos estudios donde se han comparado dietas completas mezcladas (TMR) a base de forrajes conservados y concentrados versus dietas basadas en pastoreo con (White *et al.*, 2001; Schroeder *et al.*, 2003) y sin complementos (Kelly *et al.*, 1998), o comparando la alimentación únicamente con forraje, forraje más concentrado, o el efecto de la cantidad del forraje ofrecido (PA) (Soriano *et al.*, 2001; Bargo *et al.*, 2002; 2003; Wijesundera *et al.*, 2003) o con complemento de ensilado de maíz (Burke *et al.*, 2008). Por otro lado, estudios realizados en ganado lechero en otros países (Holmes, 1989; Mayne, 1996) indican que con forraje solo se puede lograr la producción de 25 a 30 kg de leche/d en primavera. La evaluación de los parámetros productivos y de la composición de la leche en esos sistemas de producción ha mostrado gran variabilidad de los resultados.

La composición de la leche está determinada por muchos factores, entre ellos la nutrición y el genotipo de la vaca, modificando, entre otros, los contenidos de grasa y ácidos grasos; éstos últimos, han recibido considerable atención por los posibles efectos en la salud humana. La grasa de la leche contiene entre 70 a 75% de ácidos grasos saturados (AGS) y un 25 a 30% de ácidos grasos insaturados (AGI), de estos un 25% son ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y un 5% de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) (Lock y Shingfield, 2004). Los AGS están relacionados con efectos de hipercolesteromiantes y enfermedades cardíacas, en especial los ácidos grasos como el láurico, mirístico y palmítico. Sin embargo, la grasa de la leche también tiene atributos que pueden tener efectos positivos en la salud humana; los AGI como el oleico y linoleico han demostrado tener una acción hipocolesteromiante (Grundy, 1994). Algunos AGPI tienen beneficios potenciales para la salud humana, por ejemplo, el ácido linoleico conjugado (CLA),

específicamente el isómero C18:2 *cis*-9 *trans*-11 (ruménico), al que se le han atribuido propiedades anticarcinogénicas en modelos animales (Ip *et al.*, 1994; Corl *et al.*, 2003) y posiblemente en humanos (Belury, 2002). Otros isómeros de CLA como el C18:2 *trans*-10 *cis*-12, también disminuyen la deposición de grasa en modelos animales (Park *et al.*, 1999) y la concentración de grasa en la leche de vaca (Petterson *et al.*, 2002). Estos resultados han fomentado el esfuerzo en la investigación para mejorar o aumentar la concentración de AGPI y disminuir la de AGS en la leche, productos lácteos y otros alimentos para consumo humano. Al respecto, debe tenerse presente que diversos factores afectan la concentración de éstos ácidos grasos en la leche, incluyendo la dieta (Shingfield *et al.*, 2005), la raza animal (Carroll *et al.*, 2006), la época de año (Lock y Garnsworthy, 2003) y la etapa de lactación (Auldist *et al.*, 1998). La dieta es el factor más importante que influye en la variación del perfil de ácidos grasos de la leche; diferentes estudios han demostrado que se puede modificar el perfil de éstos, incrementando la concentración de AGPI con el pastoreo (Kelly *et al.*, 1998), con el tipo de ensilado complementado (Dewhurst *et al.*, 2003), el nivel de concentrado en la dieta (Bargo *et al.*, 2006), la fuente complementaria de cereales (Wijesundera *et al.*, 2003), aceites de oleaginosas (Dhiman *et al.*, 2000) o aceites de pescado (Abu-Ghazaleh *et al.*, 2003).

En nuestro país pocas investigaciones han evaluado el efecto de la estrategia de alimentación basada en pastoreo, asociada al genotipo animal, en las características productivas, en la composición de la leche, en especial sobre la concentración de ácidos grasos y la modificación de su perfil.

La presente investigación tiene el objetivo de evaluar la respuesta productiva, la calidad de la leche y el perfil de ácidos grasos de la misma, en los genotipos de ganado lechero Holstein y Pardo Suizo bajo pastoreo, complementado con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE (SITUACIÓN DE LE LECHERÍA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO)

En la última década aumentó el consumo mundial de leche fluida, atribuido principalmente al crecimiento de la población; aunado a ello, la producción mundial de leche también aumentó en los últimos años para satisfacer dicha demanda (SIAP, 2011).

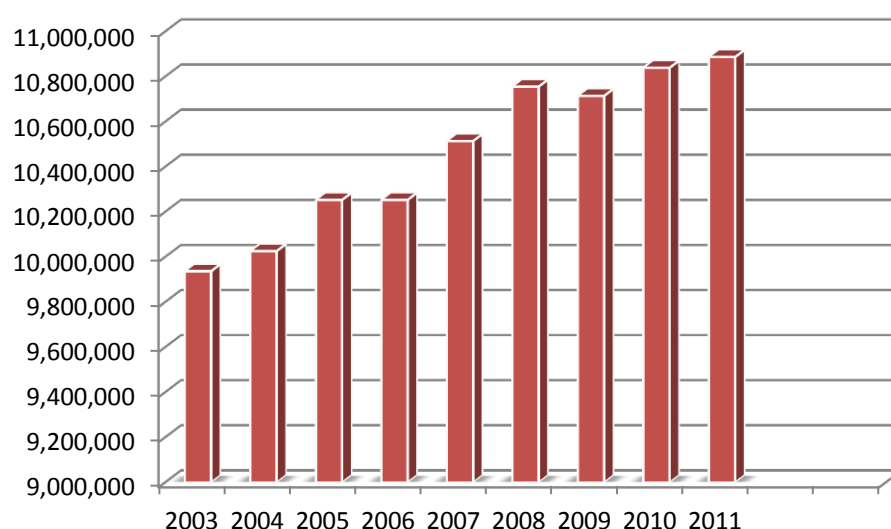


Figura 1. Producción nacional anual de leche de bovino (SIAP, 2011).

En cuanto a la producción nacional de leche de bovino (Figura 1), se ha observado una tasa media de crecimiento de 1.3% en el período de 2003 a 2011, esta tendencia de crecimiento se ha mantenido por casi dos décadas, desde inicio de los años noventa, sin embargo, a pesar de su crecimiento, sólo contribuye con aproximadamente el 80% del consumo nacional (SIAP, 2011).

Para satisfacer la demanda nacional, el país requiere importar leche en polvo, y en menor proporción, preparaciones lácteas, utilizadas para la elaboración de productos lácteos

principalmente. En cuanto a las importaciones de leche en polvo, provenientes principalmente de E.U.A., ha mostrado aumentos de más de 60% durante 2003 a 2011. En contraste, en la importación de preparaciones lácteas, se ha observado una reducción hasta el año 2011. En México la producción de leche (Figura 2) se ubica principalmente en los Estados de Jalisco (18%) y la Región Lagunera (Coahuila y Durango con 21%).

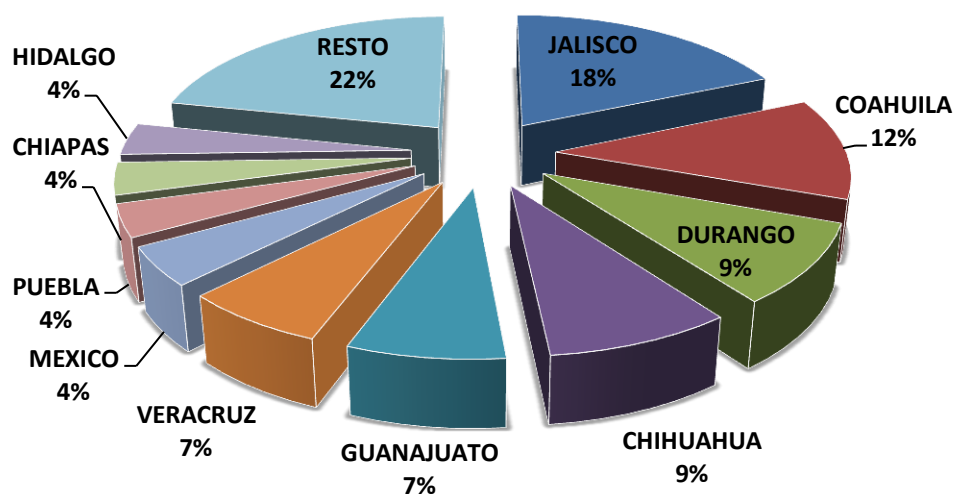


Figura 2. Producción de leche por Estado para el 2011 (SIAP, 2011).

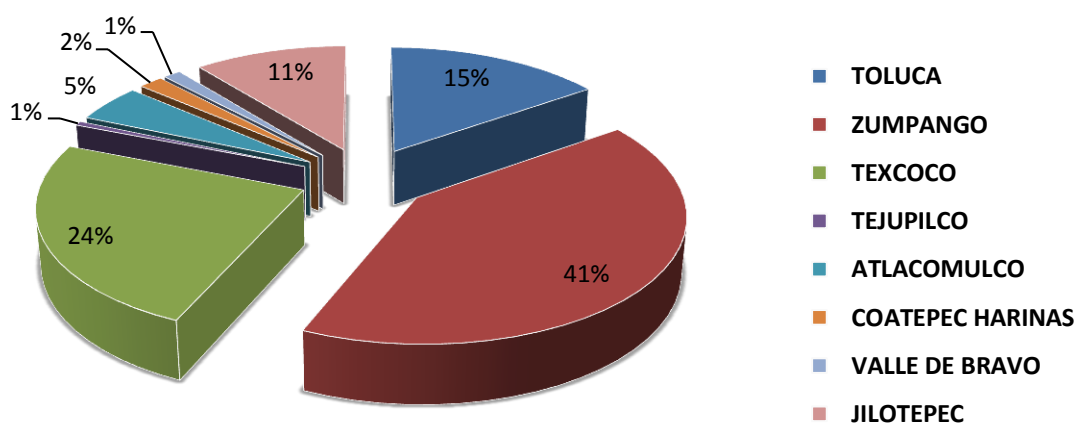


Figura 3. Producción de leche por distritos en el Estado de México para el 2011 (SIAP, 2011).

Según cifras del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2011), el Estado de México ocupa el séptimo lugar de la producción nacional con 482,082 litros. La producción anual en nuestro Estado se ha mantenido relativamente estable entre el año 2003 al 2011. Cabe resaltar, que en nuestra identidad, a nivel rural, el precio medio de leche se incrementó de 3.48 a 5.85 pesos/litro de 2004 a 2011. Más de 90% de la producción anual de leche en el Estado de México se ubica en los distritos de Zumpango con el 41%, Texcoco con el 24%, Toluca con el 15% y 11% para el distrito de Jilotepec (Figura 3).

2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN MÉXICO

Los sistemas de producción de leche bovina en nuestro país presentan diferencias marcadas principalmente por el nivel de tecnificación, sistema de alimentación y tipo de manejo del hato. Se pueden tener unidades de producción intensivas con instalaciones, manejo y producciones similares a las de los países desarrollados, y por otro lado, unidades de producción pequeñas con bajo nivel de infraestructura, bajo potencial genético del ganado y con manejos nutricionales inadecuados en ciertas épocas del año (Mellado, 2010).

Por lo tanto, los sistemas de producción de leche de nuestro país se pueden clasificar en tres grupos: el intensivo, el sistema de doble propósito y el familiar o de pequeña escala.

2.1 Sistemas intensivos

Este tipo de sistemas se caracterizan por ser unidades de producción grandes, su objetivo principal es la alta producción de leche de manera intensiva, utilizan ganado especializado en la producción de leche, principalmente de la raza Holstein Friesian. Los animales se mantienen en estabulación, basando la alimentación en forrajes de alta calidad nutricional y el uso de concentrados y complementos para maximizar la producción. Se utilizan tecnologías como el uso de la inseminación artificial, programas sanitarios y genéticos adecuados y el uso de software para el control y manejo del hato. Bajo estos sistemas los costos de producción son altos por lo que se requiere de grandes volúmenes de producción y altos precios de la leche para que sean rentables. La leche producida en estos sistemas se destina sobre todo a plantas pasteurizadoras o transformadoras. Se localizan principalmente

en el altiplano central, el bajío y zonas áridas de nuestro país, abarcando los Estados de Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro, Estado de México y Baja California. (Mellado, 2010; INEGI, 2007; Gasque y Blanco, 1998).

2.1.1 Sistemas semi-intensivos

Es una variante de los sistemas intensivos, la diferencia radica en que estos sistemas incluyen el uso de praderas inducidas o mejoradas para el pastoreo intensivo del ganado como principal fuente de alimentación. Este sistema no está muy difundido en nuestro país debido a la poca disponibilidad de terrenos destinados al pastoreo del ganado. En la estabulación los animales son complementados con concentrados de buena calidad y forrajes conservados como lo es el uso de ensilados de pasto o maíz principalmente. Las praderas están conformadas de diferentes especies de pastos como Rye grass, Festuca, Orchard o su combinación con algunas leguminosas como alfalfa o trébol blanco. Utilizan razas especializadas en la producción de leche bajo sistemas de pastoreo como la Holstein Friesian o Pardo Suizo. Este tipo de sistema lo podemos encontrar principalmente en los Estados de Sonora, Aguascalientes, Querétaro, Puebla, Veracruz, Tlaxcala y el Estado de México (Gasque y Blanco, 1998).

Sistemas de doble propósito

Estos sistemas se caracterizan por la ordeña estacional de vacas de razas productoras de carne y la producción de becerros para abasto. Predominan las razas tipo Cebuino, Pardo Suizo y sus cruces. La alimentación se basa en el pastoreo de forrajes nativos o pastos tropicales. Incluye, en algunas ocasiones, la complementación con granos de cereales o concentrados comerciales, principalmente en la época de secas. Se concentran principalmente en zonas tropicales de nuestro país, en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, San Luis Potosí, Guerrero y Michoacán. A pesar de la baja producción de leche por animal y del número reducido de vacas por hato, la producción de leche de los sistemas de doble propósito constituye el 20% del total de la leche producida en el país, debido

principalmente a la gran cantidad de animales destinados a la ordeña en zonas tropicales (Mellado, 2010).

2.2 Sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE)

Estos sistemas se caracterizan por ser unidades de producción pequeñas que varían entre 3 a 30 animales por hato, se ordeñan de forma manual en la mayoría de los casos, la mano de obra está a cargo de los integrantes de la familia, se cuenta con acceso limitado de terrenos y capital destinado a la producción láctea, el uso de tecnología es reducido, el manejo reproductivo generalmente se realiza por medio de monta natural, la alimentación está basada en esquilmos agrícolas y el uso limitado de concentrados comerciales o granos de cereales como maíz en la época de estiaje y pastoreo de pastos nativos a orillas de caminos y besanas en la época de lluvias. Los animales en este tipo de sistemas son por lo general de bajo potencial genético encastados por lo regular con la raza Holstein. Normalmente no existen programas de mejoramiento genético ni adecuado manejo zoonosanitario del hato. La leche producida bajo estos sistemas es destinada a la venta como leche bronca o en su mayoría a la producción de quesos de manera artesanal. Pese a que los SPLPE son sistemas rústicos y con mínima utilización de la tecnología representan una importante fuente de empleo en el medio rural en nuestro país, además se estima que un 30% del total de producción de leche a nivel nacional proviene de las unidades de producción familiares (Figura 4).

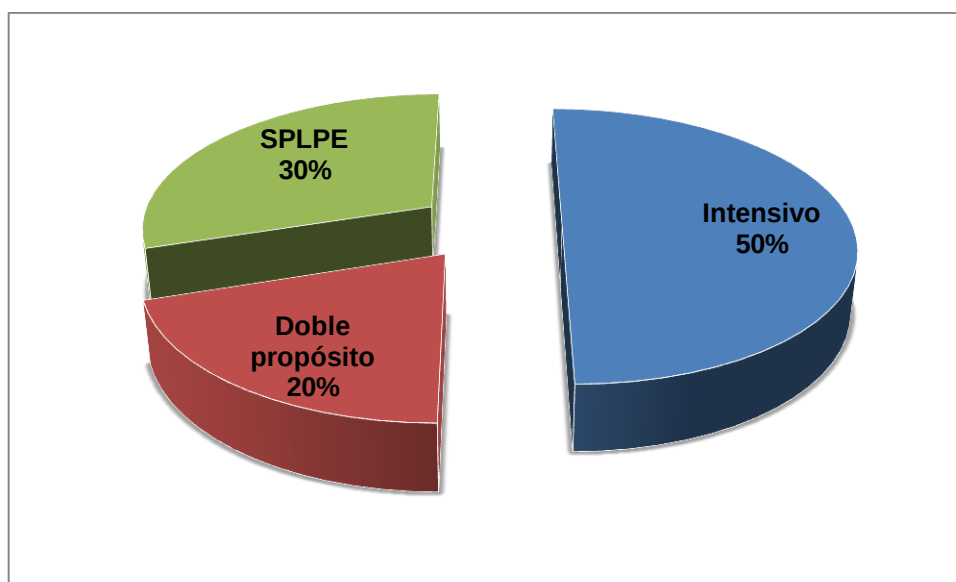


Figura 4. Distribución de la producción de leche por el tipo de sistema de producción (Mellado, 2010).

Los principales Estados donde se desarrollan los SPLPE son Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Puebla, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Oaxaca y el Estado de México (Alfonso, 2011; Mellado, 2010; Salinas, 2011).

3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE

La leche es un líquido secretado por las glándulas mamarias de los animales mamíferos cuya función primordial es la de alimentar a las crías después del nacimiento, es un líquido de color blanco, ligeramente dulce, de pH casi neutro y de composición compleja (Santos, 2007).

El concepto de leche como tal refiere únicamente a la leche de vaca, obtenida como materia prima en las unidades de producción agrícola y destinada al consumo o procesamiento en los diferentes subproductos. La leche de otras especies de mamíferos se denomina explícitamente: leche de oveja, leche de cabra, etc. la leche “cruda o bronca” es la leche que se obtiene directamente del animal y que no ha sido sometida a algún tratamiento y que no se le ha agregado ni extraído sustancias (Spreer, 1991).

La leche está compuesta en su mayoría (87%) de agua, el extracto seco o sólidos totales restantes está compuesto por grasa y sólidos no grasos como lactosa, proteínas, minerales, vitaminas, enzimas y otros componentes minoritarios (Schilimne y Buchheim, 2002). En el Cuadro 1 se puede observar la composición porcentual de la leche de diferentes especies animales.

3.1 Agua

Siendo que es el componente principal de la leche, con un rango de 85.3 a 88.7%, su función principal es actuar como disolvente de los demás componentes. El contenido total de agua en la leche influye sobre su conformación y propiedades físicas y químicas como la viscosidad, densidad, acidez y el punto de congelación sobre todo en los casos donde rebasa el porcentaje normal por contaminación. La producción de leche está relacionada directamente con el consumo de agua realizado por el animal (Spreer, 1991).

Cuadro 1. Composición química (%) de la leche procedente de distintas especies domésticas[†].

Especie	Agua	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas
Vaca	87.0	4.2	3.3	4.7	0.7
Cabra	86.8	4.5	2.9	4.1	0.8
Oveja	80.7	7.4	5.5	4.8	1.0
Cerda	81.7	6.6	5.3	5.5	0.8
Yegua	88.8	1.9	1.5	6.2	0.5
Burra	88.3	1.4	2.0	7.4	0.5
Perra	76.5	12.9	7.9	3.1	1.2
Gata	82.4	4.8	7.0	4.8	1.0
Coneja [¶]	70.7	12.0	13.5	1.8	2.0

Fuente: [†]Schilimne y Buchheim, 2002, [¶] Santos, 2007.

3.2 Grasa

La grasa en la leche es un componente muy variable, está en una proporción de entre 3.2 a 6%. Estas variaciones pueden ser atribuidas a diferentes factores como lo son el genotipo, la alimentación, la etapa de lactación, la estación de año, estado sanitario y características individuales del animal. Esta grasa se encuentra en forma de glóbulos de grasa con un tamaño de entre 2.5 a 5 μm y constan de un núcleo y una membrana, son fáciles de extraer sin modificar los demás componentes de la leche (Santos, 2007; Schilimne y Buchheim, 2002; Spreer, 1991).

La grasa de la leche está constituida por diferentes lípidos, principalmente triglicéridos que constituyen el 96% o más del total de los lípidos, el resto está formado por diglicéridos, fosfolípidos, monoglicéridos, esteroides, sustancias insaponificables, ácidos grasos libres, entre otros. El núcleo de los glóbulos grasos está compuesto por triglicéridos formados por un éster de un alcohol trivalente, el glicerol o propanotriol, con ácidos grasos (ácidos monocarboxílicos). La membrana es una formación compleja formada por varias capas constituidas principalmente por fosfolípidos, colesterol y vitamina A (Santos, 2007; Schilimne y Buchheim, 2002; Spreer, 1991).

3.3 Proteína

El contenido de proteína depende fundamentalmente de la alimentación, el contenido total de proteína en leche se encuentra entre 3.0 a 3.9%. Desde el punto de vista nutricional, las proteínas de la leche tienen como principal función el aporte de aminoácidos esenciales y nitrógeno orgánico. En el caso del calostro cumple otra función de gran importancia con el aporte de inmunoglobulinas al recién nacido. La fracción proteica de la leche está formada por varios tipos de proteínas y por otros componentes, siendo las caseínas y las proteínas del suero las de mayor concentración (Walstra *et al.*, 2001).

3.3.1 Caseína

Las caseínas son sintetizadas en la glándula mamaria, son el componente mayoritario de las proteínas lácteas en una proporción de 80%. La caseína es una fosfoproteína porque tiene grupos fosfato ligados y establece enlaces con calcio lo que le proporciona cierta estabilidad, razón por la cual no se coagula al ser cocida, pero sí en medios ácidos ya que sufre una transformación de gran importancia en la industria de derivados lácticos y en la industria quesera (Spreer, 1991).

Existen cuatro tipos de caseínas: las α_s , caseína β , caseína κ y caseína ν . Las caseínas α_s son el componente más abundante de las caseínas, el subíndice s significa que es sensible al calcio, es decir que fluctúan aun en presencia de pequeñas cantidades de iones de calcio, es la proteína más rica en fósforo por molécula y no contiene carbohidratos. La caseína β es también sensible al calcio y contiene menos fósforo que la anterior. La caseína κ es insensible al calcio, es una glicoproteína cuyo carbohidrato reductor es la galactosa. A la caseína ν se le ha atribuido el carácter de globulina por su semejanza con la inmunoglobulina del calostro, no debería considerarse como caseína a pesar de que tiene fósforo puesto que tiene un punto isoeléctrico elevado y menor peso molecular comparado con las demás caseínas (Santos, 2007).

El interés tecnológico reside sobre todo en la relación en la que están las fracciones α y β ya que estas determinan la coagulación de las proteínas en la elaboración de los quesos (Spreer, 1991).

3.3.2 Proteínas del suero

Las proteínas del suero representan en promedio 20% del total de las proteínas de la leche. Las principales proteínas de este tipo son la β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina, inmunoglobulinas, seroalbúmina, proteosa-peptona y proteínas menores como la lactoferrina (Walstra *et al.*, 2001).

La β -lactoglobulina es la más abundante de las proteínas del suero (aproximadamente 50%), no se liga a otras fracciones proteicas a temperatura ambiente y durante el calentamiento forma un complejo con la caseína κ que es más estable que los componentes separados debido a que se forma mediante puentes disulfuro. La α -lactoalbúmina constituye más del 20% de las proteínas del suero, interviene en la biosíntesis de la lactosa (Santos, 2007). La leche de vacas sanas contiene muy poca cantidad de inmunoglobulinas (0.6 g/L) a diferencia del calostro que contiene 12 g/L en el primer día de ordeño. Se han encontrado inmunoglobulinas del tipo G, A, y M en la leche bovina (Schilimne y Buchheim, 2002).

La seroalbúmina representa entre el 0.7 y 1.3% de la proteína total, no se sintetiza en la glándula mamaria, pasa directamente del torrente sanguíneo y es idéntica a la albúmina del suero sanguíneo con las mismas propiedades inmunológicas. La proteosa-peptona es una fracción no sensible al calor y no precipita a pH ácido, está compuesta principalmente por productos de degradación de la caseína β ; la lactoferrina o proteína roja es sintetizada en la glándula mamaria y posee un efecto bacteriostático debido probablemente a la unión con el hierro (Schilimne y Buchheim, 2002; Walstra *et al.*, 2001).

3.4 Lactosa

Es el carbohidrato mayoritario en la leche, es un disacárido compuesto de glucosa y galactosa. Su biosíntesis esta catalizada por la galactosiltransferasa en presencia de α -lactoalbúmina. El papel edulcorante de la lactosa y su solubilidad es a diferencia de otros disacáridos, bastante reducido. La lactosa es un azúcar poco común en la naturaleza, excepto en la leche, que oscila de 4.5 a 4.7%. Es un factor limitante en la producción de leche ya que la cantidad de leche que se produce depende de la síntesis de lactosa, tiene una buena estabilidad en el tubo digestivo del humano (Santos, 2007; Schilimne y Buchheim, 2002; Walstra *et al.*, 2001).

3.5 Minerales

Son muy importantes tanto para el organismo humano como para la cría, ya que influyen de manera importante en el crecimiento y desarrollo del cuerpo, formación de huesos,

procesos enzimáticos, coagulación sanguínea, entre otros. Entre los más importantes están el Ca, Na, K, P, Mg, Fe, Zn, Co, Cu, Cl. Desde el punto de vista industrial el Ca tiene gran importancia ya que es necesario que exista en cantidades adecuadas para producir la precipitación de proteínas. El contenido de minerales en la leche depende de la etapa de lactación, el estado de salud del animal, la raza, pero sobre todo del aporte mineral en la dieta de los animales (Spreer, 1991; Schilimne y Buchheim, 2002; Walstra *et al.*, 2001).

3.6 Vitaminas

La leche contiene todas las vitaminas esenciales para la vida, pero en cantidades diferentes, que no en todos los casos son suficientes. El contenido de vitaminas de la leche depende fundamentalmente del tipo de alimentación y del estado de salud del animal. Entre las vitaminas liposolubles más importantes están la A, D y E, y las hidrosolubles están la B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, ácidos pantoténico y nicotínico (Spreer, 1991).

3.7 Enzimas

La leche contiene varios tipos de enzimas, algunas de ellas se concentran en la membrana de los glóbulos de grasa, otras fluctúan con las caseínas. Algunas veces es difícil determinar el origen de las enzimas, ya que las bacterias que se encuentran comúnmente en la leche producen enzimas semejantes a las producidas en la glándula mamaria. Existen enzimas oxido-reductasas como la lactoperoxidasa, reductasa-aldolasa y catalasa y enzimas hidrolíticas como las lipasas, la fosfatasa, proteasas, amilasas y la lisozima (Santos, 2007).

4. COMPOSICIÓN DE LA GRASA DE LA LECHE

La grasa de la leche constituye la principal fuente de energía para todo mamífero recién nacido, está constituida de diferentes clases de lípidos localizados en los glóbulos de la grasa de la leche, principalmente en forma de triglicéridos (cerca de 98% del total de la grasa) y con una menor proporción de fosfolípidos, esteroides, ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y en cantidades traza vitaminas liposolubles (A, D, E y K), β -carotenos y saborizantes liposolubles (Jensen y Clark, 1988).

4.1 Triglicéridos

La leche de los bovinos contiene una compleja mezcla de triglicéridos, los cuales varían considerablemente en su peso molecular y grado de insaturación; esta compleja mezcla resulta de la gran variedad de ácidos grasos que los constituyen, los cuales varían en la longitud de sus cadenas, que van de 4 a 18 carbonos. Desde el punto de vista cuantitativo representan la fuente más importante de lípidos en la grasa láctea, por lo tanto tienen una mayor influencia sobre las propiedades de la grasa, tanto en su densidad como en su punto de fusión. Los triglicéridos están formados por un éster de alcohol, el glicerol, al cual están esterificados tres moléculas de ácidos grasos, son moléculas no polares y por lo tanto son insolubles en agua, y aunque no son altamente reactivos pueden oxidarse a temperatura ambiente. La distribución de los ácidos grasos en las tres posiciones de una molécula de triglicérido (sn-1, sn-2 y sn-3) no es al azar, debido a que los mecanismos de biosíntesis de los triglicéridos en la glándula mamaria ejercen cierta selectividad sobre la colocación de los ácidos grasos. Es común encontrar esterificados ácidos de cadena corta como el butírico y caproico en la posición sn-3, razón por la cual la gran mayoría de los triglicéridos se puede clasificar en dos tipos: los que tienen varias combinaciones de ácidos grasos de cadena larga y los que contienen dos ácidos grasos de cadena larga y uno de cadena corta (MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001).

4.2 Fosfolípidos

Representan una pequeña parte del total de lípidos en la grasa de la leche pero son de gran importancia. Alrededor de 60% de los fosfolípidos totales se localizan en la membrana del glóbulo de grasa. Los principales fosfolípidos son los glicerofosfolípidos que constituyen aproximadamente un 75% del total de fosfolípidos, el porcentaje restante está representado mayoritariamente por los esfingolípidos. Los primeros están constituidos de una cadena principal de glicerol a la que se unen dos ácidos grasos en las posiciones sn-1 y sn-2 y un grupo fosfato en la posición sn-3. Los principales glicerofosfolípidos son la fosfatidilcolina y la fosfatidiletanolamina, éstos tienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, por lo tanto son más susceptibles a la oxidación. Esto nos puede indicar que la oxidación de

la grasa de la leche puede comenzar con los glicerofosfolípidos en la membrana de los glóbulos de grasa. Los esfingolípidos por su parte, contienen una ceramida que consiste en una base esfingosina y un ácido graso. El principal esfingolípido de la leche es la esfingomielina (MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001).

4.3 Monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos libres

La leche contiene pocos de estos componentes después del ordeño, sin embargo al ser almacenada, los triglicéridos pueden ser sometidos a hidrólisis enzimática y aumentar su concentración. Dicho aumento de estos componentes le confiere un sabor rancio a la leche, causado por la liberación de ácidos grasos de cadena corta. Aunque los diglicéridos tienen un grupo hidroxilo libre, sus propiedades físicas son muy similares a las de los triglicéridos ya que son poco polares; por el contrario, los monoglicéridos son relativamente polares, los que se componen de ácidos grasos de cadena larga se comportan como moléculas anfifílicas, mientras que aquellos con ácidos grasos de cadena corta son parcialmente solubles en agua. Los ácidos grasos libres en estado no disociado se comportan de ésta manera (Jensen y Clark, 1988; MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001).

4.4 Esteroles

Los esteroides son componentes menores de la grasa de la leche (0.3%) pero representan la mayor parte del material no saponificable. El colesterol es el principal componente, constituye el 95% del total de los esteroides, otros componentes de menor proporción son el lanosterol y β -sitosterol. Una pequeña cantidad de colesterol se encuentra en forma esterificada y estos ésteres si son saponificables. A pesar de que los esteroides son compuestos polares, se pueden asociar fácilmente con los fosfolípidos. El colesterol es un compuesto biológico con funciones importantes en el cuerpo, por ejemplo, en el control de lípidos en sangre, síntesis de proteínas, en la conformación de las membranas celulares y es precursor de muchos tipos de hormonas. El consumo excesivo de dietas ricas en colesterol ha sido asociado a diferentes enfermedades que afectan al ser humano tales como la

ateroesclerosis, cálculos biliares y enfermedades del corazón (Jensen y Clark, 1988; MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001; Wright y Maragoni, 2006).

4.5 Carotenoides

El principal carotenoide en la grasa de la leche es el β -caroteno, aproximadamente un 95% del total de carotenoides presentes. Las concentraciones de β -caroteno en la grasa láctea es muy variado, con niveles de 2.5 a 8.5 $\mu\text{g/g}^{-1}$ de grasa. Estas variaciones dependen principalmente de la raza de la vaca y de la alimentación. La grasa láctea de vacas Jersey contiene mayor cantidad de carotenoides en comparación con la raza Holstein. En el caso de vacas alimentadas con pastos frescos, la grasa de la leche contiene una mayor cantidad de carotenoides comparado con vacas alimentadas con concentrados y henos, debido a que los carotenoides son abundantes en pastos y forrajes verdes (MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001; Wright y Maragoni, 2006).

4.6 Vitaminas liposolubles

La grasa de la leche es rica en vitamina A pero es pobre en vitaminas D, E y K. La vitamina A esta presente en dos formas, como retinol y como provitamina A o β -caroteno. En promedio la concentración de esta vitamina es de 40 UI/ g^{-1} de grasa de la leche. Los niveles de vitamina D en la grasa de la leche son muy bajos, entre 0.4 a 0.8 UI/ g^{-1} de grasa. La cantidad de vitamina D en la leche de vacas puede ser afectada por la cantidad de luz solar a la que son expuestas, por ejemplo encontramos mayores cantidades de vitamina D en el verano en comparación con la época de invierno (Walstra *et al.*, 2001).

La vitamina E o α -tocoferol está presente en concentración de 0.05 UI/ g^{-1} de grasa láctea. En general esta vitamina actúa como antioxidante, reaccionando ante radicales libres, protegiendo así a ácidos grasos insaturados y β -carotenos de la oxidación. La vitamina K es indispensable para la síntesis de compuestos que intervienen en la coagulación sanguínea, en la leche se encuentra en concentraciones muy bajas (0.1-0.2 $\mu\text{g/g}^{-1}$ de grasa) en forma de filoquinona o vitamina K₁ (MacGibben y Taylor, 2006; Walstra *et al.*, 2001).

4.7 Componentes del sabor

Una gran cantidad de componentes contribuyen al aroma y sabor de la leche. Se han identificado aproximadamente 120 compuestos volátiles en la grasa de la leche, algunos de los cuales actúan de manera sinérgica para contribuir al sabor de la leche. Las principales clases de compuestos volátiles que intervienen en el sabor de la grasa láctea son los ácidos grasos, aldehídos, lactonas y cetonas. Los procesos de oxidación y lipólisis de triglicéridos tiende a aumentar la proporción de ácidos grasos de cadena corta y media, lo que puede conducir a sabores rancios indeseables en la grasa. Las lactonas por su parte contribuyen en el sabor dulce de la grasa de la leche (Jensen y Clark, 1988; Kinsella, 1975).

5. ÁCIDOS GRASOS EN LA LECHE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

La grasa de la leche está constituida por unos 400 ácidos grasos (AG) ya sea libres o unidos al glicerol; los más abundantes son el mirístico, el palmítico, el esteárico y el oleico (Jensen, 2002). Los AG se pueden clasificar en función del número de carbonos de su cadena en ácidos de cadena corta (4 a 10 átomos), de cadena intermedia (12 a 16 átomos) y ácidos de cadena larga con más de 18 átomos de carbono (Álvarez-Nogal, 2004).

Los ácidos grasos de cadena corta, y parte de los de cadena intermedia, se generan en las células epiteliales mamarias; el acetato y el β -hidroxibutirato de origen ruminal actúan como principales precursores y fuentes de átomos de carbono para el alargamiento de las cadenas, hasta un máximo de 16 carbonos en las células mamarias, y de 18 carbonos en los adipocitos (Salter *et al.*, 2002). La otra parte de AG de cadena intermedia y todos los de cadena larga llegan a la glándula mamaria por vía sanguínea desde el tejido adiposo o producto del metabolismo ruminal de los lípidos (Bauman y Griinari, 2001).

Los AG también se pueden clasificar de acuerdo al grado de saturación en ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). La grasa de la leche contiene un 70-75% de AGS, un 20-25% de AGM y un 5% de

AGPI (Lock y Shingfield, 2004). En el Cuadro 2 se muestra la composición porcentual de AG de la grasa de la leche de bovinos.

5.1 Importancia de los ácidos grasos en la salud humana

En nuestro país, la obesidad, la diabetes, el cáncer y las enfermedades cardiovasculares, constituyen las principales causas de muerte y éstas están asociadas principalmente a dietas hipercalóricas por los altos contenidos de carbohidratos y grasas. Los excesos de grasa en la dieta, con altos contenidos de AGS se han relacionado principalmente con enfermedades cardiovasculares (Williams, 2000).

Cuadro 2. Composición de ácidos grasos de la leche de bovino

Ácido graso	%	Ácido graso	%
C4:0	1.61	C15:0	1.38
C6:0	1.90	C16:0 [†]	0.35
C8:0	1.30	C16:0	32.31
C10:0	3.25	C16:1	3.55
C10:1	0.32	C17:0	1.11
C12:0	3.66	C18:0 [†]	0.50
C12:1	0.12	C18:0	7.82
C13:0	0.21	C18:1	22.44
C14:0	11.28	C18:3	1.33
C14:1	1.34	C20:0	0.15

[†] AG de cadena ramificada

(Adaptado de Jensen *et al.*, 1991).

En consecuencia, por el alto contenido de grasa en la leche surgió una mala apreciación por los consumidores en los últimos años, la grasa de la leche tiene una alta proporción de AGS como el láurico, mirístico y palmítico, que tienen una acción hipercolesteromiente y se asocian a enfermedades cardiovasculares (Grundy, 1994).

Sin embargo, la grasa de la leche también cuenta con cualidades desde el punto de vista de la salud humana y son atribuidas en especial a algunos AG presentes en la leche. AG insaturados (AGI) como el oleico y linoleico presentan una acción hipocolesteromiante (Grundy, 1994); el butírico y algunos esfingolípidos han demostrado tener acciones anticancerígenas en modelos animales (Parodi, 1999). Los ácidos omega 3 han suscitado un enorme interés en la actualidad por sus efectos beneficiosos, entre ellos propiedades anticancerígenas y prevención de enfermedades cardiovasculares (Yashodhara *et al.*, 2009) y propiedades antiinflamatorias (Dong-Soon, 2012). Algunos AGPI tienen potenciales beneficios para la salud humana, como el ácido linoleico conjugado (CLA, por sus siglas en inglés), específicamente el isómero C18:2 *cis*-9 *trans*-11 (ácido ruménico), al que se le han atribuido propiedades anticarcinogénicas en modelos animales (Ip *et al.*, 1994; Corl *et al.*, 2003), y posiblemente en humanos (Belury, 2002). Otros isómeros de CLA como el C18:2 *trans*-10 *cis*-12 que disminuyen el depósito de grasa en modelos animales (Park *et al.*, 1999) y la concentración de grasa en la leche de vaca (Petterson *et al.*, 2002).

6. EL CLA Y SU IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA

La leche es la mejor fuente natural de ácido linoleico conjugado (CLA C18:2 *cis*9 *trans*11) para el consumo en seres humanos (Chouinard *et al.*, 1999) y se ha demostrado que la manipulación de la dieta del animal es la principal forma de modificar el incrementar su contenido en la leche (Key *et al.*, 2004). Si bien existen preparaciones sintéticas de CLA que pueden utilizarse en la fabricación de leches artificiales, consumir leche o sus derivados enriquecidos naturalmente presenta diferentes ventajas. En primera, el consumidor en la actualidad tiende a rechazar productos sintéticos y opta por lo natural. En segunda, enriquecer la leche con estos productos es difícil, puesto que son productos de importación, por lo tanto incrementan el costo de producción. Desde el punto de vista de la salud humana, algunos estudios han demostrado que el consumo de grasa natural alta en CLA en la dieta de animales experimentales produjo una mayor acumulación de CLA en los tejidos, en comparación con animales alimentados con CLA sintético (Ip *et al.*, 1999). Esto es debido a que la grasa enriquecida de forma natural también contiene altas concentraciones

de ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11), principal precursor de C18:2 *cis*-9 *trans*-11, lo que sugiere una síntesis endógena por parte del consumidor. Por lo tanto, la producción de leche enriquecida de forma natural con CLA va sistemáticamente acompañada con un enriquecimiento paralelo de C18:1 *trans*-11 (Chilliard *et al.*, 2004); así, el consumidor de lácteos naturales altos en CLA recibirá una dosis directa por absorción intestinal del producto y otra dosis indirecta por síntesis endógena a partir de su precursor C18:1 *trans*-11 (Gagliostro, 2004).

Estas razones han motivado a que se realicen investigaciones para el desarrollo de estrategias alimentarias para mejorar la composición de los AG de la leche, disminuyendo la concentración de AGS e incrementado la concentración de CLA, ácido oleico y otros AGPI omega 3 (Dewhurst *et al.*, 2006).

6.1 Estructura del CLA

El ácido linoleico conjugado involucra diferentes isómeros del ácido linoleico que tienen una doble ligadura en las posiciones 8 y 10, 9 y 11, ó 11 y 13, y cada una de las posiciones de estos isómeros pueden ocurrir en configuración geométrica *cis-trans*, *trans-cis*, *cis-cis* o *trans-trans* (Eulitz., 1999). Existe una gran variedad de isómeros de CLA, en la grasa de la leche se han identificado 14 isómeros (Lock y Bauman, 2004). El isómero del CLA mayoritario en la leche es el C18:2 *cis*-9 *trans*-11 (Palmquist *et al.*, 2005), también llamado ácido ruménico, que representa entre 75 y 90% del CLA (Bauman *et al.*, 2006; Sehat *et al.*, 1998).

6.2 Origen del CLA

El CLA es generado por las bacterias del rumen como producto intermediario de la biohidrogenación (BH) del ácido linoleico a ácido esteárico (C18:0), (Chin *et al.*, 1992; Kepler *et al.*, 1966). Esta fracción de CLA sintetizada en el rumen puede ser absorbida y secretada como parte de la leche (Bauman *et al.*, 1999). Aunque el ácido ruménico es sintetizado por las bacterias del rumen, su principal origen en la grasa de la leche proviene de la síntesis endógena en la glándula mamaria por la acción de la enzima Δ^9 -desaturasa a

partir del precursor C18:1 *trans*11, un intermediario formado por biohidrogenación en el rumen a partir de ácido linoleico y linolénico (Grinari *et al.*, 2000; Corl *et al.*, 2001). La concentración de esta enzima en la glándula mamaria y la biohidrogenación del ácido linoleico por la población microbiana ruminal son procesos metabólicos sumamente variables y pueden estar afectados por factores inherentes a la dieta consumida por el animal, debido al efecto sobre las bacterias ruminales involucradas en la biohidrogenación o por cambios en el ambiente ruminal atribuidos principalmente al tipo de dieta, al complemento y a la relación forraje-concentrado de la dieta (Bauman *et al.*, 2001; Bargo *et al.*, 2006; Morales-Almaráz *et al.*, 2010).

6.3 Efectos del CLA en la salud humana

Una estrategia para mejorar la salud humana y por lo tanto la calidad de vida, es el mejorar el contenido nutricional de los alimentos que consumimos. Ahora bien en la actualidad se han descubierto que ciertos alimentos “nutracéuticos” llamados así porque algunos de sus componentes tienen efectos benéficos sobre la salud del consumidor y esto ha motivado a la investigación para descubrir los métodos para incrementar los contenidos de estos nutrientes y así poder ofrecer un producto con una mejor calidad nutricional. Bajo este contexto, la leche contiene ciertos AG como el CLA con diferentes propiedades, se han publicado diferentes trabajos en los que se estudian los efectos de sus diferentes isómeros sobre la carcinogénesis, condición corporal, sistema inmune y prevención de diabetes mellitus (Pariza, 1999). Entre los efectos positivos de los isómeros del CLA en modelos experimentales están la reducción de la acumulación de grasa corporal y efectos antioxidantes (Park *et al.*, 1997), reducción del desarrollo de aterosclerosis (Lee *et al.*, 1994) efectos antidiabéticos, aumento de la mineralización ósea y la modulación de sistema inmune (Belury, 1995; Banni y Martin, 1998; Houseknecht *et al.*, 1998) y supresión de la carcinogénesis (Ip *et al.*, 1994).

6.3.1 Propiedades anticarcinogénicas

El ácido ruménico (CLA *cis*-9 *trans*-11) es el isómero de CLA más abundante en la leche y constituye el único AG capaz de inhibir la carcinogénesis en animales experimentales, Ip *et al.* (1991) indujeron la producción de tumores mamarios en ratas por medio de un compuesto aromático carcinogénico, con la incorporación de grasa enriquecida con distintos niveles de CLA en la dieta de las ratas, demostraron efectos significativos sobre la reducción de los tumores, además se demostró que está condicionada por la dosis de CLA utilizada en la dieta. La reducción de los tumores fue de un 32 y 56 % con dietas de 0.5 y 1.5% de CLA en la dieta, respectivamente. A partir de dosis de CLA de 1%, no se observaron correlaciones entre la dosis y la respuesta del animal, pero tampoco se observaron efectos negativos. Ip *et al.* (1994), señalan que pequeñas cantidades de CLA son eficientes para reducir la eficiencia y número de tumores mamarios, 0.1% de CLA en la dieta reduce el número total de tumores encontrados a la necropsia en tratamientos con roedores a partir del destete y hasta los cinco meses de edad.

Los mecanismos de acción del CLA sobre la carcinogénesis mamaria indican que el CLA no afecta al nivel total de fosfolípidos en el tejido mamario, sino que disminuye la densidad del epitelio mamario y la síntesis de ADN tanto en los brotes de las terminaciones como en los brotes lóbuloalveolares (Thompson *et al.*, 1997). Existen algunos trabajos que evidencian el efecto que ejerce el CLA en los humanos contra el cáncer de mama (Visonneau *et al.*, 1997; Aro *et al.*, 2000), aunque hay poca información disponible y probatoria de la actividad anticancerígena en humanos.

6.3.2 Efectos sobre la aterosclerosis

Si bien las propiedades anticancerígenas del CLA han sido las más estudiadas, también se han observado propiedades curativas sobre enfermedades degenerativas como la aterosclerosis en animales de laboratorio. Lee *et al.* (1994) alimentaron durante 22 semanas a conejos con dietas aterogénicas con o sin CLA, observando reducciones notables de niveles de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de triglicéridos en

plasma a partir de la semana doce. Los estudios histológicos revelaron que los animales tratados con CLA redujeron en un 12% las lesiones en la superficie de la aorta. Por otra parte, la evolución histológica del depósito de reservas de grasa en las aortas torácica y abdominal indicó menor incidencia de casos severos en animales suplementados con CLA en comparación con el grupo testigo.

6.3.3 Efecto antidiabético y sobre el control de la obesidad

El efecto antidiabético atribuido al CLA es confuso por las diferencias observadas en las respuestas de distintas especies. Belury y Vanden Heuvel (1999) en un estudio en ratas obesas y diabéticas observaron que animales alimentados con CLA restablecieron la sensibilidad a la insulina. Por otro lado, estudios en humanos reportan en pacientes obesos que los niveles de insulina y glucosa en el plasma no cambiaron comparando un grupo de individuos alimentados con complementos de CLA (3.0 g/d⁻¹) con un grupo control (Pariza *et al.*, 2001). Se ha demostrado que el CLA puede mejorar la homeostasis de la glucosa e inhibir la acumulación de grasa en los organismos como ratones, ratas y cerdos, por lo tanto tendría que ser efectivo en el caso de humanos padeciendo diabetes (McGuire y McGuire 2000), por lo que se requiere de más investigación en el área para poder tener más claro las propiedades del CLA en este tema.

El isómero C18:2 *trans*-10 *cis*-12 ha demostrado disminuir la grasa (Park *et al.*, 1999). Se supone que este efecto se debe principalmente a una reducción de la absorción de lípidos por parte de los adipocitos (Evans *et al.*, 2002), pero otros autores indican que se debe a la acción directa del isómero y no a la del metabolito (Pariza *et al.*, 2001).

6.3.4 Efectos sobre el sistema inmunitario y la mineralización ósea

En estudios *in vitro* de linfocitos porcinos que se les administró CLA se incrementó la blastogénesis de linfocitos, la actividad citotóxica y la capacidad letal de los macrófagos (Michal *et al.*, 1996). En ratones se ha observado un incremento de la actividad fagocitaria de los macrófagos en animales alimentados con dietas adicionadas con CLA (Cook *et al.*,

1993). Estudios en humanos han demostrado incrementos en las inmunoglobulinas de tipo A y M en individuos alimentados con dietas suplementadas con CLA (Song *et al.*, 2005).

Los efectos del CLA sobre la absorción de calcio ya han sido reportados. Park *et al.* (1997) indicaron que el CLA incrementa el contenido de cenizas en ratones a consecuencia de una mejor mineralización del tejido óseo. Otros estudios en pollos alimentados con CLA tuvieron un nivel más alto de cenizas en la tibia que los animales control (Cook *et al.*, 1993).

7. METABOLISMO DE LÍPIDOS Y SÍNTESIS DE ÁCIDOS GRASOS

Hay dos importantes transformaciones de los lípidos provenientes de la dieta en el rumen, la lipólisis y la biohidrogenación, efectuados por la microflora ruminal. Una vez que la grasa llega a rumen sufre importantes cambios químicos originando AG libres y glicerol. El glicerol es fermentado para producir ácido propiónico principalmente, que será absorbido junto con el resto de los ácidos grasos volátiles (AGV) a través de la pared ruminal. Los AG libres son saturados debido a que en el ambiente ruminal se produce una hidrogenación de AGI para saturarlos. Un 70 a 90% de los AGPI son saturados principalmente a ácido esteárico o isómeros *trans* de AGMI (Palmquist y Jenkins, 1980). Como resultado, la grasa que abandona el rumen es mayoritariamente saturada, por lo que los productos de los rumiantes tienden a ser más saturados que los de monogástricos (Jenkins *et al.*, 2008).

7.1 Metabolismo de los lípidos en el rumen

Se han identificado dos importantes transformaciones de los lípidos de la dieta en el rumen: la lipólisis y la biohidrogenación (BH) (Harfoot, 1978; Palmquist y Jenkins, 1980). Ambos procesos tienen lugar por acción de la población microbiana, llegan a una reducción de 70 a 90% de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) transformándolos a saturados, principalmente a ácido esteárico, o a isómeros *trans* de ácidos grasos monoinsaturados (Palmquist y Jenkins, 1980).

7.1.1 Lipólisis

Una vez llegados los lípidos esterificados al rumen son hidrolizados por enzimas microbianas liberando los ácidos grasos (Jenkins, 1993). La hidrólisis de los lípidos esterificados se atribuye a galactosidasas y fosfolipasas producidas por la microflora ruminal (Harfoot y Hazlewood, 1988). Las bacterias ruminales son las que llevan a cabo la lipólisis por medio de las lipasas bacterianas, principalmente de *Anaerovibrio lipolytica* (Henderson, 1975), aunque también se ven involucrados los protozoos (Wright, 1961). Algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens* poseen actividad esterasa, pero pocas pueden hidrolizar ésteres de ácidos grasos de cadena larga.

7.1.2 Biohidrogenación ruminal

Los AGPI que predominan en los alimentos de origen vegetal para los rumiantes son tóxicos para la población microbiana ruminal (Harfoot y Hazlewood, 1997), por lo tanto los microorganismos ruminales se encargan de la desintoxicación mediante el proceso de hidrogenación (Doreau *et al.*, 1999). Esta reacción afecta a una elevada proporción de AGI que llegan a rumen y pasan al torrente sanguíneo una vez saturados, siendo esto determinante para el alto contenido en AGS en las grasas corporales de los rumiantes. Los ácidos grasos que no son hidrogenados atraviesan intactos el rumen y llegan al intestino delgado donde son absorbidos con los demás AG. A continuación pueden llegar a la glándula mamaria explicando así la aparición en grasa de la leche de AGI idénticos a los existentes en otros ingredientes alimenticios (Chilliard *et al.*, 2001).

La biohidrogenación (BH) mas estudiada y mejor conocida es la de los dos AGPI mayoritarios en la fracción lipídica de los alimentos vegetales para el ganado, el ácido linoleico y linolénico (Figura 5). Su desarrollo conforma dos rutas metabólicas que se denominan ordinaria y alternativa (Bauman *et al.*, 2001). La primera es la que prevalece con una ingestión diaria y constante que permita el desarrollo de una flora bacteriana característica y equilibrada del rumen. En ella, partiendo del ácido linoleico, tienen lugar dos reacciones en la primera etapa de la BH. La primera es una reacción de isomerización

del doble enlace *cis*-12 a *trans*-11 por la enzima *cis*-9 *trans*-11 isomerasa o linoleato isomerasa. Conduce a la formación de uno de los isómeros de ácido linoleico conjugado, el C18:2 *cis*-9 *trans*-11, esta isomerización es muy rápida (Kepler *et al.*, 1966). La segunda reacción es la reducción del C18:2 *cis*-9 *trans*-11 a C18:1 *trans*-11 o ácido vaccénico y también C18:1 *cis*-11 en menor medida (Fellner *et al.*, 1995). Cuando se parte del ácido linolénico sus dos isómeros *cis* (α -linolénico o C18:3 *cis*-9 *cis*-12 *cis*-15 y γ -linolénico o C18:3 *cis*-6 *cis*-9 *cis*-12) son isomerizados en el doble enlace *cis*-12 a *trans*-11 seguido de una reacción de dobles enlaces *cis* hasta formar C18:1 *trans*-11, C18:1 *cis*-15 ó C18:1 *trans*-15. La segunda etapa de la BH convierte los isómeros C18:1 a ácido esteárico, esta etapa se realiza de una manera más lenta, por tanto puede tener lugar en el rumen un incremento de productos intermedios como C18:1 *trans*-11 principalmente, facilitando que pueda haber una mayor disponibilidad del mismo y una mayor absorción en intestino (Bauman *et al.*, 1999).

La BH de los AGI no tiene que ser completa, lo que significa que hay metabolitos intermedios que abandonan el rumen y llegan a intestino donde pueden ser absorbidos. Tal es el caso de los CLA *cis*-9 *trans*-11 y CLA *trans*-10 *cis*-12 y de ácido vaccénico. Diversos estudios han demostrado que existe una correlación lineal entre la concentración del ácido vaccénico y del CLA *cis*-9 *trans*-11 en la leche de la vaca (Chilliard *et al.*, 2001; Wijesundera *et al.*, 2003), hecho que está relacionado con la síntesis de CLA *cis*-9 *trans*-11 a partir de vaccénico en la glándula mamaria por la acción de la enzima Δ^9 -desaturasa, una enzima que actúa sobre el vaccénico introduciéndole un doble enlace *cis* en la posición de carbono 9 (Bauman *et al.*, 1999). Pese a que CLA *cis*-9 *trans*-11 puede ser absorbido en la pared intestinal proveniente de la BH de rumen y posteriormente llegar a la glándula mamaria para ser secretado en leche, la mayor parte de éste (75 %) proviene de la desaturación del ácido vaccénico en la glándula mamaria (Chilliard *et al.*, 2001).

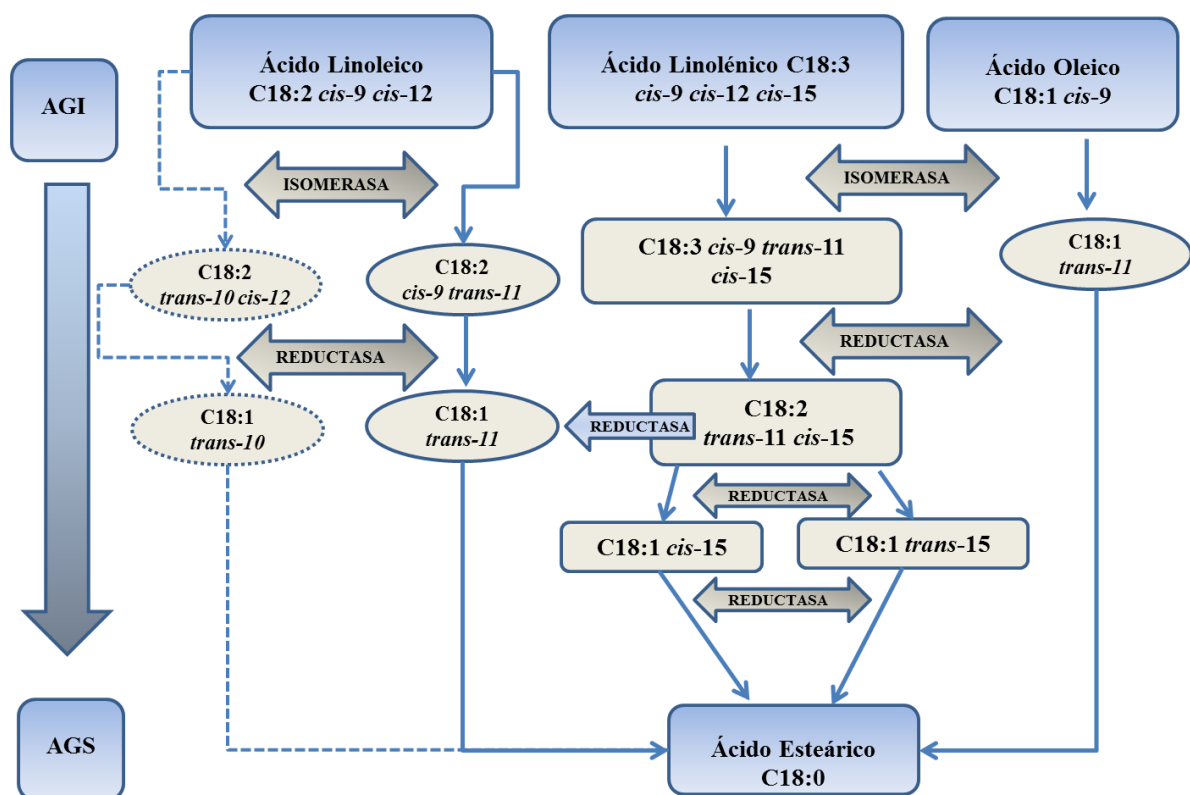


Figura 5. Ruta de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados (AGI): linoleico, linolénico y oleico (Adaptado de Harfoot y Hazlewood, 1988).

El proceso de BH se lleva a cabo por efecto de las bacterias ruminales, *Butyrivibrio fibrisolvens*, es la principal bacteria capaz de realizar la hidrogenación de AGI (Qiu *et al.*, 2001; Bell y Kenelly, 2003), aunque otras bacterias pueden estar implicadas en el proceso como las del género *Treponema* (Yokohama y Davis, 1971), *Eubacterium* y *Ruminococcus* (Kemp *et al.*, 1975). *Megasphaera elsdenii* es de suma importancia en el proceso de BH, ya que su producto de la hidrogenación es el CLA *trans-10 cis-12* (Kim *et al.*, 2002). Aunque los protozoos juegan un papel importante en la BH, las bacterias son las más activas en este proceso, siendo las bacterias celulolíticas las más involucradas en el proceso de BH de los AG (Martín y Jenkins. 2002). Recientemente, Nam y Garnsworthy (2007) han demostrado

que los hongos del rumen también pueden biohidrogenar ácidos grasos de cadena larga, aunque con una tasa considerablemente más lenta que la de las bacterias.

7.2 Síntesis *de novo*

Los AG en la leche de los bovinos son sintetizados *de novo* en la glándula mamaria desde acetato, como fuente de carbonos, producido en el rumen por la fermentación de carbohidratos y β -hidroxibutirato (BHBA), producido por el epitelio del rumen desde el butirato absorbido, proporcionando aproximadamente la mitad de los primeros cuatro carbonos de los AG sintetizados *de novo* (Bauman y Davis, 1974). Los AG de longitud de cadena de C4 a C14 y aproximadamente la mitad del ácido palmítico (C16:0) son derivados de la síntesis *de novo* en las células epiteliales mamarias. El resto de C16:0 y todos los AG de cadena más larga son de origen circulatorio provenientes de la absorción intestinal de los AG de la dieta o de la movilización de reservas corporales (Bauman y Griinari, 2001). Se puede considerar que el 50% de los AG de la leche proceden de la síntesis endógena a partir del acetato (40 %) y β -hidroxibutirato (10 %), mientras que el restante procederá de los triglicéridos plasmáticos.

La actividad de la enzima Δ^9 -desaturasa está relacionada con la síntesis de algunos AG en la glándula mamaria por medio de la síntesis *de novo* y determina la presencia de estos ácidos en la leche. La acción de esta enzima consiste en introducir un doble enlace *cis*-9 a los ácidos mirístico, palmítico, esteárico y vaccénico, los cuales sirven como sustrato para dar lugar a la síntesis de los ácidos miristoleico, palmitoleico, oleico y ácido linoleico conjugado (CLA, C18:2 *cis*-9 *trans*-11), respectivamente. La relación de estos pares de ácidos grasos definen la actividad de la enzima Δ^9 -desaturasa en la glándula mamaria (Griinari *et al.*, 2000).

8. FACTORES QUE DETERMINAN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO EN LA LECHE

La leche y sus derivados lácteos representan una fuente valiosa de nutrientes como proteínas, vitaminas, energía, calcio y otros minerales. La grasa de la leche es una fuente

muy rica en AG, en especial CLA (C18:2 *cis*-9 *trans*-11), que como ya se ha mencionado anteriormente, podría representar un nutriente con potenciales beneficios sobre la salud. Por lo tanto, los investigadores y la industria lechera han mostrado gran interés por el desarrollo de estrategias para alterar el perfil de AG en la leche y sus derivados, disminuyendo la proporción de AGS, particularmente de ácidos de cadena media como C12:0, C14:0 y C16:0, asociados con problemas cardiovasculares (Grundy, 1994), e incrementando las concentraciones de ácido oleico (C18:1 *cis*-9), AGPI omega 3 y CLA (C18:2 *cis*-9 *trans*-11) como estrategia para mejorar la salud humana a largo plazo (Dewhurst, 2005), ya que representa un producto para consumo más saludable al contener una menor proporción de grasas saturadas y un alto contenido de nutrientes con potenciales beneficios a la salud.

Existen diferentes factores que pueden modificar el perfil de AG y los contenidos de CLA en la leche y están relacionados principalmente con el medio ambiente, el animal y la dieta. La manipulación de la dieta del animal ha sido el factor más importante en la modificación del perfil de AG y las concentraciones de CLA en la leche de los bovinos (Bauman *et al.*, 2001; Chilliard *et al.*, 2000; Morales-Almaráz *et al.*, 2010).

8.1 La alimentación

La variación en el contenido de AG y de CLA en la leche se produce principalmente por el efecto de la dieta (Bauman *et al.*, 2001). La manipulación de la dieta del animal ha sido la más estudiada para incrementar el contenido de C18:2 *cis*-9 *trans*-11 en los alimentos de los rumiantes (Jiang *et al.*, 1996; Jahreis *et al.*, 1997; Lawless *et al.*, 1998; Dhiman *et al.*, 2000). Diferentes estudios reportan incrementos del contenido de CLA y disminución del contenido de AGS en leche por medio del pastoreo (Dhiman *et al.*, 1999; Looor *et al.*, 2002; Khanal *et al.*, 2003; Kay *et al.*, 2004; Morales-Almaráz *et al.*, 2010; 2011), la complementación con aceite de plantas y semillas (Dhiman *et al.*, 2000; Khanal *et al.*, 2002) y por la complementación con aceite de pescado (Donovan *et al.*, 2000; Abu-Ghazaleh *et al.*, 2003). Los factores alimenticios más importantes que modifican el contenido de AG en la leche son el pastoreo, la complementación con ensilados y/o concentrados y la utilización de grasas y aceites en la dieta del animal.

8.1.1 Efecto del pastoreo

El contenido de AG en los forrajes verdes está conformado aproximadamente por un 95% de ácidos linolénico (C18:3 *cis*-9 *cis*-12 *cis*-15), linoleico (C18:2 *cis*-9 *cis*-12) y palmítico (C16:0) (Hawke, 1973; Bauchard *et al.*, 1984; Elgersma *et al.*, 2003). Una alta proporción (50-75%) se encuentra en forma de linolénico, por lo que representaría una fuente natural y ambientalmente sostenible como sustrato para síntesis de CLA y ácido vaccénico en el rumen, y de forma indirecta en la leche por su aporte de vaccénico a la glándula mamaria como sustrato para la síntesis de CLA (Elgersma *et al.*, 2005; Griinari *et al.*, 2000). Por esta razón la alimentación con forrajes frescos representa la principal y más económica forma de modificar el perfil de AG e incrementar aquellos AG con beneficios a la salud. En los últimos 20 años se han realizado diferentes investigaciones relacionadas con el efecto del pastoreo sobre los AG en la leche, en los cuales se reportan una menor cantidad de AGS y un incremento en CLA, AGPI y oleico por el efecto del pastoreo en comparación con animales en la estabulación.

Bargo *et al.* (2006b) reportaron las mayores concentraciones de los ácidos grasos C16:0, C18:2 *cis*-9 *cis*-12 y C18:3 *cis*-9 *cis*-12 *cis*-15 (15.58, 13.01 y 57.41 g 100g⁻¹, respectivamente), en praderas de pasto bromo y dátilo, valores relativamente constantes desde mayo a septiembre. Estos investigadores compararon tres tipos de sistemas de alimentación sobre el contenido de AG en leche observando mayor concentración de CLA *cis*-9 *trans*-11 en vacas en pastoreo comparadas con aquellas alimentadas con TMR (dietas totalmente mezcladas, por sus siglas en inglés) en confinamiento (1.21 vs 0.59 g/100g AG, respectivamente); así mismo, reportan una menor concentración de AGS (43.85 g/100g AG) en el sistema bajo pastoreo comparado con las vacas alimentadas con TMR (38.58 g/100g AG). Esto podría explicar por qué en sistemas de alimentación basados en pastoreo se han observado contenidos más altos del isómero CLA *cis*-9 *trans*-11 en leche que en los que utilizan TMR sin aporte de forraje verde (Kelly *et al.*, 1998; White *et al.*, 2001; Schroeder *et al.*, 2003; Khanal *et al.*, 2005; Schroeder *et al.*, 2005).

Dhiman *et al.* (1999) encontraron que vacas en pastoreo tuvieron 5.7 veces más alta la concentración de CLA en leche que las que consumían dietas con sólo forraje conservado. Vibart *et al.* (2008) reportaron una mayor concentración de CLA *cis-9 trans-11* y menor contenido de AGS cuando se incrementó la proporción de forraje en la dieta ofertado mediante el pastoreo. Ferlay *et al.* (2006) observaron que la concentración de los ácidos esteárico, oleico, vaccénico y CLA *cis-9 trans-11* estuvo estrechamente relacionada cuando los animales consumieron exclusivamente pasto natural de montaña, mientras que el contenido de AG de cadena corta y media estuvieron relacionados con una alimentación rica en concentrados (65% MS de la dieta). Loo *et al.*, (2003) observaron una mayor concentración en leche del ácido vaccénico (2.2 vs 1.4 g/100 g AG) y de CLA *cis-9 trans-11* (1.0 vs 0.60 g/100 g AG) cuando los animales estuvieron en pastoreo contra los que consumieron exclusivamente TMR, respectivamente; mientras que el contenido de ácido linolénico fue 60% mayor para las vacas en pastoreo. Couvreur *et al.* (2006) realizaron un trabajo con distintos niveles de oferta de MS de forraje fresco en la dieta de vacas lecheras (0, 30, 60 y 100%) en sustitución de ensilado de maíz. El contenido de CLA *cis-9 trans-11* aumentó conforme incrementaba la cantidad de forraje fresco en la dieta, siendo mayor en las vacas alimentadas totalmente con forrajes frescos de aquellas cuya dieta era únicamente ensilado de maíz (1.65 vs 0.48 g/100g AG). Morales-Almaráz *et al.*, (2010) observaron una mayor concentración en leche del ácido vaccénico (4.09 vs 2.26 g/100 g de AG) y de CLA *cis-9 trans-11* (0.60 vs 0.30 g/100 g de AG) cuando vacas permanecieron 12 horas al día en la pradera con complementación con TMR en el corral, que vacas en estabulación con dietas TMR, respectivamente; mientras que el contenido de AGS fue mayor para las vacas en estabulación comparado con las vacas en pastoreo (71.4 vs 69.4 g/100 AG).

8.1.2 Complementación al pastoreo

El objetivo de la complementación de vacas lecheras en pastoreo es incrementar el consumo total de MS y el consumo de energía para incrementar a su vez la producción láctea y evitar un balance de energía negativo (Peyraud y Delaby, 2001). Ahora bien, es de suma importancia conocer el efecto de la complementación sobre el perfil de AG y a su vez

determinar el nivel adecuado de complementación, de forma que no afecte los parámetros productivos y ni la calidad nutritiva de la leche.

8.1.2.1 Forrajes conservados: ensilados y henos

La conservación del forraje, como heno o ensilado, afecta el contenido de ácido linolénico y de CLA *cis-9 trans-11* en la grasa de la leche, como consecuencia de que en el forraje conservado disminuye la concentración de linolénico y aumenta la de palmítico (Noble *et al.*, 1974). En la elaboración de heno se reducen los AG totales con una mayor pérdida de ácido linolénico (Doreau y Poncet, 2000). La alimentación con forrajes frescos presenta un efecto más positivo que con alimentación basada en forrajes conservados, ya que en el forraje fresco existe un mayor contenido de ácido linolénico (Chilliard *et al.*, 2001).

Shingfield *et al.* (2005) evaluaron la concentración de AG de la grasa de la leche de vacas por el efecto del tipo de ensilado (de maíz o de pasto) con diferentes niveles de concentrado. No encontraron diferencias en los contenidos de CLA *cis-9 trans-11* y la concentración total de AGS y AGPI por el efecto del tipo de ensilado. Los ácidos grasos de cadena media como el láurico y mirístico los reportan con mayor concentración en la grasa láctea de vacas alimentadas con ensilado de maíz, en contraste las concentraciones de ácido esteárico y linolénico que fueron mayores en las vacas alimentadas con ensilado de pasto. Nielsen *et al.* (2006) en un estudio similar observaron una mayor concentración de ácido láurico, mirístico, palmítico, esteárico y linolénico en vacas alimentadas con ensilado de pasto. En contraste reportan una mayor concentración de CLA *cis-9 trans-11* en vacas alimentadas con ensilado de maíz en comparación con ensilado de pasto (1.39 vs 0.90 g/100g AG), de manera similar la concentración de ácido linoleico fue mayor con la alimentación de ensilado de maíz (1.76 vs 1.37 g/100g AG). Estos resultados no son consistentes por lo que se requiere de más investigaciones para una mejor comprensión de los efectos del tipo de ensilado y su complementación al pastoreo.

8.1.2.2 Complementación con concentrados

El objetivo de la complementación de vacas lecheras en pastoreo es incrementar el consumo total de MS y el consumo de energía para incrementar a su vez la producción láctea y evitar el un balance de energía negativo (Peyraud y Delaby, 2001). Los concentrados son ricos en almidón y son complementados en periodos de escasos de pasto o bien para cubrir los requerimientos nutricionales que no aporta el forraje (Stockdale, 1999). Ahora bien, complementar con altos niveles de concentrado afecta los procesos de biohidrogenación como resultado del bajo pH ruminal (Latham *et al.*, 1972; Bargo *et al.*, 2006) y esto a su vez promueve cambios en la producción de AG en rumen y en glándula mamaria (Enjalber *et al.*, 2008) resultando en un incremento en la insaturación de la grasa de la leche (Kemp *et al.*, 1991). Stockdale *et al.* (2003) en vacas en pastoreo complementadas con 7 a 9 kg/día de concentrado reportan un incremento de AG de cadena corta como C6:0 a C10:0 y de cadena media como C12:0 a C16:0 con respecto a vacas no complementadas.

Bargo *et al.* (2006) en un estudio de vacas en pastoreo complementadas con concentrado (1kg concentrado/4kg leche) reportan una mayor concentración de C12:0 y C14:0 en comparación con vacas no complementadas (2.50 vs 1.80 y 9.31 vs 7.59 g/100g AG). Ácidos grasos de cadena larga como oleico y linolénico fueron afectados negativamente por la complementación con concentrados observando mayores concentraciones en vacas no complementadas (30.89 vs 27.18 y 1.16 vs 0.79 g/100g AG). Las concentraciones de ácido vaccénico y CLA *cis*-9 *trans*-11 reportadas por estos autores disminuyeron en vacas complementadas con respecto a aquellas que no recibieron concentrados (1.18 vs 1.36 y 2.79 vs 3.48 g/100g AG). La concentración de AGS incrementó y los AGI disminuyeron por efecto de la complementación de concentrados. En otro estudio Nielsen *et al.* (2006) evaluaron el efecto del tipo de ensilado (maíz o pasto) y el nivel de concentrado (alto o bajo) sobre la concentración de AG en leche de vacas, el nivel de concentrado no modificó las concentraciones de AGS como C12:0, C14:0 y C16:0. Las concentraciones de CLA *cis*-9 *trans*-11 y ácido vaccénico fueron mayores en vacas alimentadas con bajo nivel de

concentrado (1.61 vs 1.17 y 2.80 vs 1.55 g/100g AG). No reportan diferencias en cuanto a la concentración de ácido estérico, oleico y linolénico por efecto del nivel de concentrado. Shingfield *et al.* (2005) evaluaron el efecto del tipo de forraje (ensilado de maíz vs ensilado de pasto) y la proporción de concentrado en la dieta (65:35 y 35:65; relación forraje: concentrado en MS) con suplementación en la dieta de aceites de soya y pescado sobre el perfil de AG de la leche de vacas en estabulación. Las concentraciones de AGS como C12:0, C14:0, C16:0 y C18:0 no se modificaron por el efecto del nivel del concentrado en la dieta. El ácido linoleico (C18:2 *cis*-9 *cis*-12) fue mayor en vacas alimentadas con alta proporción de concentrado comparadas con vacas alimentadas con dietas bajas en concentrado (3.79 vs 3.25 g/100g AG). De forma contraria vacas alimentadas con bajos niveles de concentrado mostraron concentraciones más altas de ácido linolénico (0.32 vs 0.26 g/100g AG). Las concentraciones de CLA *cis*-9 *trans*-11 y ácido oleico no fueron afectadas por el efecto del nivel de concentrado.

8.1.3 Utilización de grasas y aceites en la dieta animal

Diferentes estudios se han realizado para evaluar el efecto del contenido de AG y CLA *cis*-9 *trans*-11 con la complementación con grasas protegidas o con aceites de origen animal o vegetal puesto que son una fuente rica en energía y a su vez proporcionan AG utilizados como sustrato en la BH de AGPI o para la síntesis *de novo* en la glándula mamaria y promover la presencia de ácidos grasos de cadena larga en la grasa de la leche (AbuGhazaleh *et al.*, 2002; 2003; Schroeder *et al.*, 2002; 2003).

Carrol *et al.* (2006) evaluaron la composición de AG de la leche de vacas de distinto genotipo en respuesta a incrementar distintos niveles de sebo como complemento en la dieta (0, 15, 30 y 45 g/kg de la dieta como alimento). Estos autores encontraron que los AGS con C12:0, C14:0 y C16:0 disminuyeron su concentración conforme se incremento el nivel de grasa en la dieta. Las concentraciones de C18:0 y C18:1 *cis*-9 se incrementaron linealmente con el aumento de la grasa complementada, de forma contraria los ácidos linoleico y linolénico disminuyeron con el incremento de grasa. El CLA *cis*-9 *trans*-11 fue

mayor en vacas complementadas con 45 g de grasa con respecto a vacas no complementadas (0.76 vs 0.33 g/100g AG).

Algunos tratamientos tecnológicos son usados para proteger los AG de la dieta contra los microorganismos ruminales o proteger la fermentación ruminal contra los efectos de los lípidos de la dieta (Doreau *et al.*, 1989). La encapsulación de los lípidos consiste en protegerlos de la BH del rumen rodeándolos de una matriz de caseína tratada con formaldehídos. El objetivo es intentar mejorar la transferencia de AGPI de la ración a la leche con un bajo contenido de AGS y han sido ampliamente utilizados en el ganado vacuno (Chilliard *et al.*, 1993). Los jabones cálcicos de AG de cadena larga son lípidos cuya protección se basa en el efecto benéfico de la adición de calcio, que forma una unión estable en el rumen, estos jabones se disocian en abomaso liberándose así los AG que pueden ser absorbidos posteriormente en intestino (Jenkins y Palmquist, 1984). Schroeder *et al.* (2003) reportan que disminuye la concentración (g/100g AG) de AGS como C12:0, C14:0 y C16:0 e incrementa la de ácidos grasos de cadena larga como CLA *cis-9 trans-11* al adicionar jabones calcios de ácidos grasos insaturados en comparación con vacas complementadas solo con concentrados.

La adición de aceites vegetales como girasol, soya, maíz, colza, lino, cártamo y cacahuate como complemento en la dieta suele producir incrementos importantes en la concentración de CLA y ácidos grasos *trans* (Chilliard *et al.*, 2001). Varios autores observaron efectos positivos de la complementación con aceite de soya sobre la concentración de CLA en la leche de vaca (Dhiman *et al.*, 2000, Chouniard *et al.*, 2001). Dhiman *et al.* (2000) complementaron vacas con aceite de soya (3.6%) o con aceite de lino a dosis baja (2.2%) y alta (4.4%) observando concentraciones de CLA *cis-9 trans-11* de 2.10, 1.63 y 1.58 g/100g AG respectivamente con respecto a 0.39 g/100g AG del grupo control. Kelly *et al.* (1998) reportan mayores concentraciones de CLA *cis-9 tras-11* en vacas complementadas con aceite de girasol (2.44g/100g AG) con respecto a vacas complementadas con aceite de lino o aceite de cacahuate (1.97 y 1.33 g/100g AG). Aceites ricos en ácido linoleico como el girasol son más eficientes para incrementar el CLA, un alto nivel de ácido linoleico puede

llegar a saturar las bacterias responsables de la BH en rumen y por consiguiente inhibir la BH del ácido vaccénico representando una fuente disponible para la síntesis de CLA *cis-9 trans-11* en la glándula mamaria (Loor y Herbein, 2003).

El aceite de pescado ha sido utilizado para suministrar AGPI de cadena larga, eicosapentaenóico (EPA, C20:5) y docosohexaenóico (DHA, C22:6) y pueden estimular niveles altos de CLA *cis-9 trans-11*. Estudios previos han demostrado que la inclusión de aceite de pescado interrumpe la BH completa de los AGPI de cadena larga, resultando en un incremento de la producción de ácido vaccénico (Harfoot y Hazlewood, 1997; Lee *et al.*, 2005; 2008). Los aceites de pescado son más eficientes que los aceites vegetales para incrementar la concentración de CLA (Chilliard *et al.*, 2001) y aún más cuando se combina este aceite con otros ricos en ácidos linoleico y linolénico (AbuGhazaleh *et al.*, 2002).

8.2 La raza o genotipo animal

Se han realizado diversos estudios para evaluar el efecto de la raza sobre el contenido de grasa en leche y su composición de ácidos grasos. Stull y Brown (1964) encontraron que la grasa de la leche de vacas Holstein fue más baja en C10:0, C12:0 y C16:0 y más alta en C18:1 que la de vacas Jersey o Guernesey. White *et al.* (2001) evaluaron vacas en producción de las razas Holstein y Jersey bajo dos sistemas de alimentación (pastoreo vs confinamiento), estos autores reportan una mayor concentración de CLA en la leche de vacas Holstein con respecto al efecto de genotipo (0.56 vs 0.45 g/100g AG, respectivamente), y por el efecto del sistema de alimentación, siendo mayor el contenido de CLA en la raza Holstein en pastoreo (0.72 vs 0.59) y en confinamiento (0.41 vs 0.32 g/100g AG); las concentraciones de AGS como C6:0, C8:0, C10:0, C12:0 y C14:0 fueron mayores en la raza Jersey para ambos sistemas de alimentación. Lawless *et al.* (1999) evaluaron cuatro razas de ganado lechero y observaron que la raza Montbeliardde mostro la mayor concentración de CLA en la grasa de la leche (1.99 mg g⁻¹ de grasa), seguida por la Holstein-Friesian Irish (18.4) y Holstein-Friesian Dutch (17.6) y con la menor concentración la raza Normanda (16.7 mg g⁻¹ de grasa).

Carrol *et al.* (2006) evaluaron el efecto del genotipo sobre la composición de AG de la leche de vacas Holstein, Jersey y Pardo Suizo incluyendo diferentes niveles de grasa en la dieta, encontrando mayor proporción en leche de AG de cadena corta y media en vacas Jersey que en Holstein y Pardo Suizo. El contenido de AG de cadena larga fue mayor en Pardo Suizo y menor en vacas Jersey. Las concentraciones de ácidos grasos de cadena media como C12:0, C14:0 y C16:0 no se vieron afectadas por el efecto del genotipo. Los contenidos de C18:1 *trans*-11 fueron mayores en la raza Holstein comparadas con Pardo Suizo y Jersey (1.28, 1.07 y 1.08 g/100g AG, respectivamente). En contraste, C18:1 *cis*-9 fue mayor en la raza Pardo Suizo comparado con la Holstein y Jersey (23.23, 19.98 y 18.77 g/100g AG). Los ácidos grasos linoleico, linolénico y CLA *cis*-9 *trans*-11 no mostraron diferencia por efecto del genotipo.

Kelsey *et al.* (2003) reportan que AGS como C12:0 y C14:0 se encuentran en mayor concentración ($P<0.05$) en la grasas de la leche de vacas Pardo Suizo comparadas con la raza Holstein (2.62 vs 2.29 y 8.53 vs 8.15 g/100g AG); las concentraciones de ácidos vaccénico, linoleico y CLA *cis*-9 *trans*-11 reportados por estos autores son mayores ($P<0.05$) en la raza Holstein que en la Pardo Suizo (1.14 vs 0.95, 3.62 vs 3.41 y 0.44 vs 0.41 g/100g AG).

Es importante tener en cuenta que, dada la excesiva variación entre individuos, se requiere un alto número de animales para el diseño de este tipo de experimentos. Los efectos vinculados al genotipo son significativos ($P<0.05$), pero generalmente de alcance limitado (Palmquist *et al.*, 1993, Chilliard y Ferlay, 2004); además, es de una heredabilidad moderada, por lo cual tiene sentido la selección de animales con alto contenido de CLA en leche, aunque los resultados se obtendrían a largo plazo. Con la misma dieta, se observan diferencias entre individuos de hasta el doble en el contenido de CLA en leche, diferencias que se mantienen durante todo el periodo experimental (Peterson *et al.*, 2002). Algunos animales tuvieron consistentemente una respuesta significativa en el contenido de CLA con el cambio de dieta, mientras que otros mostraron poca o nula respuesta. En general, los niveles de CLA difieren entre vacas, pero los patrones de respuesta a los cambios en la

dieta son similares. Esto sugiere que factores adicionales, tales como la regulación genética individual de la microflora del rumen, podrían también operar en el control de la síntesis ruminal de CLA (Moore *et al.*, 1993).

Resulta difícil deslindar los efectos de genotipo de los de alimentación sobre la composición en ácidos graso de la leche. La variación genética incluye diferencias relacionada con la biohidrogenación en rumen y con la actividad de la Δ^9 -desaturasa en la glándula mamaria (Peterson *et al.*, 2002). Se especula que las diferencias genéticas entre individuos son más bien imputables a la producción ruminal de C18:1 *trans*-11 y en menor grado a la de CLA y a la actividad de la enzima Δ^9 -desaturasa en la glándula mamaria (Kelsey *et al.*, 2003).

8.3 Etapa de lactación

Los efectos de la etapa de lactación sobre niveles de CLA en leche no están claros (Lock *et al.*, 2005). MacGibbon *et al.* (2001) y Auldist *et al.* (2002) con vacas lecheras en pastoreo, hallaron mayores concentraciones de CLA *cis*-9 *trans*-11 al inicio y final de la lactación que a la mitad, pero estos efectos se enmascaran con los cambios de digestibilidad por la madurez de las plantas y la asignación del pasto (Stockdale *et al.*, 2003). Por otro lado, se confunde fácilmente la época del año con la fase de lactación (Lock y Garnsworthy, 2003). Auldist *et al.* (1998) utilizaron cuatro hatos en pastoreo, en cuatro épocas de parto diferentes; ellos reportan un incremento en el contenido de CLA *cis*-9 *trans*-11 en la grasa de la leche con el avance de la lactación. Sin embargo Kelsey *et al.* (2003), muestrearon 200 vacas que consumían la misma dieta TMR, y reportaron que el contenido de CLA *cis*-9 *trans*-11 no se vio afectado por la etapa de lactación. La gran variabilidad individual en los niveles de CLA *cis*-9 *trans*-11 probablemente requiere medidas repetidas en el tiempo para detectar los efectos de la fase de lactación (Bargo *et al.*, 2006).

9. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE MATERIA SECA DE VACAS EN PASTOREO

El uso de praderas en la alimentación de vacas lecheras resulta en un sistema de alimentación de bajo costo ya que los forrajes son la fuente de nutrientes más barata (Clark y Kanneganti, 1998; Peyraud y Delaby, 2001). Además, se ha reportado que la leche producida por vacas en pastoreo o consumiendo forraje fresco contiene mayores concentraciones de ácidos grasos insaturados que la de vacas alimentadas en confinamiento con ensilados y concentrados (Elgersma *et al.*, 2003). Sin embargo, la ingestión de forraje como único ingrediente en la dieta del animal es considerado uno de los principales factores limitantes en la producción (Forbes, 1995). La cantidad de forraje consumido depende de gran diversidad de factores relacionados principalmente con la alimentación, el animal y el medio ambiente, de los cuales se mencionarán los más importantes.

9.1 Factores relacionados con el alimento

Los factores relacionados con la dieta que afectan su consumo están relacionados con la estructura física y calidad del forraje, la disponibilidad forrajera y la complementación.

9.1.1 Características físicas y nutricionales del forraje

Las propiedades físicas y químicas del alimento determinan, en parte, el nivel de ingestión de alimento (Van Soest, 1977). Particularidades del forraje como la fragilidad, el contenido de fibra neutro detergente o la proporción de la fracción indigestible, afectan de manera importante su digestibilidad debido a la acumulación de partículas sólidas en el rumen que suponen una limitación importante en el ritmo de paso de la digesta y por lo tanto de la ingestión del mismo (Hodson y Brookes, 1999). Las variaciones que sufre la composición química y física de las plantas conforme maduran, sea el aumento en la proporción de fibras y lignina, y la reducción de proteínas y carbohidratos, son acompañadas de un descenso de la digestibilidad del forraje, limitando su ingestión por el incremento en el tiempo de retención en el rumen (Lamb *et al.*, 2002).

9.1.2 Disponibilidad de forraje

Diversos factores del forraje afectan el consumo de materia seca (CMS), incluyendo la cantidad de forraje previa al pastoreo (kg MS/ha) y la disponibilidad de forraje (cantidad de forraje ofrecido, kg MS/vaca/d). Diversos investigadores (Dalley *et al.*, 1999; Stockdale, 1985) han reportado que el consumo de MS está estrechamente correlacionado con la disponibilidad del mismo. No se conoce con precisión que disponibilidad de forraje es requerida para maximizar el consumo de MS. Leaver (1985) propuso que el máximo consumo de MS se obtiene con una disponibilidad de forraje entre 27 a 33 kg MS/vaca/d, para una vaca de 600 kg. En otros estudios más recientes Bargo *et al.* (2003) una asignación de forraje de 25 kg MS/vaca/d es adecuada para no comprometer la producción de leche si el forraje no es la única alimentación. Burke *et al.* (2008) evaluaron la asignación de forraje de 15 kg de MS/vaca/d en bovinos Holstein en pastoreo, cuyo consumo fue de 14.6 kg de MS/d, por lo que consideraron que hubo restricción de alimento en términos de disponibilidad para consumo de forraje cuando las vacas no recibieron un complemento; sin embargo, ofertando la misma cantidad de forraje y complementando concentrado o ensilado de maíz, el consumo de forraje en pastoreo solo disminuyó de 1.5 a 2.0 kg MS/vaca/d, esto sugirió que los complementos ofrecidos causaron una reducción en el consumo de MS de forraje en pastoreo por el efecto sustitución. Kay *et al.* (2007) evaluaron la restricción del forraje mediante una alta (42 kg de MS/vaca/d) y baja (22 kg de MS/vaca/d) asignación de forraje en pastoreo, los autores concluyeron que la restricción de forraje redujo el consumo de MS (de 13.4 a 11.6 kg/d) y tuvo un efecto más marcado en la reducción del rendimiento de leche en torno a un 25% (de 15.7 a 11.9 kg/d).

9.1.3 Efecto de la complementación sobre el consumo de forraje

9.1.3.1 Tasa de sustitución y respuesta a la complementación

Cuando las vacas en pastoreo reciben complementos, el consumo de MS de forraje generalmente disminuye, lo cual es conocido como tasa de sustitución (TS) (Kellaway y Porta, 1993). La tasa de sustitución es calculada como: $TS \text{ (kg/kg)} = (\text{consumo de MS de forraje en vacas no complementadas} - \text{consumo de MS en vacas complementadas}) / \text{consumo de MS del complemento}$. Una tasa de sustitución $< 1 \text{ kg/kg}$ significa que el consumo total de MS en las vacas complementadas es mayor que el consumo total de MS en las vacas no complementadas. Una tasa de sustitución $= 1 \text{ kg/kg}$ significa que el consumo total de MS en las vacas complementadas es el mismo que en las vacas no complementadas. La tasa de sustitución es uno de los principales factores que explican la variación observada en la respuesta en leche a la complementación (Kellaway y Porta, 1993; Stockdale, 2000).

La tasa de sustitución puede ser causada por efectos asociativos negativos que ocurren en el rumen (Dixon y Stockdale, 1999) o por reducciones en el tiempo de pastoreo (McGilloway y Mayne, 1996). Cuando los concentrados son incluidos en las dietas pastoriles, efectos asociativos pueden ocurrir si las interacciones digestivas y metabólicas entre concentrado y pasto cambian el consumo de energía (Dixon y Stockdale, 1999). Un aumento en la digestibilidad total puede ser esperado con la inclusión de concentrados en la dieta porque usualmente son más digestibles que el forraje. Sin embargo, interacciones entre la digestión de concentrados y el forraje pueden reducir la digestión de la fibra (Dixon y Stockdale, 1999). La energía provista por el concentrado (carbohidratos fermentables) puede resultar en reducciones en pH ruminal, lo cual puede disminuir la actividad o el número de bacterias celulolíticas, reducir la tasa de digestión de la fibra del pasto y por lo tanto reducir el consumo de MS (Dixon y Stockdale, 1999). La segunda causa posible para explicar la tasa de sustitución está relacionada con el tiempo de pastoreo. Se ha sugerido que la reducción en tiempo de pastoreo debido a la complementación explicaría la tasa de sustitución (Mayne y Wright, 1988; McGilloway y Mayne, 1996).

Bargo *et al.* (2002) estudiaron la digestión ruminal y el tiempo de pastoreo de vacas de alta producción pastoreando comparando la baja o alta disponibilidad de forraje sobre la tasa de sustitución. La tasa de sustitución fue mayor (0.55 vs 0.26 kg forraje/kg concentrado) cuando las vacas complementadas pastorearon a alta disponibilidad de forraje (40 vs 25 kg MS/vaca/d) lo cual estuvo relacionado con efectos asociativos negativos en el rumen y reducciones en el tiempo de pastoreo. La complementación con 7.9 kg/d de un concentrado a base de grano de maíz redujo el pH ruminal, la tasa de degradación en el rumen y la digestibilidad de la fibra del forraje (Bargo *et al.*, 2002). El tiempo de pastoreo fue reducido 75 min/d con la complementación a baja disponibilidad de forraje y explicó los 2.0 kg/d de reducción en el consumo de MS de forraje encontrados al medir consumo de MS usando oxido crómico ($75 \text{ min/d} \times 55 \text{ bites/min} \times 0.55 \text{ g DM/bite} = 2.3 \text{ kg/d}$). A alta disponibilidad de forraje y la complementación con concentrado redujo el tiempo de pastoreo 104 min/d y explicó 80% de los 4.4 kg/d de reducción en el consumo de MS de forrajes medidos ($104 \text{ min/d} \times 56 \text{ bites/min} \times 0.60 \text{ g DM/bite} = 3.5 \text{ kg}$). El restante 20% de la reducción podría estar relacionado con efectos asociativos negativos en el rumen, por ejemplo, la reducción en digestibilidad aparente de FDN con la complementación fue mayor a alta que a baja disponibilidad de forraje (4.3 vs 1.1 unidades porcentuales).

9.1.3.2 Complementación con concentrados

La complementación con concentrados tiene efectos sobre el consumo de materia seca del forraje, principalmente por el nivel de concentrado complementado. Diversos estudios en vacas lecheras de alta producción en pastoreo reportan que el CMS del pasto disminuye conforme se aumenta la cantidad de concentrado en comparación con vacas no complementadas (Arriaga-Jordán y Holmes, 1986; Bargo *et al.*, 2002). Riquelme y Pulido (2008) evaluaron la complementación de cuatro niveles de concentrado (0, 3, 6 y 9 kg) en ganado Holstein en pastoreo en la época primaveral, y concluyeron que utilizando praderas de elevada calidad nutritiva y con gran disponibilidad de forraje (con una asignación de pastoreo de 36 kg de MS/vaca/día) el consumo de materia seca de la pradera disminuye (de 17.6 a 7.7 kg MS/d) al aumentar el nivel de concentrado, sin mostrar incremento en el

consumo de materia seca total (17.6 a 15.6 kg MS/d). Estos autores, afirmaron que el nivel máximo de concentrado complementado disminuye el tiempo de pastoreo del animal y aumenta el tiempo de rumia.

9.1.3.3 Complementación con ensilado de maíz

En diferentes estudios cuando el ensilado de maíz fue complementado a vacas lecheras en dietas de solo forraje (Stockdale, 1994) o forraje más concentrado suministrado a bajas (3.2 kg/d) (Valk, 1994) o altas (8.7 kg/d) (Holden *et al.*, 1995) cantidades. La complementación con ensilado de maíz tuvo un efecto positivo sobre la producción de leche cuando la cantidad de forraje ofrecida fue baja (Stockdale, 1994). Cuando la disponibilidad de forraje fue alta, la complementación con 2.3 kg MS/d de ensilado redujo el CMS de forraje y resultó en un CMS total similar y por lo tanto en una similar producción de leche (Holden *et al.*, 1995). Holden *et al.* (1995) reportó contenido similar de proteína en leche cuando la complementación con ensilado de maíz no modificó el CMS total. Sin embargo, Stockdale (1994) reportó un mayor porcentaje de proteína cuando la complementación con 6.5 kg MS/d de ensilado de maíz aumento el CMS total. Phillips (1988) concluyó que la complementación con ensilado de maíz aumenta la producción de leche si la cantidad de forraje ofrecido es limitante pero si la cantidad de forraje ofrecido no es limitante esta no se ve afectada, por lo tanto, la respuesta en leche a la complementación con ensilado de maíz depende de la cantidad de forraje ofrecido, lo cual determina la tasa de sustitución y el consumo de MS total.

9.2 Factores relacionados con el animal

Los factores relacionados al animal son aquellos que regulan sus necesidades energéticas y que condicionan su capacidad digestiva. El peso corporal y el estado fisiológico parecen ser los parámetros que mayor influencia tienen sobre la regulación de las necesidades energéticas y la determinación de la capacidad digestiva de los animales y por lo tanto de su capacidad de ingestión (Allison, 1985).

9.2.1 Peso corporal y estado fisiológico

El consumo de alimento tiende a ser mayor en animales de peso vivo más alto con respecto a aquellos con peso más ligeros porque las necesidades energéticas y el tamaño del rumen son mayores en los primeros (Conrad *et al.*, 1964). Por otra parte, al aumentar el tamaño corporal las necesidades de mantenimiento por unidad de peso disminuyen, debido a que el metabolismo se vuelve más lento en los animales que llegan al estado adulto, por lo que resulta lógico esperar que la ingestión expresada de esta manera también disminuya. Ferrer *et al.* (1996) señalan que el peso vivo explica mejor las diferencias de ingestión entre animales en comparación con la edad. La relación entre la capacidad de ingestión y el peso de los animales suele considerarse exponencial en forma de peso metabólico ($PV^{0.75}$). En animales en pastoreo o con dietas de forraje el peso se eleva a exponentes mayores (0.81 y 0.93) debido a que la relación alométrica de la ingestión es más proporcional al peso vivo que al peso metabólico (Illius y Gordon, 1991), lo que indicaría que en las dietas a base de forrajes la ingestión estaría más relacionada con la capacidad ruminal, que es proporcional al peso vivo (Robelin *et al.*, 1990).

Las variaciones en el estado fisiológico pueden modificar la capacidad de ingestión de los animales a lo largo del ciclo reproductivo. Durante el primer tercio de gestación existe un incremento de las necesidades energéticas y por lo tanto, un incremento en el CMS para cubrir dichas necesidades (Forbes, 1971). Pese a que las necesidades energéticas incrementan en el último tercio de gestación disminuye el CMS por la compresión del feto al aparato digestivo (Weston, 1982), aunque se puede compensar ya que disminuye el tiempo de retención de la digesta manteniéndose estable el consumo de alimento (Forbes., 1986). Progresivamente se incrementa el consumo de alimento durante la lactación debido al incremento en las necesidades nutricionales con la producción de leche (Dynes, 1996).

9.2.2 Relación edad, sexo y estado nutricional

En animales jóvenes la demanda de energía se incrementa con el peso corporal a través de un aumento en el metabolismo basal, ya que las demandas energéticas deben cubrir tanto las necesidades de mantenimiento como de crecimiento animal hasta llegar a la edad adulta, durante la cual se produce una disminución del metabolismo basal que se manifiesta en un menor CMS por unidad de peso vivo (Freer, 1981; Weston, 1982). Las diferencias entre sexos sobre el CMS se manifiestan con un mayor consumo de alimento en los machos (Illius, 1989). Estas variaciones son debidas a los efectos del peso vivo, tamaño y composición corporal, siendo las diferencias fundamentalmente en términos absolutos. Cuando las ingestiones se expresan con relación al peso metabólico, las diferencias entre sexos se minimizan (Illius y Gordon, 1987). Bines *et al.* (1969) demostraron una relación negativa entre la cantidad de grasa corporal y la ingestión voluntaria de los bovinos, por lo que se espera que animales con estado nutricional deficiente tengan un CMS mayor para compensar su peso.

9.3 Factores relacionados con el manejo y el medio ambiente

En los forrajes de manejo continuo, la dieta ingerida suele mantener valores relativamente altos de digestibilidad, por el hecho de que los animales habitualmente pastan los rebrotes jóvenes que se van produciendo. En estas circunstancias, el comportamiento del consumo del ganado dependerá fundamentalmente de la altura y estructura del pasto, sin embargo cuando el manejo es de tipo rotacional, el pastoreo del animal es menos selectivo, por lo que el valor nutritivo de la dieta pasa a tener una mayor importancia (Hodgson, 1982). Las condiciones ambientales como la temperatura pueden modificar el CMS por el animal, cuando son altas puede actuar reduciendo el tiempo de pastoreo y por consiguiente la ingestión de forraje (Arnold, 1985). Bajas temperaturas pueden estimular el CMS, excepto en casos extremos (Weston, 1982).

10. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE FORRAJE FRESCO EN GANADO LECHERO EN PASTOREO

Cuantificar la ingesta de alimentos en los rumiantes es de gran importancia para poder estimar el consumo de nutrientes aportados en el alimento, pero resulta difícil poder medir con exactitud el consumo de forraje en los sistemas a base de pastoreo (Burns *et al.*, 1994; Moore, 1996). Las técnicas para estimar el consumo de forraje están basadas en diferentes métodos como el uso de marcadores, el comportamiento ingestivo, desaparición de la masa forrajera, predicción por las características del forraje o el rendimiento animal (Moore, 1996). Estos métodos tienen sus ventajas y desventajas y los resultados obtenidos en general son estimaciones del consumo de forraje con cierto margen de error (Burns *et al.*, 1994; Moore, 1996). Moore (1996) sugieren que los métodos basados en marcadores o en el comportamiento ingestivo son considerados adecuados para estimar el consumo de forma individual en el animal y que los métodos de desaparición de masa forrajera, predicción por las características del forraje o en base a los cálculos de los requerimientos de energía son más adecuados para estimar el consumo en grupos de animales. En el presente trabajo haremos mención de tres métodos de uso común para la estimación del CMS de vacas en pastoreo.

10.1 Método de corte de pradera o desaparición de la masa forrajera

Este método proporciona una estimación del consumo de forraje y es idealmente adecuado en sistemas de pastoreo por franjas, sin embargo puede ser muy laborioso (Leaver, 1985). Consiste en medir una proporción de la superficie asignada al animal y calcular el total del forraje. El forraje rechazado después del pastoreo es determinado de la misma manera. La diferencia entre las dos masas de forraje proporciona una estimación aparente de la cantidad de forraje consumido en el área pastada. Este método presenta inconvenientes debido a que permite la estimación de la ingesta sólo del conjunto del rebaño y su precisión es baja en periodos largos de pastoreo continuo de comunidades vegetales heterogéneas (Meijis *et al.*, 1982). La estimación de la biomasa al inicio y final del periodo de pastoreo

se puede realizar con razonable exactitud, aunque en praderas donde el crecimiento es muy activo, la acumulación de material durante el periodo de aprovechamiento representa una fuente de error para obtener un valor fiable. Por lo que este método proporciona una estimación real del consumo de forraje cuando se realiza en periodos de pastoreo cortos de 1 a 3 días (Burns *et al.*, 1994). La precisión de la estimación dependerá de la estructura y variabilidad de la biomasa forrajera, del tiempo e intensidad de pastoreo, la altura de corte y el número y tamaño de unidades muestreadas (Meijis *et al.*, 1982).

Otra técnica utilizada para estimar el consumo por medio de la desaparición de forraje consiste en el lanzamiento de cuadros de una superficie determinada y se corta a ras de suelo la vegetación contenida en el cuadro, con el fin de estimar la ingestión de pasto por cambios en la biomasa forrajera antes y después del pastoreo. Esta técnica puede variar dependiendo del tamaño y forma del cuadro, la anchura y altura de corte, la forma de corte del forraje, el número de cuadros y su localización en la pradera (McIntyre, 1978).

10.2 Uso de Marcadores

Se trata de la infusión continua de una sustancia indicadora durante al menos cuatro días, posterior muestreo de las heces durante un periodo y con frecuencia variable y determinación de la sustancia indicadora o marcador ($\text{Producción fecal} = \text{Dosis de marcador} / \text{Concentración de marcador en heces}$). La sustancia indicadora debería reunir las siguientes características: ser químicamente discreta, cuantitativamente recuperable en las heces, no tóxica, accesible económicamente, de fácil análisis por métodos químicos o físicos y estar ausente en la dieta original (Raymond y Minson, 1955). Varias sustancias indicadoras han sido utilizadas para la determinación del consumo de forraje entre ellas están el óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido de titanio (TiO_2), sulfato de bario (BaSO_4), disprosio (Dy), Cr-mordiente, alcanos artificiales, Cr-EDTA, Co-EDTA o polietilenglicol, etc. El método más utilizado en los bovinos es el Cr_2O_3 (Baker *et al.*, 1981; Illius, 1989) a

pesar de tener algunos inconvenientes como potenciales propiedades cancerígenas, recuperación incompleta o variaciones diurnas en la concentración fecal (Dove *et al.*, 2000). Uno de los mayores problemas en la utilización de un marcador es la variación que existe a lo largo del día en la concentración fecal, con la consecuente dificultad de obtener una muestra representativa de la media diaria. El origen de esta variación puede ser debida a la forma, momento y frecuencia de la dosificación o a fenómenos digestivos que pueden influir en la mezcla del marcador con la digesta. Existen varias alternativas para disminuir los problemas de dosificación como lo son dispositivos intraruminales de liberación continua y uniforme (Ellis *et al.*, 1981).

10.3 Determinación del consumo de forraje mediante el rendimiento animal

El consumo de MS también puede ser estimado a partir de los requerimientos de energía neta del animal y el contenido de energía en el pasto (Smit *et al.*, 2005). Para estimar el consumo con este método se asume que el animal ha de ingerir una cantidad de forraje que le permita cubrir las necesidades para mantenimiento, crecimiento, gestación o lactación según sea el caso. Este método está diseñado para experimentos continuos donde se pueden hacer mediciones exactas de la producción de leche, composición de la leche y peso vivo del animal. El consumo de forraje puede ser estimado por la aplicación de los estándares de los requerimientos de energía a esos datos de rendimiento (Baker, 1982). Aunque se considera que es un sistema simple con una aplicación potencialmente mayor en estudios en pastoreo presenta ciertos errores que pueden atribuirse a una mala medición del cambio en el peso vivo y a una subestimación de los requerimientos de mantenimiento (Leaver, 1985). Determinar el CMS del forraje con el uso del cálculo de los requerimientos de energía del animal, implica la elección de un adecuado sistema de ecuaciones para estimar las necesidades energéticas y la descripción correcta de las características fisiológicas y productivas del animal. Este método integra la respuesta de consumo sobre un periodo entero de estudio y también podría ser útil para plantear el manejo de estrategias de alimentación eficientes que sincronicen los requerimientos de nutrientes con los niveles de producción animal (Macon *et al.*, 2003).

Una desventaja de este método es que el cálculo se deriva de ecuaciones generales, las cuales no necesariamente podrían representar el consumo individual del animal (Reeves *et al.*, 1996). Esta limitante puede ser superada si las inferencias son hechas para las praderas con más de un animal representando la unidad de muestreo, teniendo en cuenta la reducción de la variación entre animales (Macon *et al.*, 2003) y una estimación precisa del consumo de complementos (Moore, 1996). Otra limitación que presenta el método es que el peso vivo de los animales debe de ser adecuado en el tiempo que comprende el estudio, ya que de lo contrario el consumo de forraje podría no ser preciso (Stuedemann y Matches, 1989).

III. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las unidades de producción de ganado lechero tienen un sistema de alimentación basado en forrajes conservados y concentrados; sin embargo, las vacas alimentadas solo con forraje representan el sistema con menor costo debido a que el forraje pastoreado es la fuente más barata de nutrientes. Con la complementación en el ganado lechero en pastoreo se busca incrementar la producción de leche por vaca, mantener o mejorar la condición corporal, así como el consumo total de materia seca respecto a lo aportado por el forraje.

La composición de la leche está determinada por muchos factores, entre ellos la nutrición y el genotipo, modificando entre otros, los contenidos de grasa y ácidos grasos, éstos han tenido considerable atención por los posibles beneficios en la salud humana, en especial los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). Distintos niveles de concentrado en la dieta pueden modificar el contenido de AGPI por cambios en el pH ruminal, así como en el proceso de biohidrogenación de éstos. Pocas investigaciones han evaluado el efecto de la estrategia de alimentación basada en pastoreo, asociada al genotipo animal, sobre el perfil de ácidos grasos de la leche.

En nuestro país existe poca información sobre la composición química de la leche y el perfil de ácidos grasos del ganado lechero en pastoreo, por ello el objetivo fue evaluar la respuesta productiva, la composición química y el perfil de los ácidos grasos de la leche de vacas de las razas Holstein y Pardo Suizo en condiciones de pastoreo, complementado con distintos niveles de concentrado en el valle de Toluca, México.

IV. HIPÓTESIS

El efecto de la estrategia de alimentación basada en pastoreo con distintos niveles de complementación con concentrado asociada al genotipo animal en el ganado bovino lechero modifica la composición química de la leche y el contenido de ácidos grasos de la grasa láctea, con un efecto importante sobre el contenido de grasa láctea y en los ácidos grasos de 18 átomos de carbono provocando, principalmente, incrementos en la concentración de ácidos grasos omega-3, ácido linoleico conjugado y C18:1 *trans*-11, debido principalmente a los efectos de la dieta.

V. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar el efecto del sistema de alimentación basado en el pastoreo complementario a dietas completas con ensilado de maíz como base forrajera y distintos niveles de concentrados sobre la producción, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche de vacas de las razas Holstein y Pardo Suizo.

2. Objetivos específicos

- 2.1. Evaluar el efecto de la estrategia de alimentación basada en el pastoreo complementario a dietas basadas en ensilado de maíz y distintos niveles de concentrado sobre la producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche de vaca.
- 2.2. Evaluar el efecto del genotipo sobre la producción, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche de vaca.
- 2.3. Evaluar el consumo de MS en estabulación y el consumo de forraje de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo complementadas con dietas basadas en ensilado de maíz y concentrados.
- 2.4. Determinar el efecto de la estrategia de alimentación sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

1. Zona y tiempo de realización del estudio

El trabajo se realizó en los meses de mayo y junio de 2011, en el área de bovinos productores de leche de la posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada a una longitud de 19° 24' 48'', latitud de 99° 40' 45'' y una altura de 2632 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media durante el desarrollo de la investigación fue de 15.3° C, con valores máximos y mínimos de 21.6° C y 9.3° C, respectivamente. La precipitación promedio de los meses de mayo y junio registrada fue de 176 mm (SMN, 2012).

2. Animales, dieta y tratamientos

Un total de 15 vacas multíparas, diez de la raza Holstein (**H**, producción de leche de 22.6±4.0 kg/d; 99.0±42.8 días en lactación) y cinco de la raza Pardo Suizo (**PS**, producción de leche de 20.3±4.7 kg/d; 108.2±52.3 días en lactación) fueron agrupadas en un diseño cross-over 3x3, con tres periodos experimentales. La alimentación de las vacas estuvo basada en un sistema de producción mixto, con tiempos de acceso al pastoreo y complementación en el establo. Se estableció un sistema de pastoreo rotacional en praderas polífitas con predominio de las especies *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata* y *Penisetum clandestinum*. El manejo de la pradera fue convencional con abonados nitrogenados a razón de 50 kg urea/ha. Se complementó con un concentrado en la estabulación, con 18% de proteína cruda y 2.0 Mcal de energía neta para lactación (ENL), elaborado a base de sorgo, pasta de soya, canola, salvado de trigo y una premezcla de vitaminas y minerales (Cuadro 3). El nivel de concentrado complementado a ambos genotipos (**H** y **PS**) asociado al tiempo de pastoreo, fue de la siguiente forma: 1) **8c**, suministro de 8.0 kg de concentrado por vaca por día, con un tiempo de pastoreo de 07:00 a 15:00h; 2) **5c**, suministro de 5.0 kg de concentrado por vaca y día, con tiempos de pastoreo de 7:00 a 15:00h y después de 16:00 a 20:00h; 3) **3c**, suministro de 3.0 kg de concentrado por vaca por día, en el tiempo de pastoreo descrito para **5c**. El concentrado ofertado en el

establo fue común para todos los tratamientos. Así mismo, se ofertó ensilado de maíz a libre acceso en la estabulación. Tanto en la pradera como en el establo los animales tuvieron libre acceso a agua de bebida.

Cuadro 3. Ingredientes usados en la elaboración del concentrado suministrado.

Ingredientes	g/kg MS
Sorgo	486.7
Soya	200.4
Canola	147.5
Salvado	146.7
Vitaminas y minerales [†]	18.7

[†] Multitec, lechero bovino ®. Vitamina A: 231 UI, VitaminaD3: 58.5 UI, Vitamina E: 566 mg, Cobre: 400 mg, Hierro: 2,560 mg, Manganeso: 1,860 mg, Cobalto: 5.85 mg, Yodo: 19.84 mg, Zinc: 2,000.16 mg, Selenio: 12 mg, Fosforo: 38,220 mg, Magnesio: 39,959.92, Carbonato de Calcio: 195 g, Sal: 236.621g, Bicarbonato de Sodio: 150 g, Sodio: 1851.60 mg, Potasio: 2,439 mg.

3. Desarrollo experimental

El estudio comprendió tres periodos experimentales, de 19 días cada uno (14 días de adaptación y 5 días de muestreo). Se realizaron dos ordeños al día (06:00 y 15:00h) en una sala de ordeño tipo espina de pescado. La asignación de forraje en pastoreo fue de 25 kg de MS/vaca/d, la cual se determinó por la medición de la biomasa herbácea pre-pastoreo realizado con un control de producción de forraje que fue medido por el corte de forraje en ocho cuadrantes (0.25m²/cuadrante) a ras de suelo, y la muestra se seco a 60° C en estufa de aire forzado. De acuerdo con los datos de producción de forraje se designó el área de pastoreo según la asignación de forraje por animal; la superficie de pastoreo fue ajustada cada día durante la etapa de medición. El manejo de los animales en cada tratamiento fue realizado de la siguiente manera (Figura 6).

Finalizado el ordeño matutino, los tres grupos de vacas fueron llevados a la pradera, en donde permanecieron hasta el comienzo del ordeño vespertino (15:00h), al término de este, las vacas del tratamiento **8c** fueron alojadas en el establo donde se les suministró el concentrado y el ensilado de maíz; mientras que las vacas de los tratamientos **5c** y **3c**, concluido el ordeño PM, se trasladaron nuevamente a la pradera donde cumplieron cuatro horas más de pastoreo, a las 20:00h fueron llevadas al establo donde se les suministró el concentrado y el ensilado de maíz. Para todos los tratamientos, la alimentación de los animales en la estabulación fue a las 20:00 y 24:00h, y para el tratamiento **8c** una comida previa a las 16:00h. El concentrado se ofertó en dos comidas, suministrándoles en cada una la mitad de la cantidad diaria de concentrado. La oferta de los alimentos se realizó en comederos individuales, el concentrado fue proporcionado junto con el ensilado de maíz. En el tratamiento **8c** en la comida de las 24:00h únicamente se les suministró ensilado de maíz. Al inicio y final de cada periodo experimental los animales fueron pesados. En los cinco días de control, diariamente se midió el consumo de alimento en el establo y la producción de leche en la ordeña. El consumo de alimento en la estabulación se estimó por diferencia de la oferta y rechazo del alimento. El consumo de forraje en pastoreo se estimó mediante el método descrito por Macoon *et al.* (2003), a partir de los requerimientos de energía neta mediante el cálculo de los requerimientos de energía neta total del ganado lechero (ENL) estimados a partir de la aplicación de las ecuaciones de predicción del NRC (2001), y de los aportes de energía neta de los alimentos consumidos en la estabulación. Para dicha estimación se aplicó el procedimiento de ecuaciones de los requerimientos de energía neta total del ganado lechero incluyendo las necesidades de energía neta para:

1) Lactación (ENLL), calculo basado en la producción diaria de leche (kg/d) y la concentración de grasa en la leche, así:

$$\text{ENLL} = \text{kg de leche por día} * (0.3512 + [0.0962 * \% \text{grasa en leche}])$$

2) Mantenimiento (EELM), basadas en el peso vivo (PV) del animal y el número de parto, así:

$$\text{a) primer parto: ENLM} = 1.2 (0.080 * \text{PV}^{0.75})$$

b) segundo parto: $ENLM = 1.1 (0.080 * PV^{0.75})$

c) tercer parto o más: $ENLM = 0.080 * PV^{0.75}$

3) Cambio de peso corporal (ENLBW), de acuerdo con el NRC (2001) para la ganancia promedio de peso fue asignado el requerimiento de ENL 5.12 Mcal/kg PV, mientras que para la pérdida de PV se previeron 4.92 Mcal/kg PV de energía disponible, adicional a la energía proporcionada por el alimento.

4) Actividad de pastoreo (ENLG), este cálculo fue hecho usando la ecuación sugerida por Rochinotti (1998):

$$ENLG = 1.2 \text{ kcal} * \text{tiempo de pastoreo, h} * PV^{0.75}$$

5) Actividad de desplazamiento o caminata (ENLW), calculado usando la estimación para el caminar horizontal según el AFRC (1993):

$$ENLG = 0.62 \text{ cal}/(\text{kg PV} * \text{distancia})$$

La distancia fue estimada en 800 m (representando la distancia recorrida desde la parcela de pastoreo a la sala de ordeño o corral. La distancia media a la parcela fue de 400 m, valor que fue multiplicado por el número de veces que caminaron esa distancia.

El requerimiento de energía neta total es la suma de las cinco estimaciones anteriores. La energía neta para lactación a partir del consumo de forraje se estimó por la diferencia entre los requerimientos de ENL menos la energía consumida en los alimentos suministrados en la estabulación. El contenido de energía neta de los alimentos (forraje, ensilado de maíz y concentrado) fue calculado con las ecuaciones descritas por Menke y Steingass (1988) a partir del contenido de fibra ácido detergente y dividido entre 4.184 para dar el valor en Mcal/kg de MS.

Los alimentos se muestrearon en la fase de medición, el ensilado de maíz fue muestreado diariamente, el concentrado fue muestreado una vez por periodo, y el forraje se muestreó en el primer día de la fase de control mediante la técnica de hand plucking o pastoreo simulado

según (Wayne, 1964) Todas las muestras se mantuvieron en congelación (-20°C) hasta su análisis en laboratorio. La leche fue muestreada individualmente en ambos ordeños, e inmediatamente se obtuvo una alícuota de 50 ml la cual fue mantenida en refrigeración (4°C) hasta su análisis.

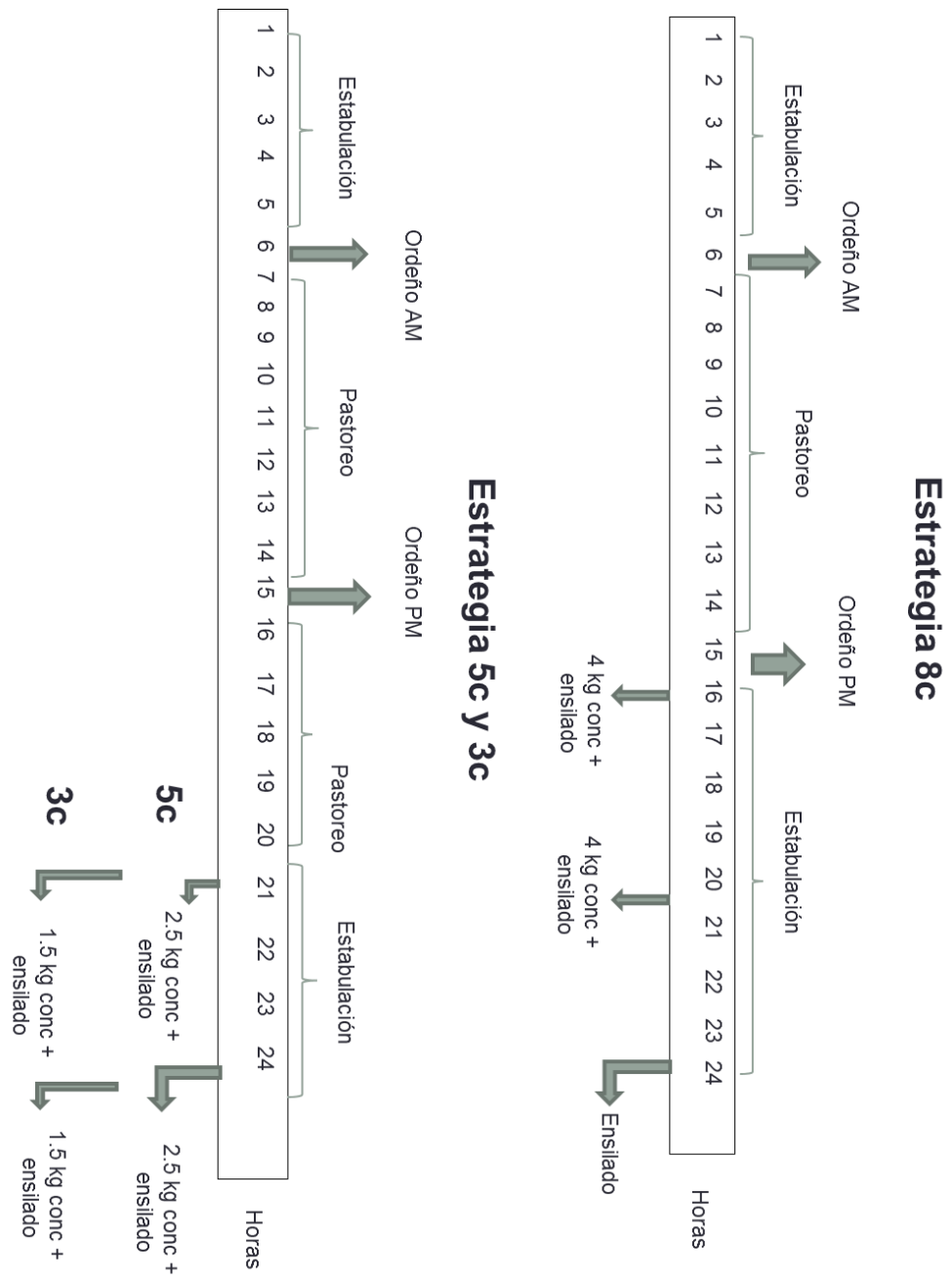


Figura 6. Manejo de los grupos de vacas por estrategia de alimentación.

4. Análisis de laboratorio

En los alimentos se determinó el contenido de materia seca (MS) por pérdida de peso tras desecación de la muestra (forraje y concentrado) a $103\pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 h en estufa de aire forzado. En el caso de ensilado de maíz el contenido de materia seca se determinó por la técnica de arrastre con tolueno, el contenido de proteína total mediante la determinación de N por el método Kjeldahl (AOAC, 1990). El contenido de fibra neutro (FND), ácido (FAD) y lignina detergente (LAD) fue determinada de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991). El análisis de la composición química de la leche (proteína, grasa, lactosa) se determinó con un equipo analizador de leche (Lactoscan S-L 60). El contenido de ácidos grasos de los alimentos se determinó mediante la técnica descrita por Sukhija y Palmquist (1988) con modificaciones de Palmquist y Jenkins (2003) utilizando ácido clorhídrico metanólico al 10% en la esterificación de los ácidos grasos y hexano como solvente orgánico. El análisis de la composición química de la leche (proteína, grasa, lactosa) se determinó con un equipo analizador de leche (Lactoscan S-L 60). La determinación del perfil de ácidos grasos de la leche se hizo previa extracción de la grasa de acuerdo con la técnica descrita por Feng *et al.* (2004), la metilación de la muestra se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Christie (1982) con modificaciones de Chouinard *et al.* (1999). Los esteres metílicos de los ácidos grasos de leche y alimentos fueron separados y cuantificados por cromatografía de gases con un cromatógrafo marca Perkin Elmer modelo Clarus 500 con una columna capilar de 100m x 0.25mm x 0.2 μm marca SUPELCO TM-2560 utilizando nitrógeno como gas acarreador. La temperatura del horno fue de 140°C por 5 minutos y se elevó hasta 240°C con incrementos de 4°C por minuto. El inyector y detector se mantuvieron a 260°C . Cada pico fue identificado de acuerdo con los tiempos de retención de estándares de esteres metílicos marca Supelco 37, FAME MIX analytical SIGMA USA.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables de respuesta (consumo de materia seca, producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche) se realizó para un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×2 incluyendo los efectos del nivel de concentrado y genotipo

animal, aplicando el procedimiento mixed del paquete estadístico SAS (1999). El modelo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + C_j + (G*C)_{ij} + E_k$$

Donde:

Y_{ijk} = es la variable dependiente.

μ = es la media general.

G_i = es el efecto del genotipo animal (Holstein, Pardo Suizo).

C_j = es el efecto del origen de la leche relacionado al nivel de concentrado complementado (3.0, 5.0 y 8.0 kg de concentrado por vaca por día).

$G*C_{ij}$ = es el efecto de la interacción del genotipo animal por el origen de la leche relacionado al nivel de concentrado complementado.

E_k = es el error residual.

Los datos de composición química de los alimentos fueron procesados con análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM (SAS, 1999) considerando el efecto del periodo y el error experimental. En aquellas variables donde se observó significancia ($P < 0.05$) se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias (Steel *et al.*, 1997).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Composición química de alimentos

La composición química de los alimentos consumidos por el ganado vacuno durante el experimento se muestra en el Cuadro 4. No se observaron diferencias ($P<0.05$) en su composición química en los tres periodos experimentales. Recientemente, evaluando diferentes estrategias de alimentación basadas en el tiempo de pastoreo complementario a dietas completas mezcladas (TMR), Morales-Almaráz *et al.* (2010) no encontraron variaciones significativas ($P>0.05$) entre periodos en la composición química de la TMR formulada a base de forrajes conservados (ensilado de maíz y haba forrajera), sin embargo, en el forraje fresco reportaron variaciones en el contenido de MS y proteína.

Cuadro 4. Composición química y contenido de ácidos grasos del ensilado de maíz, forraje y concentrado.

Composición química (g/kg MS)	Ensilado de maíz	Forraje	Concentrado
MS	326.84	243.67	925.0
MO	944.43	879.50	951.1
PC	70.11	147.97	182.2
FDN	608.11	559.34	155.6
FDA	328.64	281.80	64.0
LDA	45.42	36.43	23.1
ENL [†]	1.41	1.52	2.0
Ácidos grasos (g/100 g AG)			
C12:0	0.40	1.63	0.05
C13:0	0.03	1.02	0.64
C14:0	0.63	1.15	0.16
C16:0	19.09	19.90	21.26
C16:1	0.47	2.36	0.69
C18:0	4.59	4.00	2.30
C18:1n9c	29.56	5.28	34.71
C18:2n6c	35.43	12.10	31.75
C18:3n3	4.27	45.15	2.27
Otros	5.55	7.40	6.17

[†]Energía neta de lactación en Mcal/kg MS, calculada según la ecuación: $(9.07 - 0.0097 \cdot \text{FAD})/4.184$ (Menke y Steingass, 1988).

2. Consumo de alimento, producción y composición química de la leche

Los datos de consumo de alimento, producción de leche y composición de la leche se presentan en el Cuadro 5. Se observaron diferencias ($P<0.05$) en el consumo de ensilado de maíz por efecto de la interacción genotipo*nivel de concentrado. El tratamiento H 8c mostró la mayor ingestión de MS de ensilado de maíz, pero fue estadísticamente igual al consumo de ensilado observado en PS 5c, contrariamente con este nivel de concentrado, H 5c mostraron cuantitativamente el menor consumo de ensilado de maíz, y fueron estadísticamente iguales al resto de los tratamientos.

En el ganado Holstein, la diferencia ($P<0.05$) en el consumo de MS de ensilado entre los tratamientos 3c y 8c fue de 600g (7.75 y 8.34 kg/d, respectivamente), mientras que en el ganado Suizo la diferencia fue menor, 300g (7.42 y 7.67 kg/d, respectivamente), con lo cual, las diferencias en el CMS en la estabulación radicaron en el nivel de concentrado complementado. Así, dada la ingestión completa de concentrado en todas las combinaciones, el consumo de MS en la estabulación (suma del consumo de ensilado de maíz más el consumo de concentrado) fue afectado por la interacción nivel de concentrado con genotipo ($P<0.05$), incrementando al aumentar la cantidad de concentrado en la dieta de ambos genotipos. Con las diferencias en el consumo de ensilado y concentrado, en H 8c la ingestión de MS en la estabulación supuso un incremento de 33 y 24% respecto a H 5c y H 3c, respectivamente. En el mismo sentido con PS 8c las diferencias fueron de 31 y 16% del consumo de MS en la estabulación, comparado con PS 5c y PS 3c, respectivamente.

El consumo de forraje (10.79 kg MS/d) no difirió ($P>0.05$) por efecto de la interacción genotipo con nivel de concentrado. La asignación de forraje utilizada (25 kg MS/vaca/d) de acuerdo con Bargo *et al.* (2003) es adecuada para no comprometer la producción de leche, máxime si el forraje no es la única alimentación como ocurrió en el presente estudio. Burke *et al.* (2008) evaluaron la asignación de forraje de 15 kg de MS/vaca/d a vacas Holstein en pastoreo, cuyo consumo fue de 14.6 kg de MS/d, por lo que consideraron que hubo restricción de alimento en términos de disponibilidad para consumo de forraje cuando las vacas no recibieron un complemento. Sin embargo, ofertando la misma cantidad de forraje

y complementando concentrado o ensilado de maíz, el consumo de forraje en pastoreo solo disminuyó de 1.5 a 2.0 kg MS/vaca/d (Burke *et al.*, 2008); esto sugirió que los complementos ofrecidos causaron una reducción en el consumo de MS de forraje en pastoreo por el efecto sustitución como lo han demostrado otros autores (Gordon *et al.*, 2000). Kay *et al.* (2007) evaluaron la restricción del forraje mediante una alta (42 kg de MS/vaca/d) y baja (22 kg de MS/vaca/d) asignación de forraje en pastoreo, los autores concluyeron que la restricción de forraje redujo el consumo de MS (de 13.4 a 11.6 kg/d, respectivamente) y tuvo un efecto más marcado en la reducción del rendimiento de leche en torno a un 25% (de 15.7 a 11.9 kg/d).

Cuadro 5. Consumo de materia seca, producción (kg/d) y composición química (g/kg) de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México.

GENOTIPO CONCENTRADO	HOLSTEIN			PARDO SUIZO			EEM [†]	P< ^{††}		
	3c	5c	8c	3c	5c	8c		C	G	C*G
Consumo de MS										
Ensilado	7.75 ^{bc}	7.33 ^c	8.34 ^a	7.42 ^{bc}	7.94 ^{ab}	7.73 ^{bc}	0.208	0.0708	0.5271	0.0135
Concentrado	2.70 ^c	4.50 ^b	7.20 ^a	2.70 ^c	4.50 ^b	7.20 ^a	0.000	<.0001	-	-
Estabulado [¶]	10.45 ^e	11.83 ^d	15.54 ^a	10.12 ^e	12.44 ^c	14.93 ^b	0.208	<.0001	0.5271	0.0135
Forraje	10.34	12.36	8.44	13.74	10.68	9.98	1.990	0.3735	0.5343	0.4823
CMS total	20.84	24.24	23.96	23.92	23.23	25.05	1.863	0.5526	0.5189	0.5865
CMS,%PV ^{¶¶}	3.98	4.62	4.58	4.61	4.44	4.76	0.300	0.5112	0.4333	0.4596
Producción de leche	15.46	17.07	19.03	14.85	16.23	16.84	0.476	<.0001	0.0028	0.2204
Composición										
Proteína	31.98	30.74	31.04	30.63	31.48	31.84	0.742	0.9102	0.9210	0.2807
Grasa	37.39	35.86	36.63	36.90	38.02	40.75	1.437	0.4372	0.1134	0.3004
Lactosa	43.70	44.08	43.73	43.35	44.31	44.96	0.610	0.3849	0.4725	0.4494
Rendimiento (kg/d ¹)										
Proteína	0.493	0.523	0.592	0.453	0.509	0.539	0.018	<.0001	0.0219	0.5691
Grasa	0.584	0.612	0.699	0.545	0.617	0.686	0.032	0.0005	0.5511	0.7985
Lactosa	0.679	0.752	0.835	0.641	0.717	0.761	0.025	<.0001	0.0201	0.6896

^{abcde} Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes (P<0.05).

[†]EEM = Error estándar de la media. ^{††} Significancia de los efectos: genotipo (G), nivel de concentrado (C) y la interacción genotipo por concentrado (G*C). [¶] Considera la suma del consumo de concentrado y ensilado de maíz suministrados en el corral. ^{¶¶} Porcentaje de consumo de materia seca en relación al peso vivo metabólico.

El consumo diario de materia seca total (23.41 ± 5.27 kg) y el consumo expresado como porcentaje del peso vivo (4.47 ± 0.86) no difirieron ($P > 0.05$) por efecto de la interacción genotipo con nivel de concentrado. De acuerdo con los requerimientos nutricionales establecidos por el NRC (2001), el ganado lechero, al final del primer tercio de lactación, con producción de 25.0 kg de leche por día, requiere consumir 19.6 kg de MS, valores de consumo por debajo de los observados en el presente estudio, donde las vacas utilizadas no alcanzaron niveles de producción de leche por arriba de 20 kg/d, teniendo un promedio de 99 días en lactación. Si bien, es posible que el consumo de forraje haya sobrestimando la ingestión diaria de MS, otros resultados como los de Burke *et al.* (2008) reportaron una producción láctea de 24.7, 23.8 y 23.7 kg/d, respectivamente con consumos de MS total de 17.0, 17.0 y 17.4 kg al complementar 4.0 kg de MS de ensilado de maíz, dos concentrados, uno alto y otro bajo en proteína, respectivamente. Así, deben considerarse a otros factores, más allá de la producción de leche, que pueden influir en la ingestión de alimento como la etapa de lactación, la digestibilidad de la dieta y el mérito genético del animal. La tasa de sustitución es uno de los factores principales que contribuyen a la variación de la respuesta de rendimiento de leche a la complementación de concentrado (Kellaway y Porta, 1993). Dixon y Stockdale (1999) sugirieron que la tasa de sustitución es baja cuando el consumo de energía es bajo en relación a los requerimientos de energía de la vaca, esto podría indicar que es más dominante el efecto de la complementación de concentrado que el tiempo o momento de pastoreo sobre la ingestión de forraje en el ganado lechero.

Riquelme y Pulido (2008) evaluaron la complementación de cuatro niveles de concentrado (0, 3, 6 y 9 kg/vaca/día) en ganado Frisón lechero en pastoreo en la época primaveral, y concluyeron que utilizando praderas de elevada calidad nutritiva y con gran disponibilidad de forraje (con una asignación de pastoreo de 36 kg de MS/vaca/día) el consumo de materia seca de la pradera disminuye (de 17.6 a 7.7 kg MS/d) al aumentar el nivel de concentrado complementado, sin mostrar incremento en el consumo de materia seca total (17.6 a 15.6 kg MS/d). Estos autores, afirmaron que el nivel máximo de concentrado complementado disminuye el tiempo de pastoreo del animal y aumenta el tiempo de rumia; sin embargo, sus resultados no fueron contrastados con datos de producción y composición de la leche.

La producción de leche (16.73 ± 3.01 kg/d), así como el contenido de grasa (37.35 ± 9.09 g/kg), proteína (31.28 ± 4.69 g/kg) y lactosa (43.97 ± 3.86 g/kg) en leche no fueron alterados ($P > 0.05$) por la interacción de genotipo con nivel de concentrado (Cuadro 5). Otras investigaciones tampoco han reportado diferencias en la composición de la leche cuando el pastoreo ha sido complementado (Velik *et al.*, 2007; Loor *et al.*, 2003; Bargo *et al.*, 2002). Morales-Almaráz *et al.* (2010) reportaron valores similares a los de este estudio con respecto al contenido de grasa y proteína en leche (36.2 y 30.6 g/kg, respectivamente) de vacas con doce horas de pastoreo al día.

En el presente estudio, los resultados de producción de leche son inferiores a lo reportado por otros autores (Kennedy *et al.*, 2009; Burke *et al.*, 2008; Loor *et al.*, 2003). Kennedy *et al.* (2009) no reportaron diferencias en la producción de leche (21.7 kg/d), sin embargo, asignando nueve horas de pastoreo, la respuesta en producción de leche fue cuantitativamente mayor comparado con seis o nueve horas de pastoreo (22.4 vs 20.9 y 21.5 kg leche/d, respectivamente) dividido en dos sesiones de pastoreo después de cada ordeño (3.0 y 4.5h). Alimentando a vacas Holstein con dietas TMR complementadas con el pastoreo por la mañana (03:00 a 11:00h) o tarde (15:00 a 22:00h), Loor *et al.* (2003) observaron diferencias en el consumo de TMR, siendo mayor en las vacas con pastoreo matutino (19.9 vs 16.4 kg MS/d); sin embargo, no hubo efecto sobre el rendimiento de leche (31.2 vs 30.0 kg/d, para el pastoreo de mañana y tarde), ni en la composición química de la leche.

La evaluación del efecto del genotipo sobre la producción de leche indicó una mayor ($P < 0.05$) producción láctea de las vacas Holstein, con un 7.6% más en comparación a las vacas Pardo Suizo (17.19 vs 15.98 kg/d). La composición de la leche no mostró diferencias ($P > 0.05$) entre genotipos, aunque se observó una tendencia ($P < 0.11$) en el contenido de grasa, con valores más altos en el ganado Pardo Suizo (38.55 vs 36.63 g/kg). Carroll *et al.* (2006) evaluaron el efecto del genotipo sobre la composición de la leche en respuesta a incrementar los niveles de grasa en la dieta, los autores reportaron que el genotipo Holstein tuvo mayor producción de leche que el Pardo Suizo (31.95 vs 25.75 kg/d); en cuanto a la

composición de la leche, reportaron valores de 34.8 y 49.2 g/kg de proteína y lactosa, respectivamente para el genotipo Holstein, y 35.8 y 50.0 g/kg para Pardo Suizo con efectos significativos ($P<0.05$). No se observaron diferencias ($P>0.05$) entre estos dos genotipos para la composición de la grasa (39.9 g/kg para Holstein y 40.3 g/kg para Pardo Suizo) (Carroll *et al.*, 2006). En nuestra investigación, aun cuando los valores de producción son inferiores a los reportados por Carroll *et al.* (2006), el patrón productivo de ambas razas fue similar.

Respecto al nivel de concentrado, se observó un aumento ($P<0.05$) de la producción de leche conforme se incrementó la cantidad de concentrado. Con el nivel de concentrado 8c se obtuvo 19.5% más producción de leche que con la estrategia 3c (18.21 vs 15.23 kg leche/d). El nivel de concentrado complementado no afectó la composición química de la leche ($P>0.05$).

El rendimiento de los componentes de la leche no fue afectado ($P>0.05$) por la interacción del genotipo con el nivel de concentrado, pero si por los efectos principales (Cuadro 5). Las vacas Holstein tuvieron mayores ($P<0.05$) rendimientos de proteína (0.536 vs 0.500 kg/d) y lactosa (0.755 vs 0.706 kg/d), sin observar diferencias ($P>0.05$) en el rendimiento de grasa para ambos genotipos. Carroll *et al.* (2006) reportaron mayores rendimientos en vacas Holstein comparadas con Pardo Suizo en cuanto a proteína (1.11 vs 0.92 kg/d), grasa (1.28 vs 1.04 kg/d) y lactosa (1.57 vs 1.29 kg/d) alimentadas con dietas TMR con una relación 49:51 forraje:concentrado. Los rendimientos presentados en la presente investigación, aunque inferiores a los reportados por Carroll *et al.* (2006), presentan la misma tendencia hacia el genotipo Holstein. Por efecto del nivel de concentrado, el rendimiento de grasa fue igual ($P<0.05$) para 3c y 5c, pero superior en 8c (0.570, 0.614 y 0.694 kg/d, respectivamente); el mismo patrón presentaron los rendimientos de proteína y lactosa (Cuadro 5). Estas diferencias son explicadas por el mayor aporte de energía en la dieta al aumentar el nivel de concentrado complementado, lo cual se reflejó en el incremento de la producción de leche dado que los componentes de la leche no fueron afectados. Cabe mencionar, que aunque no significativo, el efecto de complementar distinto nivel de

concentrado, la influencia de la alimentación tuvo mayor efecto en el ganado Holstein que en el Pardo Suizo, observándose una disminución de la producción de leche al reducir el aporte de concentrado en la dieta. Burke *et al.* (2008) evaluaron diferentes estrategias de alimentación en vacas lecheras en pastoreo con baja asignación de forraje (15.0 kg de MS/vaca/d) sin y con complemento de 4.0 kg de MS de concentrado o de ensilado de maíz; observaron mayor producción láctea cuando las vacas fueron complementadas sin encontrar diferencias significativas entre los tipos de complementos. En las condiciones del presente trabajo, el complemento fue común para todos los animales, con 8.0 kg de concentrado, a vacas en pastoreo, se incrementó en 3.0 y 1.5 kg de leche/d, comparado con la complementación de 3.0 y 5.0 kg de concentrado/vaca/d, respectivamente. Estas diferencias no fueron asociadas estadísticamente al genotipo animal.

3. Perfil de ácidos grasos de la leche

El perfil de ácidos grasos de la leche se presenta en el Cuadro 6 para la interacción genotipo con nivel de concentrado; y en el Cuadro 7 para los efectos individuales. La interacción genotipo con nivel de complementación de concentrado no influyó ($P>0.05$) en el contenido de ácidos grasos de la grasa de la leche, excepto en el contenido de los ácidos C17:1 y C18:2n6t. La concentración de C17:1 fue mayor ($P<0.05$) en los tratamientos Holstein 3c, Holstein 5c y Pardo Suizo 3c. Para el caso de C18:2n6t se observó una menor concentración ($P<0.05$) en los tratamientos 3c y 5c del ganado Pardo Suizo. En cuanto al efecto del nivel de concentrado (Cuadro 7) se observaron diferencias ($P<0.05$) en la mayoría de los AG medidos. En AG de cadena corta y media se observó un incremento conforme se aumentó la cantidad de concentrado en la dieta; ácidos grasos como el láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) incrementaron su concentración ($P<0.05$) en un 23, 9 y 6.5%, respectivamente, al incrementar el nivel de concentrado de 3 a 8 kg. De manera contraria, ácidos grasos de cadena larga como el esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linolénico (C18:3 n3) y araquídico (C20:0) disminuyeron su concentración ($P<0.05$) conforme se incrementó el nivel de concentrado observando la mayor concentración en 3c.

Cuadro 6. Efecto de la interacción nivel de concentrado con el genotipo sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas en pastoreo en el Valle de Toluca, México.

GENOTIPO	HOLSTEIN			PARDO SUIZO			EEM [†]	P< ^{††}		
CONCENTRADO	3c	5c	8c	3c	5c	8c		C	G	C*G
Ácidos grasos (g/100g AG)										
C4:0	3.10	3.16	3.25	3.30	3.39	3.35	0.081	0.5120	0.0115	0.7342
C6:0	2.14	2.17	2.27	2.29	2.51	2.44	0.057	0.0310	<.0001	0.2381
C8:0	1.12	1.22	1.33	1.29	1.44	1.46	0.030	<.0001	<.0001	0.4828
C10:0	2.42	2.70	2.98	2.83	3.20	3.42	0.084	<.0001	<.0001	0.8872
C11:0	0.34	0.40	0.45	0.38	0.42	0.44	0.016	<.0001	0.2181	0.3832
C12:0	2.86	3.20	3.56	3.30	3.66	4.02	0.099	<.0001	<.0001	0.9913
C13:0	0.16	0.18	0.21	0.18	0.18	0.20	0.007	<.0001	0.8414	0.0867
C14:0	11.07	11.63	11.99	12.03	12.95	13.34	0.217	<.0001	<.0001	0.6554
C14:1	1.02	1.17	1.22	1.07	1.13	1.15	0.052	0.0322	0.6019	0.4780
C15:0	1.22	1.19	1.23	1.16	1.04	1.02	0.030	0.0397	<.0001	0.0611
C16:0	29.31	29.88	30.74	27.84	28.60	30.64	0.612	0.0049	0.0746	0.5245
C16:1	1.99	2.09	1.99	1.85	1.73	1.72	0.059	0.5418	<.0001	0.2595
C17:0	0.77	0.76	0.74	0.80	0.72	0.70	0.015	0.0009	0.1797	0.0688
C17:1	0.27 ^a	0.26 ^a	0.23 ^b	0.28 ^a	0.22 ^b	0.19 ^c	0.010	<.0001	0.0040	0.0119
C18:0	12.95	11.82	10.58	12.13	12.07	10.77	0.315	<.0001	0.6414	0.2053
C18:1t11	2.46	2.19	2.24	2.28	2.22	2.08	0.116	0.2164	0.3088	0.6476
C18:1n9c	23.05	22.33	21.40	23.24	21.02	19.68	0.584	0.0002	0.0685	0.2891
C18:2n6t	0.21 ^a	0.20 ^a	0.21 ^a	0.22 ^a	0.19 ^b	0.17 ^b	0.008	0.0149	0.0456	0.0077
C18:2n6c	1.24	1.31	1.39	1.37	1.35	1.43	0.048	0.0120	0.0972	0.6108
C18:2c9t11	0.81	0.74	0.73	0.75	0.67	0.62	0.052	0.1430	0.0629	0.8879
C18:3n3	0.42	0.40	0.38	0.41	0.41	0.34	0.014	0.0007	0.4421	0.2132
C20:0	0.19	0.17	0.15	0.18	0.17	0.15	0.007	<.0001	0.3023	0.7444
OTROS	0.88	0.83	0.73	0.82	0.71	0.67	0.023	<.0001	0.0001	0.4264
AGS [‡]	67.99	68.82	69.76	68.04	70.63	72.20	0.749	0.0013	0.0294	0.3024
AGMI [¶]	29.05	28.27	27.29	28.96	26.55	25.04	0.685	0.0007	0.0239	0.3048
AGPI ^ε	2.96	2.91	2.95	3.00	2.82	2.76	0.086	0.3125	0.3213	0.4647

^{abc} Valores con distinta literal en la misma hilera son diferentes (P<0.05).

[†]EEM = Error estándar de la media. ^{††}Significancia de los efectos: Nivel de concentrado (C), genotipo (G) y la interacción nivel de concentrado por genotipo (C*G). [‡]AGS = Ácidos grasos saturados, [¶]AGMI = Ácidos grasos polinsaturados, ^ε AGPI = Ácidos grasos polinsaturados.

Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México.

	CONCENTRADO [†]			EEM ^{††}	GENOTIPO			P< [‡]		
	3c	5c	8c		H	PS	EEM	C	G	C*G
Ácidos grasos (g/100g AG)										
C4:0	3.17	3.24	3.28	0.060	3.17 ^y	3.35 ^x	0.049	0.5120	0.0115	0.7342
C6:0	2.19 ^b	2.28 ^{ab}	2.33 ^a	0.042	2.19 ^y	2.41 ^x	0.035	0.0310	<.0001	0.2381
C8:0	1.17 ^b	1.29 ^a	1.37 ^a	0.025	1.22 ^y	1.39 ^x	0.019	<.0001	<.0001	0.4828
C10:0	2.55 ^c	2.86 ^b	3.13 ^a	0.063	2.70 ^y	3.15 ^x	0.052	<.0001	<.0001	0.8872
C11:0	0.35 ^c	0.40 ^b	0.44 ^a	0.011	0.39	0.41	0.010	<.0001	0.2181	0.3832
C12:0	3.01 ^c	3.35 ^b	3.71 ^a	0.074	3.21 ^y	3.66 ^x	0.061	<.0001	<.0001	0.9913
C13:0	0.16 ^b	0.18 ^b	0.21 ^a	0.005	0.18	0.18	0.004	<.0001	0.8414	0.0867
C14:0	11.39 ^b	12.07 ^a	12.44 ^a	0.163	11.56 ^y	12.77 ^x	0.133	<.0001	<.0001	0.6554
C14:1	1.03 ^b	1.15 ^{ab}	1.20 ^a	0.038	1.14	1.11	0.032	0.0322	0.6019	0.4780
C15:0	1.20 ^a	1.14 ^b	1.16 ^b	0.022	1.21 ^x	1.07 ^y	0.019	0.0397	<.0001	0.0611
C16:0	28.84 ^b	29.49 ^{ab}	30.71 ^a	0.459	29.98	29.03	0.375	0.0049	0.0746	0.5245
C16:1	1.95	1.97	1.90	0.044	2.03 ^x	1.77 ^y	0.036	0.5418	<.0001	0.2595
C17:0	0.78 ^a	0.74 ^{ab}	0.73 ^b	0.011	0.76	0.74	0.009	0.0009	0.1797	0.0688
C17:1	0.27 ^a	0.25 ^b	0.22 ^c	0.007	0.26 ^x	0.23 ^y	0.006	<.0001	0.0040	0.0119
C18:0	12.68 ^a	11.90 ^b	10.64 ^c	0.235	11.79	11.66	0.193	<.0001	0.6414	0.2053
C18:1t11	2.39	2.19	2.19	0.087	2.29	2.19	0.071	0.2164	0.3088	0.6476
C18:1n9c	23.13 ^a	21.92 ^{ab}	20.82 ^b	0.438	22.26	21.34	0.358	0.0002	0.0685	0.2891
C18:2n6t	0.21 ^a	0.19 ^b	0.19 ^b	0.006	0.21 ^x	0.19 ^y	0.005	0.0149	0.0456	0.0077
C18:2n6c	1.28 ^b	1.32 ^{ab}	1.40 ^a	0.035	1.31	1.38	0.029	0.0120	0.0972	0.6108
C18:2c9t11	0.79	0.71	0.69	0.038	0.76	0.68	0.032	0.1430	0.0629	0.8879
C18:3n3	0.41 ^a	0.40 ^a	0.37 ^b	0.010	0.40	0.39	0.009	0.0007	0.4421	0.2132
C20:0	0.19 ^a	0.17 ^b	0.15 ^c	0.004	0.17	0.17	0.004	<.0001	0.3023	0.7444

OTROS	0.86 ^a	0.79 ^b	0.71 ^c	0.017	0.81 ^x	0.73 ^y	0.014	<.0001	0.0001	0.4264
SFA [†]	68.02 ^b	69.43 ^{ab}	70.58 ^a	0.561	68.86 ^y	70.29 ^x	0.459	0.0013	0.0294	0.3024
MUFA ^{††}	29.01 ^a	27.69 ^{ab}	26.54 ^b	0.513	28.20 ^x	26.84 ^y	0.419	0.0007	0.0239	0.3048
PUFA ^ε	2.97	2.88	2.88	0.064	2.94	2.87	0.053	0.3125	0.3213	0.4647

^{abc, xy} Valores con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($P < 0.05$).

[†]Nivel de concentrado (C), 3c = complementación de 3.0 kg de concentrado/v/d a vacas H y PS en pastoreo (de 7:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00h); 5c = complementación de 3.0 kg de concentrado/v/d a vacas H y PS en mismo tiempo de pastoreo que 3c; 8c = complementación de 8.0 kg de concentrado/v/d a vacas H y PS en pastoreo (de 7:00 a 15:00h). Todos los tratamientos recibieron ensilado de maíz a libre acceso en la estabulación. ^{††}EEM = Error estándar de la media. ^{*}Significancia de los efectos: Nivel de concentrado (C), genotipo (G) y la interacción nivel de concentrado por genotipo (C*G). [†]AGS = Ácidos grasos saturados, ^{††}AGMI = Ácidos grasos polinsaturados, ^ε AGPI = Ácidos grasos polinsaturados.

No se observaron diferencias ($P > 0.05$) en las concentraciones de palmitoleico (C16:1), vaccénico (C18:1 *trans*11) y CLA (C18:2 *cis*9 *trans*11). La concentración de AGS fue mayor ($P < 0.05$) en 8c con respecto a 3c (70.58 vs 68.02 g/100g AG). En contraste la concentración de AGM fue mayor ($P < 0.05$) en 3c con respecto a 8c (29.01 vs 26.54 g/100g AG). La concentración de AGPI no fue afectada ($P > 0.05$) por el nivel de concentrado.

El objetivo de la complementación de vacas lecheras en pastoreo es incrementar el consumo total de MS y el consumo de energía para incrementar a su vez la producción láctea y evitar un balance de energía negativo (Peyraud y Delaby, 2001). Complementar con altos niveles de concentrado afecta los procesos de biohidrogenación como resultado del bajo pH ruminal (Latham *et al.*, 1972; Bargo *et al.*, 2006) y esto a su vez promueve cambios en la producción de AG en el rumen y en la glándula mamaria (Enjalber *et al.*, 2008) resultando en un incremento en la insaturación de la grasa de la leche (Kemp *et al.*, 1991). Un pH bajo en el rumen ocasiona una declinación en la población bacteriana de *Butyrivibrio fibrisolvens* (Kim *et al.*, 2002), esta bacteria es la más importante en los procesos de biohidrogenación para la desaturación de AG en rumen (Jenkins, 1993). El incremento en los contenidos de AG de cadena corta y media para 8c en el presente trabajo

es similar a estudios previos realizados por Stockdale *et al.* (2003) en vacas en pastoreo complementadas con 7 a 9 kg/día de concentrado; ellos reportan un incremento de AG de cadena corta como C6:0 a C10:0 y de cadena media como C12:0 a C16:0 con respecto a vacas no complementadas. Wijesundera *et al.* (2003) complementaron con 4.5 kg/día de granos de cereales a vacas en pastoreo incrementando las concentraciones de C10:0 a C14:0 en la grasa de la leche, estos autores atribuyen los resultados a la reducción en el balance negativo de energía de las vacas por el aporte de energía en la complementación y al aumento en el consumo de MS. En vacas con un balance de energía negativo se sintetizan menos AG de cadena corta y media en la glándula mamaria y se incrementa la metabolización de AG del tejido adiposo (Palmquist *et al.*, 1993). Muchos de estos AG son sintetizados en la glándula mamaria por medio de la síntesis de *ново* a partir de acetato, por lo que dietas altas en concentrados ocasionan una mayor disponibilidad de ácido acético en la glándula mamaria originado por la fermentación de los carbohidratos en el rumen (Stockdale *et al.*, 2003). Por otra parte, los resultados obtenidos en nuestra investigación para 3c pueden ser atribuidos a un mayor consumo de MS de forraje pese a no encontrar diferencias en su consumo ($P>0.05$) ya que el forraje fresco es una fuente muy rica en AGPI, principalmente ácido linolénico (Palmquist, 2001); incrementos en el consumo de MS de forrajes frescos puede tener efectos importantes sobre la composición de AG de la grasa de la leche (Morales-Almaráz *et al.*, 2010). Las altas concentraciones de esteárico y oleico en el tratamiento 3c y la falta de significancia ($P>0.05$) en las concentraciones de palmitoleico, vaccénico y CLA (ruménico) en el presente estudio sugiere que la actividad de la enzima Δ^9 -desaturaza en la glándula mamaria no fue afectada por el efecto del nivel de concentrado; existen 4 productos resultado de la actividad de esta enzima, C14:1, C16:1, C18:1c9 y CLA *cis-9 trans-11*, los cuales son producidos a partir de C14:0, C16:0, C18:0 y C18:1 *trans-11*, respectivamente (Lock y Garnsworthy, 2003).

Bargo *et al.* (2006) en un estudio de vacas en pastoreo complementadas con concentrado (1.0 kg de concentrado/4 kg leche) reportan una mayor concentración de C12:0 y C14:0 en comparación con vacas no complementadas (2.50 vs 1.80 y 9.31 vs 7.59 g/100g AG); en su

estudio los ácidos grasos de cadena larga como el oleico y el linolénico fueron afectados negativamente por la complementación con concentrados observando mayores concentraciones en vacas no complementadas (30.89 vs 27.18 y 1.16 vs 0.79 g/100g AG); cabe resaltar que un efecto similar fue observado en nuestro estudio por el efecto de la complementación. Las concentraciones de ácido vaccénico y CLA *cis-9 trans-11* reportadas por estos autores disminuyeron en vacas complementadas con respecto a aquellas que no recibieron concentrados (1.18 vs 1.36 y 2.79 vs 3.48 g/100g AG). Por lo tanto, la concentración de AGS se incrementó y los AGI disminuyeron por efecto de la complementación de concentrados de manera similar a lo reportado en la presente investigación.

Nielsen *et al.* (2006) evaluaron el efecto del tipo de ensilado (maíz o forraje) y el nivel de concentrado (alto o bajo) sobre la concentración de AG en leche de vacas; el nivel de concentrado no modificó las concentraciones de AGS como el C12:0, C14:0 y C16:0; las concentraciones de CLA *cis-9 trans-11* y de ácido vaccénico reportadas por estos autores fueron mayores en vacas alimentadas con bajo nivel de concentrado (1.61 vs 1.17 y 2.80 vs 1.55 g/100g AG); no reportan diferencias en cuanto a la concentración de ácidos estérico, oleico y linolénico por efecto del nivel de concentrado.

El tratamiento 3c podría representar una leche de mejor calidad con potenciales beneficios a la salud humana por su menor concentración en AGS en comparación con 8c, ya que muchos de estos AG están relacionados a factores de riesgo en enfermedades cardiovasculares (Ascherio *et al.*, 1996; Williams, 2000), y por una mejor concentración de AG como oleico y linolénico que han sido estudiados por su acción hipocolesteromiente (Grundy, 1994).

En cuanto al genotipo animal (Cuadro 7) se observó efecto ($P<0.05$) principalmente en los ácidos grasos de cadena corta y media, pero casi nulo efecto ($P>0.05$) sobre los de cadena larga. Se observó una tendencia ($P=0.0629$) en el efecto del genotipo sobre el ácido C18:2

cis-9 *trans*-11, cuyo contenido en la grasa de la leche fue más alto en las vacas Holstein que en las Pardo Suizo (0.76 vs 0.68 g/100g AG). Similar patrón fue observado en el contenido en leche de C18:1 *cis*-9 (22.26 vs 21.34 g/100g AG, $P=0.0685$). Es importante señalar que aquellos ácidos grasos saturados relacionados con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y otras no infecciosas, fue afectado por el genotipo, siendo el contenido de C12:0 (3.21 vs 3.16 g/100g AG) y C14:0 (11.56 vs 12.77 g/100g AG) menor en las vacas Holstein que en las Pardo Suizo; mientras que el ácido C16:0 tendió ($P=0.0746$) a ser mayor en las Holstein, pese a que este genotipo animal mostró un aumento ($P<0.05$) de C16:1 en la leche, un producto de la actividad desaturasa en la glándula mamaria utilizando como sustrato al ácido C16:0. Se ha observado en diferentes estudios que la raza o genotipo puede afectar la composición de los AG de la grasa de la leche, pero generalmente con alcances limitados (Lawless *et al.*, 1999; Zegarska *et al.*, 2001).

Carrol *et al.* (2006) evaluaron el efecto del genotipo sobre la composición de AG de la leche de vacas Holstein, Jersey y Pardo Suizo incluyendo diferentes niveles de grasa en la dieta. Estos autores reportan que las concentraciones de ácidos grasos de cadena media como C12:0, C14:0 y C16:0 no se vieron afectadas por el efecto del genotipo. Por su parte los contenidos de C18:1 *trans*-11 fueron mayores en la raza Holstein comparadas con Pardo Suizo (1.28 vs 1.07 g/100g AG). En contraste, C18:1 *cis*-9 fue mayor en la raza Pardo Suizo (23.23 vs 19.98 g/100g AG). Los ácidos grasos como el linoleico, linolénico y CLA *cis*-9 *trans*-11 no mostraron efecto del genotipo; estos resultados coinciden con los reportados en la presente investigación.

Kelsey *et al.* (2003) reportan que AGS como C12:0 y C14:0 se encuentran en mayor concentración en la grasa de la leche de vacas Pardo Suizo comparadas con la raza Holstein (2.62 vs 2.29 y 8.53 vs 8.15 g/100g AG); de manera similar a lo reportado en nuestra investigación. Las concentraciones de ácidos vaccénico, linoleico y CLA *cis*-9 *trans*-11, reportados por estos autores, son mayores en la raza Holstein que en la Pardo Suizo (1.14 vs 0.95, 3.62 vs 3.41 y 0.44 vs 0.41 g/100g AG).

VIII. CONCLUSION

Disminuir el nivel de concentrado a expensas de aumentar el tiempo de pastoreo en interacción con el genotipo de ganado lechero afectó la ingestión de ensilado de maíz sin afectar la producción de leche, ni su contenido de macro-componentes. El efecto del nivel de concentrado tuvo mayor influencia en la producción láctea de vacas H que PS. El ahorro de 5.0 kg de concentrado complementado al ganado lechero al reducir el suministro de 8.0 a 3.0 kg/vaca/día, provocó el decremento de 3.0 kg de leche/d; ese déficit productivo parece tener menor impacto en el ganado PS comparado con H, sin embargo esta disminución en la cantidad de concentrado en la dieta en el ganado lechero evaluado disminuye el porcentaje de ácidos grasos saturados y promueve la presencia de ácidos grasos insaturados en la leche, posiblemente debidos a cambios en el ambiente ruminal que favorecen la biohidrogenación de éstos últimos, lo que podría representar un producto natural con posibles beneficios a la salud del consumidor, observando una mejor respuesta a esto en el ganado Holstein. La presencia de componentes funcionales en la grasa de la leche como el ácido linoleico conjugado y vaccénico no fueron alteradas al aumentar el tiempo de acceso al pastoreo y al reducir el nivel de concentrado.

IX. LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC. Arlington. VA, USA.
- AbuGhazaleh AA. Schingoethe DJ. Hippen AR. Kalscheur EK. (2003). Milk conjugated linoleic acid response to fish oil supplementation of diets differing in fatty acids profile. *J. Dairy Sci.* 86: 944-953.
- AbuGhazaleh AA. Schingoethe DJ. Hippen AR. Whitlock LA. (2002). Feeding fish meal and extruded soybeans enhances the conjugated linoleic acid content of milk. *J. Dairy Sci.* 86: 944-953.
- AFRC. (1993). Necesidades energéticas y proteicas de los rumiantes. Editorial Acribia, Zaragoza, España, p. 175.
- Alfonso AAR. (2011). Efectos de las estrategias de alimentación en el rendimiento y composición de la leche en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del Estado de México en época de lluvias. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Estado de México. Toluca, México.
- Allison CD. (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Management.* 38: 305-311.
- Álvarez-Nogal PJ. (2004). Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche de vaca. *Ganadería 2004.* España. pp. 60-65.
- Arnold GW. (1985). Regulation of forage intake. *In: Grazing animals.* FHW. Morley (Ed). Elviesier. Amsterdam, Netherlands. pp. 79-104.
- Aro A. Mannisto S. Salminen J. Ovaskainen ML. Kataja V. Uusitupa M. (2000). Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in post-menopausal women. *Nutr. Cancer.* 38: 151-157.
- Arriaga-Jordan C. Holmes W. (1986). The effect of concentrate supplementation on high yielding dairy cows under two systems of grazing. *J. Agric. Sci.* 107: 453-461.

- Ascherio A. Rimm EB. Giovannucci EL. Spiegelman D. Stampfer M. Willet WC. (1996). Dietary fat and risk of coronary heart disease in men: cohort follow up study in the United States. *Brit. Med. J.* 313: 84-90.
- Auldist MJ. Kay JK. Thomson NA. Napper AR. Kolver ES. (2002). Concentrations of CLA in milk from cows grazing pasture or fed a total mixed ration for an entire lactation. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 62: 240-241.
- Auldist MJ. Walsh BJ. Thomson NA. (1998). Seasonal and lactation in influences on bovine milk composition in New Zealand. *J. Dairy Res.* 65: 401-411.
- Baker RD. (1982). Estimating herbage intake from animal performance. *In: Herbage Intake Handbook*. ED. Leaver (Ed). British Grassland Society. Hurley, UK. 77-93.
- Baker RD. Alvarez F. Le Du YLP. (1981). The effect of herbage allowance and milk intake upon herbage intake and performance of grazing sucker cows and calves. *Grass Forage Sci.* 36: 189-200.
- Banni S. Martin JC. (1998). Conjugated linoleic acid and metabolites. *In: Trans Fatty Acids in Human Nutrition*. Sebedio JJ. Cristie WW. Oily Press. Dundee, Scotland. 261-302.
- Bargo F. Delahoy JE. Schroeder GF and Muller LD (2006). Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pasture allowance and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Anim. Feed Sci. Tech.* 125: 17-31.
- Bargo F. Delahoy JE. Schroeder GF. Baumgard LH. Muller LD. (2006b). Supplementing total mixed rations with pasture increase the content of conjugated linoleic acid in milk. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131: 226-240.
- Bargo F. Muller LD. Delahoy JE. Cassidy TW. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777-1792.
- Bargo F. Muller LD. Kolver ES. Delahoy JE. (2003). Invited Review: Production and digestion of supplements dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86: 1-42.
- Bauchard D. Verite R. Remon B. (1984). Long-chain fatty acid digestion in lacting cows fed fresh grass from spring to autumn. *Can. J Anim. Sci.* 64 (suppl): 330-331.

- Bauman DE. Baumgard LH. Corl BA. Griinari JM. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. I. Proc. Am. Soc. Anim. Sci., IN. pp1-11.
- Bauman DE. Corl BA. Baumgard LH. Griinari JM. (2001). Conjugated linoleic acid (CLA) and the dietary cow. *In: Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy PC. Wiseman J. (Eds). Nottingham University Press. Nottingham, UK.
- Bauman DE. Davis CL. (1974). Biosynthesis of milk fat. *In: Lactation: A Comprehensive Treatise*. BL. Larson. VR. Smith (Eds). Academic Press. New York. 31-75.
- Bauman DE. Griinari JM. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70:15-29.
- Bauman DE. Mather IH. Wall RJ. Lock LA. (2006). Major Advances Associated with the Biosynthesis of Milk. *J Dairy Sci.* 89: 1235-1243.
- Bell JA. Kennelly JJ. (2003). Short communication: Post-ruminal infusion of conjugated linoleic acid negatively impacts milk synthesis in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86: 13-21-1324.
- Belury MA. (1995). Conjugated dienoic linoleate: A polyunsaturated fatty acid with unique chemoprotective properties. *Nutr. Rev.* 53: 83-89.
- Belury MA. (2002). Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanisms of action. *Annual Rev. of Nutr.* 22: 505-531.
- Belury MA. Vanden Heuvel JP. (1999). Modulation of diabetes by conjugated linoleic acid. *In: Advances in conjugated linoleic research*. Yurawecz MP. Mossoba MM. Kramer JKG. Pariza MW. Nelson G. (Eds.). Camping: AOCS Press. 404-411.
- Bines JA. Suzuki S. Balch CC. (1969). The quantitative significance of long-term regulation of food intake in the cow. *Brit. J. Nutr.* 23: 695-704.
- Burke F. O'Donovan MA. Murphy JJ. O'Mara FP. Mulligan FJ. (2008). Effect of pasture allowance and supplementation with maize silage and concentrates differing in crude protein concentration on milk production and nitrogen excretion by dairy cows. *Livest. Sci.* 114: 325-335.
- Burns JC. Pond KR. Fisher DS. (1994). III. Intake as a critical element of forage quality. Ch. 12. Measurement of forage intake. *In: Forage quality evaluation and utilization*.

- CC. Ferlay. M Collins. DR Mertens. LE Moser (Eds). American society of Agronomy, Inc. Corp. Science society of American, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp. 494-532.
- Burns JC. Pond KR. Fisher DS. (1994). Measurement of forage intake. *In: Forage quality, evaluation, and utilization*. GC. Fahey, M. Collins, DR. Mertens, LE. Moser. (Eds.). ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp. 494.
- Carroll SM. DePeters EJ. Taylor SJ. Rosenberg M. Perez-Monti H. Capps VA. (2006). Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131: 451-473.
- Chilliard Y. Doreau M. Gagliostro G. Elmeddah Y. (1993). Addition de lipides protégés (encapsulés ou savons de calcium) a la ration de vaches laitières. Effects sur les performances et la composition du lait. *INRA Prod. Anim.* 6: 139-150.
- Chilliard Y. Ferlay A. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Repr. Nutr. Dev.* 44: 467-492.
- Chilliard Y. Ferlay A. Doreau M. (2001). Effect of different types of forages animal fat marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70: 31-48.
- Chilliard Y. Ferlay A. Mansbridge RM. Doreau M. (2000). Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech.* 49: 181-205.
- Chin SF. Liu W. Storkson JM. Ha YL. Pariza MW. (1992). Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J. Food Comp Anal.* 5: 185-197.
- Chouinard PY. Corneau L. Barbano DM. Metzger LE. Bauman DE. (1999). Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.* 129: 1579-1584.
- Chouinard PY. Corneau L. Butler WR. Chilliard Y. Drackley JK. Bauman DE. (2001). Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentrations in milk fat. *J. Dairy Sci.* 84: 680-690.

- Clark DA. Kanneganti VR. (1998). Grazing management systems for dairy cattle. *In: Grass for Dairy Cattle*. Cherney JH. Cherney DJR. (Eds.). CAB International Press. pp. 331.
- Conrad HR. Pratt AD. Hibbs JW. (1964). Regulation of feed intake in dairy cows: change in importance of physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47: 54-62.
- Cook ME. Miller CC. Park Y. Pariza M. (1993). Immune modulation by altered nutrient metabolism: nutritional control of immune induced growth depression. *Poult. Sci.* 72: 1301-1305.
- Corl BA. Barbano DM. Bauman DE. Ip C. (2003). *Cis*-9, *trans*-11 CLA derived endogenously from *trans*-11 18:1 reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 133: 2893-2900.
- Corl BA. Baumgard LH. Dewyer DA. Griinari JM. Phillips BS. Bauman DE. (2001). The role of Delta-9 desaturase in the production of *cis*-9, *trans*-11 CLA. *J. Nutr. Biochem.* 12: 622-630.
- Couvreur S. Hurtaud C. Lopez C. Delaby L. Peyraud JL. (2006). The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fat acid composition and butter properties. *J. Dairy Sci.* 89: 1956-1969.
- Dalley DE. Roche JR. Grainger C. Moate PJ. (1999). Dry matter intake, nutrient selection and milk production of dairy cows grazing rained perennial pastures at different herbage allowances in spring. *Aust. J. Exp. Agric.* 39: 923-931.
- Dewhurst RJ. (2005). Targets for milk fat research: nutrient, nuisance or nutraceutical?. *J. Agric. Sci.* 143: 359-367.
- Dewhurst RJ. Scollan ND. Lee MRF. Ougham HJ. Humphreys MO. (2003). Forage dreading and management to increase the beneficial fatty acid content of ruminant products. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 329-336.
- Dewhurst RJ. Shingfield KJ. Lee MRF. Scollan ND. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131: 168-206.
- Dhiman TR Anand GR. Satter LD. Pariza MW. (1999). Conjugated linoleic acid content of milk and cheese from cows fed extruded soybeans. *J. Dairy Sci.* 82: 412-419.

- Dhiman TR. Satter LO. Pariza MW. Galli MP. Albright K. Tolosa MX. (2000). Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 83: 1016-1027.
- Dixon RM. Stockdale CR. (1999). Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.* 50:757-773.
- Dong-Soon I. (2012). Omega-3 Fatty acids in ant inflammation (pro-resolution) and GPCRs. *Progress Lip Reseach.* 51(3): 232-237.
- Donovan DC. Schingoethe DJ. Baer RJ. Ryali J. Hippen AR. Franklin ST. (2000). Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid and other fatty acids in milk fat from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83: 2620-2628.
- Doreau M. Chilliard Y. Rulquin H. Demeyer DI. (1999). Manipulation of milk fat in dairy cows. *In: Recent Advances in Animal Nutrition.* Garnsworthy PC. Wiseman J. (Eds.). Nottingham Press. Nottingham, UK. 81-109.
- Doreau M. Ferlay A. Elmeddah Y. Bauchart D. (1989). La “protection” des matikres grasses utilisees dans l’ alimentation des ruminants: consequences sur la digestion. *Rev. Fr. Corps Gras.* 36: 271.
- Doreau M. Poncet C. (2000). Ruminant biohydrogenation of fatty acids originating from fresh or preserved grass. *Reprod. Nutr. Dev.* 40: 201.
- Dove H. Freer M. Foot JZ. (2000). The nutrition of grazing ewes during pregnancy and lactation: A comparison of alkane based and chromium/in vitro-based estimates of herbage intake. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 765-777.
- Dynes RA. (1996). The animal: options for managing intake. *Aus. J. Agr. Res.* 47: 277-287.
- Elgersma A. Moudet P. Witkowska IM. Wever AC. (2005). Effects of nitrogen fertilization and regrowth period on fatty acid concentrations in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Ann. Appl. Biol.* 147: 145-152.
- Elgersma A. Ellen G. Dekker PR. Van der Horst H. Muuse BG. Boer H. Tamminga S. (2003). Influence of cultivar and cutting date on the fatty acid composition of perennial ryegrass. *Grass Forage Sci.* 58: 323-331.

- Ellis KJ. Laby RH. Burns RG. (1981). Continues controlled-release administration of chromic oxide to sheep. *Procc. Nutr. Soc. Aust.* 6:145.
- Enjalbert F. Videau Y. Nicot MC. Troegeler-Meynadier A. (2008). Effects of induced subacute ruminal acidosis on milk fat content and fatty acid profile. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 92(3): 284-291.
- Espinoza OA. Arriaga-Jordán C. Castelán-Ortega O. (1997). Análisis económico de la producción campesina de leche en el Valle de Toluca. *In Memorias del Seminario en sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala.* Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. pp. 94-102.
- Eulitz K. Yurrawecz MP. Sheat N. Fritsche J. Roach JAG. Mossoba MM. Kramer JKG. Adolf RO. Ku Y. (1999). Preparation, separation and confirmation of the eight geometrical cis/trans conjugated linoleic acid isomers 8.10- through 11, 13-18:2. *Lipids* 34: 873-877.
- Evans M. Brown J. McIntosh M. (2002). Isomer-specific effects of conjugated linoleic acid (CLA) on adiposity and lipid metabolism. *J. Nutr. Biochem.* 13: 508-516.
- Fellner V. Sauer FD. Kramer JKG. (1995). Steady-state rates of linoleic acid biohydrogenation by ruminal bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 78: 1815-1823.
- Feng S. Lock AL. Garnsworthy PC. (2004). Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *J. Dairy Sci.* 87: 3785-3788.
- Ferlay A. Matin B. Pradel Ph. Coulon JB. Chilliard Y. (2006). Influence of grass-based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. *J. Dairy Sci.* 89: 4026-4041.
- Ferrer R. Casasús I. Petit M. (1996). Factores determinantes de la ingestión de forrajes por el vacuno. *ITEA.* 92a: 143-154.
- Forbes JM. (1971). Physiological changes affecting voluntary food intake in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 30: 135-142.

- Forbes JM. (1986). The voluntary food intake of farm animals. Butterworths. London, UK.
- Forbes JM. (1995). Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CABI. Wallingford, UK.
- Freer M. (1981). The control of food intake by grazing animals. *In: World Animal Science. Grazing Animals.* FHW. Morley (Ed). Elviesier. Ámsterdam. pp. 105-124.
- Gagliostro GA. (2004). Control del contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche y su presencia en alimentos naturales funcionales. 1. Efectos de la salud humana. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24: 113-136.
- Gasque GR. Blanco OMA. (1998). Sistemas de Producción Animal. FMVZ-UNAM. México. pp. 65-69.
- Gordon FJ. Ferris CP. Patterson DC. Mayne CS. (2000). A comparison of two grassland-based systems for autumn-calving dairy cows of high genetic merit. *Grass Forage Sci.* 55: 83-96.
- Griinari JM. Corl BA. Lacy SH. Chouinard PY. Nurmela KVV. Bauman DE. (2000). Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lacting cows by delta 9-desaturase. *J. Nutr.*
- Grundy SM. (1994). Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 60: 986-1110.
- Harfoot CG. (1978). Lipid metabolism in the rumen. *Prog. Lipid Res.* 1: 17-21.
- Harfoot CG. Hazlewood GP. (1988). Lipid metabolism in the rumen. *In: The Rumen Microbial Ecosystem.* PN. Hobson (Ed), Elsevier Appl. Sci. Publ. Co. Inc. New York. pp: 285.
- Harfoot CG. Hazlewood GP. (1997). Lipid metabolism in the rumen. *In: The Rumen Microbial Ecosystem.* PN Hobson (ed.). London, UK, Elsevier: 382-426.
- Hawke JC. (1973). Lipids. Chemistry and biochemistry of herbage. Butler GW. and Bailey EW (Eds.). London, UK, Academic Press: 213-263.
- Henderson C. (1975). The isolation and characterization of strains of lipolytic bacteria from the ovine rumen. *J. Appl. Bacteriol.* 39: 101-109.

- Hodgson J. (1982). Ingestive behavior. *In: Herbage intake Handbook*. JD Leaver (Ed). British Grassland Society. Hurley, UK. pp. 113-138.
- Hodgson J. Brookes IM. (1999). Nutrition of grazing animals. *In: Pasture and Crop Science*. White J. Hodgson J. (Eds.). Oxford University Press, Auckland, N.Z. pp. 117.
- Holden LA. Muller LD. Lykos T. Cassidy TW. (1995). Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 78: 154-160.
- Holmes W. (1989). The utilization of pasture. *In: Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables*. R. Jarrige (Ed.). Ins. Natl. Rech. Agron., Paris, France. pp. 181-188.
- Houseknecht KL. Vanden Heuvel JP. Moya-Camarena SY. Portocarrero CP. Peck LW. Nickel KP. Belury MA. (1998). Dietary conjugated linoleic acid normalizes impaired glucose tolerance in the Sucker diabetic fatty fa/fa rat. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 244: 678-682.
- Illius AW. (1989). Allometry of food intake and grazing behavior with body size in cattle. *J. Agric. Sci.* 113: 259-266.
- Illius AW. Gordon IJ. (1987). The allometry of food intake in grazing ruminants. *J. Agric. Sci.* 56: 989-999.
- Illius AW. Gordon IJ. (1991). Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics. *J. Agric. Sci.* 116: 145-157.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007). Censo agropecuario [En línea]. Disponible en www.inegi.org.mx. (Revisado el 16 de agosto de 2013).
- Ip C. Banni S. Angioni E. Carta G. McGinley J. Thompson HJ. Barbano B. Bauman DE. (1999). Conjugated linoleic acid-enriched butterfat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 129: 2135-2142.
- Ip C. Chin SF. Scimeca JA. Pariza MW. (1991). Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivate of linoleic acid. *Cancer Res.* 51: 6118-6124.

- Ip C. Chin SF. Thompson HJ. (1994). Conjugated linoleic acid a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer*. 74: 1050-1054.
- Jahreis G. Fritsche J. Steinhart H. (1997). Conjugated linoleic acid in milk fat: high variation depending on production system. *Nutr. Res.* 17: 1479-1484.
- Jenkins TC (1993). Symposium: advances in ruminant lipid metabolism. *Lipid Metabolism in the Rumen*. J. Dairy Sci. 76: 3851.
- Jenkins TC. Palmquist DL. (1984). Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility rations. *J. Dairy Sci.* 67: 978-986.
- Jenkins TC. Wallace RJ. Moate PJ. Mosley EE. (2008). Board-Invited Review: recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86: 397-412.
- Jensen RG. (2002). Invited review: the composition of bovine milk lipids: January 1995-December 2000. *J. Dairy Sci.* 85: 295-350.
- Jensen RG. Clark RW. (1988). Lipid composition and properties. *In*: Wong NP. Jenness R. Keeney M. Marth E.H. (eds.) *Fundamentals of Dairy Chemistry*, 3rd ed., New York: Van Nostrand. pp. 171-213.
- Jensen RG. Ferris AM. Lammi-Keefe CJ. (1991). Symposium milk fat-composition function and potential for change. *J. Dairy Sci.* 74: 3228-3243.
- Jiang J. Bjoerck L. Fonden R. Emanuelson M. (1996). Occurrence of conjugated *cis*-9, *trans*-11- octadecadienoic acid in bovine milk: Effects of feed and dietary regimen. *J. Dairy Sci.* 79: 438-445.
- Kay JK. Mackle TR. Auldist MJ. Thompson NA. Bauman DE. (2004) Endogenous synthesis of *cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid in dairy cows fed fresh pasture. *J. Dairy Sci.* 87: 369-378.
- Kay JK. Mackle TR. Bauman DE. Thompson NA. Baumgard LH. (2007). Effects of a supplement containing *Trans*-10, *Cis*-12 conjugated linoleic acid on bioenergetics and milk production parameters in grazing dairy cows offered ad libitum or restricted pasture. *J. Dairy Sci.* 90: 721-730.

- Kellaway R. Porta S. (1993). Feeding concentrates supplements for dairy cows. Dairy Research and Development Corporation. Australia.
- Kelly ML. Berry JR. Dewyer DA. Griinari JM. Chouinard PY. Van Amburgh ME. Bauman DE. (1998). Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentration in milk from lactating dairy cows. J. Nutr. 128: 881-885.
- Kelly ML. Berry JR. Dwyer DA. Griinari JM. Chouinard PY. Van Amburgh ME. Bauman DE. (1998). Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentration in milk from lactating dairy cows. J. Nutr. 128: 881-885.
- Kelsey JA. Corl BA. Bauman DE. (2003). The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. J. Dairy Sci. 86: 2588-2597.
- Kemp JD. Mahyuddin M. Ely DG. Fox JD. Moody WG. (1991). Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties, and fatty acid composition of lamb. J. Anim. Sci. 51: 321-330.
- Kemp P. White RW. Lander DJ. (1975). The hydrogenation of unsaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. J. Gen. Microbiol. 90: 100-114.
- Kennedy E. McEvoy M. Murphy JP. O'Donovan M. (2009). Effect of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behavior, and dry matter intake. J. Dairy Sci. 92:168-176.
- Kepler CR. Hirons KP. McNeill JJ. Tove SB. (1966). Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisolvens*. J. Biol. Chem. 241: 1350-1354.
- Khanal RC. Dhiman TR. Boman RL. (2003). Influence of turning cows out to pasture on fatty acid composition of milk. J. Dairy Sci. 86 (Suppl. 1): 356 (Abstr).
- Khanal RC. Dhiman TR. McMahon DJ. Boman RL. (2002). Influence of diet on conjugated linoleic acid content of milk, cheese and blood serum. J. Dairy Sci. 85 (Suppl. 1): 356 (Abstr.).

- Khanal RC. Dhiman TR. Ure AL. Brennand CP. Boman RL. McMahon DJ. (2005). Consumer acceptability of conjugated linoleic acid enriched milk and cheddar cheese from cows grazing on pasture. *J. Dairy Sci.* 88: 1837-1847.
- Kim YJ. Liu RH. Rychlik JK. Russel JB. (2002). The enrichment of a ruminal bacterium (*Megasphaera elsdenii* YJ-4) that produces the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid. *J. App. Microbiol.* 92: 976-982.
- Kinsella, J. E. (1975). Butter flavour. *Food Technology* 29: 82-98.
- Kolver ES. Muller LD. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81: 1403-1411.
- Lamb JB. Adams DC. Klopfenstein TJ. Grant RJ. Sims PL. White LM. Willer SS. (2002). Intake and digestive kinetics of leaf and stem fractions. *J. Range Management.* 55: 57-64.
- Latham MJ. Stony JE. Sharpe ME. (1972). Effect of low-roughage diets on the rumen and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24 (6): 871-877.
- Lawless F. Murphy JJ. Harrington D. Devery R. Stanton C. (1998). Elevation of *cis*-9, *trans*-11- octadecadienoic acid in bovine milk because of dietary supplementation. *J. Dairy Sci.* 81: 3259-3267.
- Lawless F. Stanton C. L'Escop P. Devery R. Dillon P. Murphy J. (1999). Influence of breed on bovine milk *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid content. *Livest. Prod. Sci.* 62: 43-49.
- Leaver JD. (1985). Milk production from grazed temperate grassland. *J. Dairy Res.* 52:313-344.
- Lee KN. Krichevsky D. Pariza MW. (1994). Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis.* 108: 19-25.
- Lee MRF. Shingfield KJ. Tweed JKS. Toivonen V. Huws SA. Scollan ND. (2008). Effect of fish oil on ruminal biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids in steers fed grass or red clover silages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2: 1859-1869.

- Lee MRF. Tweed JKS. Moloney AP. Scollan ND. (2005). The effects of fish oil supplementation on rumen metabolism and biohydrogenation of unsaturated fatty acids in beef steers given diets containing sunflower oil. *Anim. Sci.* 80: 361-367.
- Lock AL. Bauman DE (2004). Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids* 39: 1197-1206.
- Lock AL. Bauman DE. Garnsworthy PC. (2005) Effect of production variables on *cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid content of cows' milk. *J. Dairy Sci.* 88: 2714-2717.
- Lock AL. Garnsworthy PC. (2003). Seasonal variation in milk conjugate linoleic acid and Delta (9)-desaturase activity in dairy cows. *Livest. Produc. Sci.* 79: 47-59.
- Lock AL. Shingfield KJ. (2004). Optimizing milk composition. *In: Dairying-Using Science to Meet Consumer' Needs.* Kebreab E. Mills J. Beever DE. (Eds.). Occ. Pub. No. 29, Brit. Soc. Anim. Sci. Nottingham University Press, Loughborough, UK: 107-188.
- Loor JJ. Herbein JH. (2003). Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acid (CLA) alter profiles of 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103: 63-83.
- Loor JJ. Herbein JH. Polan CE. (2002). Trans 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat of grazing cows fed a grain supplement containing solvent-extracted or mechanically extracted soybean meal. *J. Dairy Sci.* 85: 1197-1207.
- Loor JJ. Soriano FD. Herbein JH. Polan CE. (2003). Grazing allowance after the morning of afternoon milking for lactating cows fed a total mixed ration (TMR) enhances trans11-18:1 and cis9,trans11-18:2 (rumenic acid) in milk fat to different extents. *Anim. Feed Sci. Tech.* 109: 105-119.
- MacGibben AK. Taylor MW. (2006). Composition and structure of bovine milk lipids. *In: Fox, P. F. McSweeney, P. L. H. (eds.). Advanced Dairy Chemistry, Vol. 2: Lipids, 3rd ed., pp. 1-42.*
- MacGibbon AKH. Van der Does YEH. Fong BY. Robinson NP. Thomson NA. (2001). Variations in the CLA content of New Zealand milk fat. *Aust. J. Dairy Technol.* 56: 158.

- Macon B. Sollenberger LE. Moore JE. Staples CR. Fike JH. Portier KM. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81: 2357-2366.
- Martin SA. Jenkins TC. (2002). Factors affecting conjugated linoleic acid and trans C18:1 fatty acid production by mixed ruminal bacteria. *J. Anim. Sci.* 80: 3347-3352.
- Mayne CS. Wright IA. (1988). Herbage intake and utilization by the grazing dairy cow. *In: Nutrition and Lactation in the Dairy Cow.* Garnsworthy PC. (Ed). Butterworths, London. pp. 280.
- Mayne S. (1996). Can grazed grass provide? High vs. Medium genetic merit cows. *In: Grass and Forage for Cattle of High Genetic Merit.* Garnsworthy PC. (Ed.). Proc. Br. Grassland Soc. Malvern England. Univ. Reading, Berkshire, England. pp. 17-22.
- McGilloway DA. Mayne CS. (1996). The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. *In: Recent Advances in Animal Nutrition.* Garnsworthy PC. J. Wiseman, W. Haresign, (Eds.). Nottingham University Press. UK. pp. 135.
- McGuire MA. McGuire MK. (2000). Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *J. Anim. Sci.* 77: 1-8.
- McIntyre GR. (1978). Static aspects of vegetation sampling. *In: Measurement of grassland and vegetation and animal production.* LT. Mannerje (Ed.). Commonwealth Agriculture Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England. pp. 8-21.
- Meijis JAC. Walters RJK, Keen A. (1982). 2. Sward methods. JD Leaver (Ed.). *In: Herbage intake handbook*, Br. Grassl. Soc. Hurley, UK. pp. 195.
- Mellado BM. (2010). Producción de leche en zonas templadas y tropicales. Trillas. México. pp. 6-14.
- Menke, KH. Steingass H. (1988). Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.* 28: 7-55.
- Michal JJ. Johnson KA. Treacher RJ. (1996). The impact of direct fed fibrolytic enzymes on the growth rate and feed efficiency of growing beef steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 74 (Supl. 1): 296.

- Moore JE. (1996). Practical approaches to estimating pasture intake. *In: Proceeding Nutrient cycling in forage systems*. RE Joost. CA Roberts (Eds.). Center for pasture management. Univ. of Missouri, Columbia, MO. p. 193.
- Moore JE. (1996). Practical approaches to estimating pasture intake. *In: Proceedings, Nutrient cycling in forage systems*. RE. Joost, CA. Roberts. (Eds). Center for Pasture Management, Univ. of Missouri, Columbia, MO. pp. 193.
- Moore WEC. Burmeister JA. Brooks CN. Ranney RR. Hinkelmann KH. Schieken RM. Moore LVH. (1993). Investigation of the influences of puberty, genetics and environment on the composition of subgingival periodontal floras. *Infect. Immun.* 61: 853-858.
- Morales-Almaráz E. De la Roza-Delgado B. González A. Soldado A. Rodríguez M.L. Peláez M. Vicente F. (2011). Effect of feeding system on unsaturated fatty acid levels in milk of dairy cows. *Renew. Agric. Food Syst.* 26(3):224-229.
- Morales-Almaráz E. Soldado A. González A. Martínez-Fernández A. Domínguez-Vara I. De la Roza-Delgado B. Vicente F. (2010). Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding on total mixed ration. *J. Dairy Res.* 77 (2): 225-230.
- Nam S. Garnsworthy PC. (2007). Biohydrogenation of linoleic acid by rumen fungi compared with rumen bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 103: 551-556.
- Nielsen TS. Straarup EM. Vestergaard M. Sejrsen K. (2006). Effect of silage type and concentrate level on conjugated linoleic acids, trans-C18:1 isomers and fat content in milk from dairy cows. *Repr. Nutr. Dev.* 46: 699-712.
- Noble RC. Moore JH. Harfoot CG. (1974). Observations of the pattern of biohydrogenation of esterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *British J. of Nutrition* 31: 99-108.
- NRC. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. The National Academy Press, Washington, DC. USA. p. 292.
- Palmquist DL. Jenkins TC. (1980). Fat in lactation rations: review. *Dairy Sci.* 63: 1-14.

- Palmquist DL. (2001). Ruminal and endogenous synthesis of CLA in cows. *Australian J. Dairy Tech.* 56: 127-134.
- Palmquist DL. Beaulieu AD. Barbano DM. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76: 1753-1771.
- Palmquist DL. Jenkins TC. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *J. Anim. Sci.* 81: 3250-3254.
- Palmquist DL. Lock AL. Shingfield KJ. Bauman DE. (2005). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. *In: Adv. Food Nutr. Res.* Taylor SL. (Ed.). Elsevier Academic Press, San Diego, CA. Vol. 50: 179-217.
- Pariza MW. (1999). The biological activities of conjugated linoleic acid. *In: Advances in conjugated linoleic acid research.* Yurawecz MP. Mossoba MM. Kremer JKG. Pariza MW. Nelson GJ. (Eds.). AOCS Press. Champaign, IL. Vol. 1: 12-20.
- Pariza MW. Park Y. Cook ME. (2001). The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog. Lipid Res.* 40: 269-281.
- Park Y. Albright KJ. Liu W. Storkson JM. Cook ME. Pariza MW. (1997). Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 32: 853-854.
- Park Y. Storkson JM. Albright KJ. Liu W. Pariza MW. (1999). Evidence that the trans-10, cis12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. *Lipids.* 34: 235-241.
- Park Y. Storkson JM. Albright KJ. Liu W. Pariza MW. (1999). Evidence that the trans-10, cis12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. *Lipids.* 34: 235-241.
- Parody PW. (1999). Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy Sci.* 82: 1339-1349.
- Peterson DG. Kelsey JA. Bauman DE. (2002). Analysis of variation in cis9, trans11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2164-2172.
- Peterson DG. Kelsey JA. Bauman DE. (2002). Analysis of variation in cis9, trans11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2164-2172.

- Peyraud JL. Delaby L. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cow's responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. *In: Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy PC. Wiseman J. (Eds.). Nottingham University Press, UK. pp. 203.
- Phillips CJC. (1988). The use of conserved forage as supplement for grazing dairy cows. *Grass Forage Sci.* 43: 215-230.
- Qui X. Reed DW. Hong H. Mackensie SL. Covello PS. (2001). Identification and analysis of gene from *calendula officinalis* encoding a fatty acid conjugated. *Plant Physiology*. 125: 847-855.
- Raymond WF. Minson DJ. (1995). The use of chromic for estimating the fecal production of grazing animals. *J. Br. Grassld. Soc.* 10: 282-296.
- Reeves MW. Fulkerson J. Kellaway RC. Dove H. (1996). A comparison of three techniques to determine the herbage intake of dairy cows grazing kikuyu (*Penisetum clandestinum*) pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 36: 23-30.
- Riquelme C. Pulido RG. (2008). Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. *Arch. Med. Vet.* 40, 243-249.
- Robelin J. Agabril J. Malterre C. Bonnemaire J. (1990). Changes in body composition of mature dry cows of Holstein, Limousine and Charolaise breeds during fattening. 1. Skeleton, muscles, fatty tissues and offal. *Livest. Prod. Sci.* 25: 199-215.
- Rochinotti D. (1998). Model components of forage-fed cattle systems: Energy expenditure of grazing cattle and prediction of intake in dairy cows. Ph.D. Diss., University of Florida, Gainesville.
- SAGARPA (2010). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Coordinación General de Ganadería. "Claridades Agropecuarias" Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2010. Noviembre, No. 207.

- Salinas MJA. (2011). Rentabilidad de los sistemas de producción en pequeña escala de leche de vaca en Texcoco, Estado de México. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Estado de México. Toluca, México.
- Salter AM. Daniels ZCTR. Wynn RJ. Lock AL. Garnsworthy PC. BATTERY PJ. (2002). Manipulating the fatty acid composition of animal products. What has and what might be achieved? *In: Recent advances in animal nutrition*. Garnsworthy PC. Wiseman J. Nottingham Univ. Press. Nottingham, UK. pp. 33-44.
- Santos MA. (2007). Leche y sus derivados. 2da ed. Trillas. México. pp. 27-108.
- SAS. (1999). SAS/STATTM User's Guide. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, North Caroline, USA. p. 315.
- Schilimne E. Buchheim W. (2002). La leche y sus componentes. Propiedades químicas y físicas. 2da ed. Acribia. Zaragoza, España. pp.54-77, 89-104.
- Schroeder GF. Couderc JJ. Bargo F. Rearte DH. (2005). Milk production and fatty acid profile of milk fat by dairy cows fed a winter oats (*avena sativa L.*) pasture-only or a total mixed rations. *N. Z. J. Agric. Res.* 48: 187-195.
- Schroeder GF. Delahoy JE. Vidaurret I. Bargo F. Gagliostro GA. Muller LD. (2003). Milk fatty acid composition of cows fed a total ration or pasture plus concentrates replacing corn whit fat. *J. Dairy Sci.* 86: 3237-3248.
- Schroeder GF. Gagliostro GA. Becu-Villalobos D. Lacau-Mengido I. (2002). Supplementation with partially hydrogenated oil in grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 85: 580-594.
- Sehat N. Kramer JKG. Mossoba MM. Yurawecz MP. Roach JAG. Eulitz K. Morehouse KM. Ku Y (1998). Identification of conjugated linoleic acid isomers in cheese by gas chromatography, silver ion high performance liquid chromatography and mass spectral reconstructed ion profiles. *Lipids* 33: 963-971.
- Shingfield K. Reynolds C. Lupoli B. Toivonen V. Yurawecz M. Delmonte P. Griinari J. Grandison A. Beever D. (2005). Effect of forage type and proportion of concentrate

- in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. *J. Anim. Sci.* 80: 225-238.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2011). Dirección de Ganadería [En línea]. Disponible en www.siap.gob.mx. (Revisado el 15 de agosto de 2013).
- Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2012). Temperatura y precipitación [En línea]. Disponible en www.smn.conagua.gob.mx. (revisado el 2 de noviembre de 2012).
- Smit HJ. Taweel HZ. Tas BM. Tamminga S. Elgersma A. (2005). Comparison on techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 1827-1836.
- Song HJ. Grant I. Rotondo D. Mohede I. Sattar N. Heyes SD. Wahle KWJ. (2005). Effect of CLA supplementation on immune function in young healthy volunteers. *Eur. J. Clin. Nutr.* 59: 508-517.
- Soriano FD. Polan CE. Miller CN. (2001). Supplementing pasture to lactating Holsteins fed a total mixed ration diet. *J. Dairy Sci.* 84: 2460-2468.
- Steel RGD. Torrie JH. Dickey DA. (1997). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 p.
- Spreer E. (1991). *Lactología Industrial*. 6ta ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 7-31.
- Stockdale CR. (1985). Influence of some sward characteristics on the consumption of irrigated pastures grazed by lactating dairy cows. *Grass Forage Sci.* 40: 31-39.
- Stockdale CR. (1994). Persian clover and maize silage. I. Silage as a supplement for lactating dairy cows offered herbage of different quality. *Aust. J. Agric. Res.* 45: 1751-1765.
- Stockdale CR. (1999). Effects of cereal grain, lupins-cereal grain or hay supplements on the intake and performance of grazing cows. *Aust. J. Exp. Agric.* 39: 811-817.
- Stockdale CR. (2000). Differences in body condition and body size affect the responses of grazing dairy cows to high energy supplements in early lactation. *Aust. J. Exp. Agric.* 40:903-911.

- Stockdale CR. Waler GP. Wales WJ. Dalley DE. Birkett A. Shen Z. Doley PT. (2003). Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *J. Dairy Res.* 70: 267-276.
- Stuedemann JA. Matches AG. (1989). Measurement of animal responses in grazing research. *In: Grazing research: Design, methodology and analysis.* GC. Marten (Ed.). Crop. Sci. Soc. Amer. Special Pub. No. 16. Crop Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, WI. pp. 21.
- Stull JW. Brown WH. (1964). Fatty acid composition of milk. II. Some differences in common dairy breeds. *J. Dairy Sci.* 47: 1412.
- Sukhija PS. Palmquist DL. (1988). Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36: 1202-1206.
- Thompson HJ. Zhu Z. Banni S. Darcy K. Loftus T. Ip C. (1997). Morphological and biochemical status of the mammary gland as influenced by conjugated linoleic acid: implication for a reduction in mammary cancer risk. *Cancer res.* 57: 5067-5072.
- Valk H. (1994). Effects of partial replacement of herbage by maize silage on N-utilization and milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 40: 241-250.
- Van Soest PJ. (1977). Plant fiber and its role on herbivore nutrition. *The Cornell Veterinarian.* 67: 307-326.
- Van Soest PJ. Robertson JB. Lewis BA. (1991). Methods dietary, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Velik M. Baumung R. Zollitsch W. Knaus WF. (2007). Effects of partial substitution of concentrates with maize silage in organic dairy cow rations on performance and feed efficiency. *J. Sci Food Agric.* 87: 2657-2664.
- Vibart RE. Fellner V. Burns JC. Huntington GB. Green Jr. JT. (2008). Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *J. Dairy Res.* 75: 471-480.

- Visonneau SA. Cesano SA. Tepper JA. Scimeca JA. Santoli D. Krichevsky D. (1997). Conjugated linoleic acid suppresses the growth of human breast adenocarcinoma cells in scid mice. *Anticancer Res.* 17: 969-974.
- Walstra P. Geurt TJ. Noomen A. Jellema A. Van Boekel M. (2001). *Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos*. Marcel Dekker inc. New York. pp. 3-108.
- Wayne CC. (1964). Symposium on nutrition of forages and pastures: Collecting samples for representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *J. Anim. Sci.* 23: 265-270.
- Weston RH. (1982). Animal factors affecting intake. *In: Nutritional limits to animal production from pastures*. JB. Hacker (Ed.). Farnham Royal, UK. Proceedings of an international symposium held at St. Lucia, Queensland, Australian 24-28th 1981. pp. 167-182.
- White SL. Bertrand JA. Wade MR. Washburn SP. Green JR. Jenkins TC. (2001). Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 84: 2295-2301.
- Wijesundera C. Shen Z. Wales WJ. Dalley DE. (2003). Effect of cereal grain and fibers supplements on the fatty acid composition of milk fat of grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Res.* 70: 257-265.
- Williams SM. (2000). Dietary fatty acids and human health. *Annales de Zootechnie* 49: 165-180.
- Wright AJ. Marangoni AG. (2006). Crystallization and rheological properties of milk fat. *In: Fox PF. McSweeney PLH. (Eds.). Advanced Dairy Chemistry, Vol. 2: Lipids, 3rd ed., pp. 245-291.*
- Wright DE. (1961). Lipase activity of rumen micro-organisms. *N. Z. J. Agric. Res.* 4: 216-223.
- Yashodhara BM. Umakanth S. Pappachan JM. Bhat SK. Kamath R. Choo BH. (2009). Omega-3 fatty acids: a comprehensive review of their role in health and disease. *Postgrad Med. J.* 85: 84-90.

- Yokohama MT. Davis CL. (1971). Hydrogenation of unsaturated fatty acids by *Treponema (Borrelia) Strain B25*, a Rumen Spirochete. J. Bacteriol. 107(2): 519-527.
- Zegarska A. Jaworski J. Paszczyk B. Charkiewicz J. Borejszo Z. (2001). Fatty acid composition with emphasis on *trans* C18:1 isomers of milk fat from Lowland Black-White and Polish Red cows. Polish J. Food Nutr. Sci. 4: 41-44.

X. ANEXOS

Anexo 1. Artículo científico para revista Agrociencia.



Editorial del Colegio de Postgraduados

"2014, Año de Octavio Paz"

26 de mayo de 2014

CARTA DE RECEPCIÓN

DR. ERNESTO MORALES ALMARAZ

E-MAIL: maernesto@hotmail.com

Le comunico haber recibido la siguiente contribución para iniciar el proceso editorial en la revista AGROCIENCIA.

Título: Efecto del nivel de concentrado sobre perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein en pastoreo.

Autores: Horacio Castro Hernández, Francisco Filiberto González Martínez, Ignacio A. Domínguez Vara, Juan M. Pinos Rodríguez y Ernesto Morales Almaraz.

Su contribución ha sido formalmente recibida, asignándole la clave: **14-153**. Copias de la misma serán enviadas a dos árbitros y a un editor, quienes evaluarán su contenido. Oportunamente se le comunicará los dictámenes respectivos.

Asimismo, le agradeceré que en toda correspondencia: a) Indique la clave asignada; b) notifique cualquier cambio de domicilio por correo electrónico.

Le recuerdo que como **autor responsable**, usted debe recabar las autorizaciones de los coautores (de haberlos) de que están conformes con el contenido de cada una de las versiones requeridas durante el proceso editorial y mantenerlos informados oportunamente de los avances respectivos. Es decir, **el suscrito sólo extenderá constancias a usted** por lo que le agradeceré que, de requerirse, sea el conducto para hacerle llegar copias a los interesados.

Finalmente le anticipo que, en caso de ser aprobada para publicación, su contribución **deberá ser traducida al idioma inglés**. Para tal efecto la dirección de Agrociencia ha seleccionado un grupo de traductoras que han probado su competencia en esa tarea. La traducción será asignada por el suscrito a una de ellas, en el entendido de que el pago que se convenga será hecho directamente por el autor responsable a la traductora. Ninguna persona de la oficina de Agrociencia actuará como intermediaria en los aspectos financieros involucrados.

SERGIO S. GONZÁLEZ MUÑOZ
DIRECTOR DE AGROCIENCIA

Nota: Favor de regresar el certificado de inédito debidamente requisitado.

❖ SSGM/yfm

• Oficina Central • Cuernavaca # 9, Eje Central Av. México •
• 36251 San Juan Teicoc, Tlaxcala, Estado de México •
• TELÉFONO 928.4427 • 01555 928.4013 •

• Colegio de Postgraduados • Campos Morelos • Estadística •
• Carretera México-Texcoco, Km. 36.5, 56230, Morencillo •
• Toluca, Estado de México •

• Apartado Postal 199, 56100, Texcoco •
• Apartado Postal 56, 56230, Chapongo •
• editorialcp@colpos.mx •

**EFEECTO DEL NIVEL DE CONCENTRADO SOBRE PERFIL DE ÁCIDOS
GRASOS DE LA LECHE DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO**

**EFFECT OF LEVEL OF CONCENTRATE ON MILK FATTY ACID PROFILE FROM
HOLSTEIN COWS IN GRAZING**

Horacio **Castro-Hernández**¹, Francisco Filiberto **González Martínez**¹, Ignacio Arturo
Domínguez-Vara¹, Juan Manuel **Pinos Rodríguez**², Ernesto **Morales-Almaráz**^{1*}

RESUMEN

El contenido de ácido linoléico conjugado (CLA c9 t11) en leche depende mayoritariamente de la producción en rumen de ácido vaccénico, este está influenciado por el aporte de los ácidos linoléico y linolénico con la dieta. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del nivel de concentrado sobre la producción, composición y perfil de ácidos grasos de la leche de nueve vacas Holstein en praderas asociadas de gramíneas y leguminosas. El diseño experimental fue un cuadro latino 3 x 3 y los tratamientos fueron: 1) 8 kg concentrado y 8 h en la pradera (**8c**); 2) 5 kg concentrado y 12 h en la pradera (**5c**), y 3) 3 kg de concentrado y 12 h en la pradera (**3c**). Los datos se analizaron con el procedimiento MIXED de SAS y las medias de los de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La producción de leche y el contenido de grasa, proteína y lactosa fueron mayores ($p \leq 0.05$) en el tratamiento 8c. La concentración de los ácidos grasos (AG) láurico, mirístico y palmítico se incrementó ($p \leq 0.05$) al aumentar el nivel de concentrado. El contenido de los AG de cadena larga ($\geq C18$) fue mayor ($p \leq 0.05$) con 3 kg de concentrado, excepto para C18:2 c9c12. La reducción del concentrado suministrado a vacas Holstein en praderas asociadas disminuye el contenido de los AG saturados, pero

aumenta el contenido de los insaturados, especialmente de ácidos oleico, linolénico, vaccénico y CLA c9 t11.

Palabras clave: Bovinos, ácido linoléico conjugado, leche, pastoreo.

INTRODUCCIÓN

La grasa de la leche contiene 70 a 75% de ácidos grasos (AG) saturados (AGS) (Lock y Shingfield, 2004), los cuales están relacionados con efectos hipercolesteromiantes y enfermedades cardíacas, en especial los ácidos láurico, mirístico y palmítico (Williams, 2000). La grasa de la leche contiene AG poliinsaturados (AGPI) (Lock y Shingfield, 2004) y el ácido linoleico tiene una acción hipocolesteromiante en seres humanos (Grundy, 1994). El ácido linoleico conjugado, específicamente el isómero C18:2 *cis9 tras11* (ruménico), muestra propiedades anticarcinogénicas en modelos animales (Ip *et al.*, 1994; Corl *et al.*, 2003) y posiblemente en humanos (Belury, 2002). Por lo tanto, es importante aumentar la concentración de AGPI y disminuir la de AGS en la leche, productos lácteos y otros alimentos para consumo humano.

El perfil lipídico de la leche es afectado por la dieta consumida (Shingfield *et al.*, 2005), la raza animal (Carroll *et al.*, 2006), la época del año (Lock y Garnsworthy, 2003), o la etapa de lactancia (Auldist *et al.*, 1998). La dieta tiene un efecto principal sobre la variación del perfil de AG en la leche, el cual se puede modificar incrementando la concentración de AGPI con el pastoreo (Kelly *et al.*, 1998), con el tipo de ensilado utilizado (Dewhurst *et al.*, 2003), la cantidad de concentrado en la dieta (Bargo *et al.*, 2006), la fuente de granos (Wijesundera *et al.*, 2003), el suministro de aceites de oleaginosas (Khanal *et al.*, 2002) o

de aceites de pescado (Abu-Ghazaleh *et al.*, 2003). En México se ha evaluado el efecto de la alimentación sobre la composición química de la leche (Arriaga-Jordan *et al.*, 2002; Heredia-Nava *et al.*, 2007), pero en la literatura revisada hay poca información sobre el contenido de AG en la leche, así como de su modificación mediante estrategias de alimentación. La presente investigación tuvo el objetivo de evaluar el efecto de tres niveles de concentrado y el tiempo de acceso a la pradera sobre la producción, composición y perfil de AG de la leche de vacas Holstein en el Valle de Toluca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El experimento se realizó durante mayo y junio de 2011, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada a 19° 24' 48'' O, 99° 40' 45'' N y una altitud de 2632 m (INEGI, 2003). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, clasificado como Cb (W2) (W2) (García, 1987).

Animales, dieta y tratamientos

Nueve vacas Holstein multíparas (22.6 ± 4.0 kg leche d^{-1} y 99.0 ± 42.0 d en lactancia) fueron agrupadas en un diseño 3x3 con tres periodos experimentales. La alimentación de las vacas estuvo basada en un sistema de producción mixto con tiempos de acceso al pastoreo y complementación de ensilado de maíz y concentrado en el establo. El pastoreo fue rotacional en praderas polífitas de 2.5 ha. Las especies predominantes fueron *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata* y *Penisetum clandestinum*. Las praderas fueron fertilizadas con 50 kg urea ha^{-1} . El concentrado contenía 18 % (BS) de proteína cruda y 2.0 Mcal kg^{-1} MS de EN para lactancia (ENL), elaborado

con (g kg^{-1} MS) sorgo (486.7), pasta de soya (200.4), canola (147.5), salvado de trigo (146.7) y una premezcla de vitaminas y minerales (18.7). El concentrado ($\text{kg MS vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$), asociado al tiempo de acceso a la pradera fue: 1) 7.2 kg de concentrado (**8c**) con acceso a la pradera de 07:00 a 15:00 h; 2) 4.5 kg de concentrado (**5c**) con acceso a la pradera de 7:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00 h; 3) 2.7 kg de concentrado (**3c**) con acceso a la pradera igual a **5c**. El concentrado se ofreció en dos comidas, a las 16:00 y 20:00 h para el tratamiento 1, y a las 20 y 24 h en los tratamientos 2 y 3. El ensilado de maíz se ofreció a libre acceso en los mismo tiempos. Las vacas tuvieron libre acceso al agua de bebida en la pradera y en el establo.

Desarrollo experimental

El estudio comprendió tres periodos experimentales, cada uno de 14 d de adaptación y 5 días de muestreo. Se realizaron dos ordeños al día (06:00 y 15:00h). La asignación de forraje en pastoreo fue de 25 kg de MS $\text{vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, determinada por medición de la biomasa pre-pastoreo, mediante el corte de forraje en ocho cuadrantes ($0.25 \text{ m}^2 \text{ cuadrante}^{-1}$) a ras de suelo, tras el pesaje y homogenización del material fresco se tomó la muestra y se seco a 60° C en estufa de aire forzado. La superficie de pastoreo designada fue ajustada cada día durante la etapa de medición. El manejo fue el siguiente: finalizado el ordeño matutino (07:00 h), los tres grupos de vacas fueron llevados a la pradera, en donde permanecieron hasta el comienzo del ordeño vespertino (15:00 h), al término de este (16:00 h), las vacas del grupo **8c** fueron estabuladas y se les suministró el concentrado y el ensilado de maíz; mientras que las vacas de los grupos **5c** y **3c**, se trasladaron nuevamente a la pradera donde permanecieron hasta las 20:00 h; después fueron estabuladas y se les suministró el

concentrado y el ensilado de maíz. Para todos los grupos, la alimentación en la estabulación fue a las 20:00 y 24:00 h en comederos individuales, y para el grupo **8c** una comida previa a las 16:00 h y en la comida de las 24:00 h, únicamente se les suministró ensilado de maíz. Se midió el consumo de alimento en la estabulación por diferencia de la oferta y el rechazo; y la producción de leche se midió diariamente. La leche fue muestreada individualmente en cada ordeño, después se obtuvo una alícuota que se mantuvo en congelación (-20° C) hasta su análisis.

Análisis de laboratorio

En los alimentos suministrados se determinó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) (AOAC, 1990); fracciones de fibra, neutro detergente (FND), ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD), de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991). El aporte de energía neta de los alimentos se estimó según las ecuaciones descritas por Menke y Steingass (1988); el contenido de los ácidos grasos de los alimentos (Cuadro 1) se determinó mediante la técnica descrita por Sukhija y Palmquist (1988) con modificaciones de Palmquist y Jenkins (2003) utilizando ácido clorhídrico metanólico al 10 % y hexano como solvente orgánico.

Cuadro 1. Composición química y contenido de ácidos grasos de los alimentos.

Composición química (g kg ⁻¹ MS)	Ensilado de maíz	Forraje	Concentrado
MS	326.84	243.67	925.0
MO	944.43	879.50	951.1
PC	70.11	147.97	182.2

FDN	608.11	559.34	155.6
FDA	328.64	281.80	64.0
LDA	45.42	36.43	23.1
ENL [†]	1.41	1.52	2.0
Ácidos grasos (g 100 g ⁻¹ AG)			
C12:0	0.40	1.63	0.05
C13:0	0.03	1.02	0.64
C14:0	0.63	1.15	0.16
C16:0	19.09	19.90	21.26
C16:1	0.47	2.36	0.69
C18:0	4.59	4.00	2.30
C18:1n9c	29.56	5.28	34.71
C18:2n6c	35.43	12.10	31.75
C18:3n3	4.27	45.15	2.27
Otros	5.55	7.40	6.17

[†] Energía neta de lactación en Mcal kg⁻¹ MS, calculada según la ecuación: $(9.07 - 0.0097 \cdot \text{FAD}) / 4.184$ (Menke y Steingass, 1988).

La composición química de la leche (proteína, grasa y lactosa) se determinó con un equipo analizador de leche (Lactoscan S-L 60). La determinación del perfil de ácidos grasos de la leche se hizo previa extracción de la grasa de acuerdo con la técnica descrita por Feng *et al.* (2004); la metilación de la muestra se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Christie (1982) con modificaciones de Chouinard *et al.* (1999). Los esteres

metílicos de los ácidos grasos de la leche y los alimentos fueron separados y cuantificados por cromatografía de gases (Perkin Elmer Clarus 500) con una columna capilar de 100 m x 0.25 mm x 0.2 μ m (SUPELCO TM-2560) utilizando nitrógeno como gas acarreador. Cada pico fue identificado de acuerdo con los tiempos de retención de estándares de esteres metílicos (Supelco 37, FAME MIX analytical SIGMA USA).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue de cuadro latino 3x3 y los datos se analizaron con procedimiento MIXED de SAS (1999). El modelo lineal fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + P_i + G_j + C_k + E_z$, donde Y_{ijk} = es la variable dependiente, μ = es la media general, P_i = efecto del periodo (1, 2, 3), G_j = efecto del grupo (1, 2, 3), C_k = efecto del nivel de concentrado (3, 5, y 8 kg MF), E_z = error residual. Las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) (Steel *et al.*, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables productivas

Los datos de consumo, producción y composición de la leche se presentan en el Cuadro 2. El tratamiento **8c** mostró la mayor ingestión ($p \leq 0.05$) de ensilado de maíz y en el consumo total en estabulación con respecto a los otros tratamientos. En el presente trabajo no se estimó el consumo de pasto en la pradera; de acuerdo con el NRC (2001), el ganado lechero con un peso vivo promedio de 680 kg, con un promedio de 90 días de lactación y una producción de 25 kg de leche d^{-1} requiere consumir 19.6 kg de materia seca, mientras que las vacas de 450 kg de PV, con producción de 20 kg de leche d^{-1} , requieren consumir

16.5 kg de MS; en la presente investigación, la producción láctea no rebasó los 20.0 kg d⁻¹ por lo que se esperarían consumos de MS no superiores a los 16 kg d⁻¹ (NRC, 2001).

Cuadro 2. Consumo de materia seca, producción, composición y rendimiento de la leche de vacas en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca, México.

Consumo (kg d ⁻¹)	Nivel de concentrado			EEM [†]
	3c	5c	8c	
Ensilado	7.71 ^b	7.40 ^b	8.38 ^a	0.1243
Concentrado	2.70	4.50	7.20	
Estabulado [¶]	10.41 ^c	11.90 ^b	15.58 ^a	0.1536
Producción láctea (kg d ⁻¹)	15.46 ^c	17.07 ^b	19.03 ^a	0.3317
Proteína (g kg ⁻¹)	31.98	30.74	31.04	0.5256
Grasa (g kg ⁻¹)	37.38	35.86	36.63	0.9707
Lactosa (g kg ⁻¹)	43.69	44.08	43.72	0.4236
Proteína (kg d ⁻¹)	0.493 ^b	0.523 ^b	0.592 ^a	0.0127
Grasa (kg d ⁻¹)	0.584 ^b	0.613 ^{ab}	0.699 ^a	0.0210
Lactosa (kg d ⁻¹)	0.679 ^c	0.752 ^b	0.835 ^a	0.0169

^{abc} Valores con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

[†] EEM = Error estándar de la media. [¶] Considera la suma del consumo de concentrado y ensilado de maíz suministrados en la estabulación.

Se observó un aumento ($p \leq 0.05$) de la producción de leche conforme se incrementó el concentrado, siendo 23.0 y 10.4 % mayor en **8c** y **5c** respecto a **3c** (Cuadro 2) pero sin afectar ($p > 0.05$) el contenido de grasa ($36.63 \pm 8.86 \text{ g kg}^{-1}$), de proteína ($31.25 \pm 5.55 \text{ g kg}^{-1}$) y de lactosa ($43.83 \pm 3.77 \text{ g kg}^{-1}$) en la leche.

El rendimiento de los componentes grasa, proteína y lactosa fue superior en **8c** ($p \leq 0.05$), estas diferencias son explicadas por el mayor aporte de energía en la dieta al aumentar el nivel de concentrado, lo cual se reflejó en un incremento de la producción de leche dado que los componentes de la leche no fueron afectados. Bargo *et al.*, (2002) observaron similar respuesta en el rendimiento de componentes en la leche de vaca suplementadas (1 kg concentrado/4 kg de leche) *versus* no suplementadas.

Perfil de ácidos grasos

El nivel de concentrado afectó ($p \leq 0.05$) a la gran mayoría de los AG de la leche (Cuadro 3). Los AG de cadena corta (C4-C11) tuvieron mayor concentración en la leche de **8c**, excepto C4 y C6. Los ácidos grasos láurico (C12), mirístico (C14) y palmítico (C16) aumentaron su concentración ($p \leq 0.05$) en 24.4, 8.5 y 4.8%, respectivamente al incrementar el nivel de concentrado de 3 a 8 kg, lo cual contribuyó al mayor contenido total de AGS en la leche (68.00 vs 69.76 g 100 g⁻¹ AG, respectivamente para **3c** y **8c**). Esto contrasta con lo reportado por Nielsen *et al.* (2006) al evaluar el efecto del nivel de concentrado (alto o bajo) sobre la concentración de AG en leche de vacas, quienes no observaron efecto en las concentraciones de los ácidos C12:0, C14:0 y C16:0. Respecto a

estos tres ácidos grasos se ha sugerido reducir su contenido en la leche, debido a su relación con el aumento de lipoproteínas de baja densidad y con la concentración total de colesterol sanguíneo (Williams, 2000).

No se observaron diferencias ($p > 0.05$) en las concentraciones de palmitoleico (C16:1 c9), C15 y C15:1 excretados en leche.

Cuadro 3. Efecto del nivel de concentrado sobre el perfil de ácidos grasos ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ AG}$) de la leche de vacas en pastoreo en el Valle de Toluca, México.

Ácido graso	Nivel de concentrado			EEM [†]
	3c	5c	8c	
C4:0	3.10	3.16	3.25	0.0643
C6:0	2.14	2.17	2.27	0.0466
C8:0	1.12 ^c	1.22 ^b	1.33 ^a	0.0267
C10:0	2.42 ^c	2.70 ^b	2.98 ^a	0.0601
C11:0	0.34 ^c	0.40 ^b	0.45 ^a	0.0111
C12:0	2.86 ^c	3.20 ^b	3.56 ^a	0.0680
C13:0	0.16 ^b	0.18 ^b	0.21 ^a	0.0059
C14:0	11.06 ^b	11.63 ^a	12.00 ^a	0.1271
C14:1	1.02 ^b	1.17 ^a	1.22 ^a	0.0402
C15:0	1.19	1.21	1.22	0.0264
C15:1	0.01	0.01	0.01	0.0001
C16:0	29.31 ^b	29.88 ^{ab}	30.74 ^a	0.3682
C16:1	2.00	2.08	1.99	0.0552

C17:0	0.77	0.76	0.74	0.0106
C17:1	0.27 ^a	0.26 ^a	0.23 ^b	0.0063
C18:0	12.95 ^a	11.82 ^b	10.58 ^c	0.2457
C18:1t11	2.45 ^a	2.24 ^b	2.18 ^b	0.0603
C18:1c9	23.05 ^a	22.31 ^{ab}	21.38 ^b	0.3581
C18:2t	0.21	0.20	0.21	0.0053
C18:2c9c12	1.24 ^b	1.31 ^{ab}	1.39 ^a	0.0416
C18:2c9t11	0.81 ^a	0.74 ^b	0.73 ^b	0.0276
C18:3	0.41 ^a	0.40 ^{ab}	0.38 ^b	0.0100
C20:0	0.19 ^a	0.17 ^b	0.15 ^c	0.0053
OTROS	0.88 ^a	0.83 ^a	0.73 ^b	0.0178
AGS [†]	68.00 ^b	68.83 ^{ab}	69.76 ^a	0.4236
AGMI [‡]	29.05 ^a	28.26 ^{ab}	27.29 ^b	0.3974
AGPI ^ε	2.96	2.95	2.91	0.0546

^{abc} Valores con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

[†] EEM = Error estándar de la media. [‡] AGS = Ácidos grasos saturados, [¶] AGMI = Ácidos grasos monoinsaturados, ^ε AGPI = Ácidos grasos polinsaturados.

Con excepción del ácido linoléico (C18:2 c9 c12), los ácidos grasos de cadena larga (>C17) fueron mayores ($p \leq 0.05$) con el nivel más bajo de concentrado. El contenido de ácido vaccénico (C18:1 t11) en leche fue 9.3 y 12.3% mayor ($p \leq 0.05$) en **3c** comparado con **5c** y **8c**, cuyo contenido fue estadísticamente igual entre si. De forma similar, el contenido de CLA c9 t11 fue 9.8 % mayor en **3c** comparado con otros tratamientos. Aunque con valores más altos de CLA en leche, otros autores (Nielsen *et al.*, 2006)

observaron que los contenidos de CLA c9 t11 (1.61 vs 1.17 g 100 g⁻¹ AG) y ácido vaccénico (2.80 vs 1.55 g 100 g⁻¹ AG) fueron mayores en la leche de vacas alimentadas con bajo nivel de concentrado; sin embargo, no reportaron diferencias en la concentración de ácido esteárico, oleico y linolénico por efecto del nivel de concentrado (Nielsen *et al.*, 2006). En la presente investigación, el ácido oleico (C18:1 c9) en la leche de **3c** fue 7.8 y 3.3 % mayor ($p \leq 0.05$) que en **8c** y **5c**, mientras que con el mismo patrón C18 fue 22.4 y 9.5 % mayor ($p \leq 0.05$) con el nivel más bajo de concentrado.

El incremento de C18:2 c9 c12 en la grasa de la leche en el tratamiento **8c**, comparado con los otros tratamientos, es explicado por el mayor consumo de ácido linoleico, debido básicamente al mayor consumo de ensilado de maíz, el cual es una importante fuente de ácido linoleico, además de los ácidos palmítico y oleico; la composición de los AG del ensilado de maíz, reportada en varios estudios, indica que contiene altos niveles de ácidos linoleico (Nielsen *et al.*, 2006) y oleico, pero es bajo en ácido linolénico (Dewhurst *et al.*, 2006), similar a lo reportado en el Cuadro 1.

Incrementos en el consumo de MS de forrajes frescos pueden tener efectos importantes sobre la composición de los AG de la grasa de la leche (Kelly *et al.*, 1998; Bargo *et al.*, 2006; Morales-Almaráz *et al.*, 2010). La leche de las vacas con el nivel más bajo de concentrado mostró altas ($p \leq 0.05$) concentraciones de los ácidos esteárico, oleico y vaccénico (Cuadro 3) comparado con los otros dos niveles de concentrado, en especial con **5c**, en consecuencia, dado que tuvieron el mismo tiempo de acceso a la pradera, suministrar dos kg más de concentrado a las vacas pudo causar cambios sobre el metabolismo ruminal de los lípidos en los procesos de lipólisis e hidrogenación, en especial en los AG de cadena

larga, así como el flujo de estos AG y el de sus intermediarios al tejido mamario y su excreción en la leche. Además, el efecto en el contenido en leche de aquellos ácidos, incluido el CLA c9 t11 o ácido ruménico, podría estar relacionado con la variación individual en el sentido de la eficiencia en la síntesis *de novo* en la glándula mamaria, dado que, aunque la dieta juega un papel determinante en el contenido de ácido ruménico en la grasa de la leche del ganado vacuno, las diferencias entre individuos tienen un efecto significativo (Peterson *et al.*, 2002), lo cual radica en la eficiencia de desaturación para sintetizar *de novo* CLA c9 t11 desde vaccénico, principal ruta de síntesis del CLA c9 t11 excretado en leche (Griinari *et al.*, 2000).

Está aceptado que el ácido oleico de la leche tiene procedencia directa de los ácidos grasos de cadena larga preformados (Barber *et al.*, 1997), o que es producto de la desaturación, en la glándula mamaria, por la enzima Δ^9 -desaturaza, teniendo al ácido C18 como sustrato (Lock y Garnsworthy, 2003), lo cual es factible si se considera que esta enzima tiene preferencia por dicho sustrato (Ntambi y Miyazaki, 2004). Chilliard *et al.* (2001) reportaron que, en promedio, el 40 % del C18 que llega a la glándula mamaria procedente de los lípidos plasmáticos circulantes se convierte en C18:1 c9, aunque otros productos de la actividad de esa enzima son C14:1, C16:1 y CLA c9 t11, a partir de C14, C16, y C18:1 t11, respectivamente (Lock y Garnsworthy, 2003),

La literatura indica que la complementación con altos niveles de concentrado afecta a los procesos de biohidrogenación como resultado del bajo pH ruminal (Latham *et al.*, 1972; Bargo *et al.*, 2006), y esto, a su vez, promueve cambios en la producción de AG en el rumen y en la glándula mamaria (Enjalber *et al.*, 2008).

En esta investigación, el incremento en el contenido de AG de cadena corta y media para **8c** es similar a estudios previos realizados por Stockdale *et al.* (2003) en vacas en pastoreo complementadas con 7 y 9 kg d⁻¹ de concentrado, estos autores reportaron un incremento de los AG de cadena corta como C6:0 a C10:0 y de cadena media como C12:0 a C16:0 con respecto a vacas no complementadas. Wijesundera *et al.* (2003) complementaron 4.5 kg d⁻¹ de granos de cereales a vacas en pastoreo incrementando las concentraciones de C10:0 a C14:0 en la grasa de la leche. Bargo *et al.* (2006), en un estudio de vacas en pastoreo complementadas con concentrado (1 kg concentrado/4 kg leche), reportaron una mayor concentración de C12:0 y C14:0 en comparación con vacas no complementadas (2.50 vs 1.80 y 9.31 vs 7.59 g 100 g⁻¹ AG); en su estudio los ácidos grasos de cadena larga, oleico y linolénico, fueron afectados negativamente por la complementación con concentrados, observando mayores concentraciones en vacas no complementadas (30.89 vs 27.18 y 1.16 vs 0.79 g 100 g⁻¹ AG, respectivamente); un efecto similar fue observado en el presente estudio al disminuir el nivel de concentrado. Asimismo, similar a nuestros resultados, las concentraciones de los ácidos vaccénico y CLA c9 t11 en leche, reportadas por Bargo *et al.* (2006) disminuyeron en las vacas complementadas con respecto a aquellas que no recibieron concentrados (1.18 vs 1.36 y 2.79 vs 3.48 g 100 g⁻¹ AG).

La concentración total de AGS en leche se incrementó ($p \leq 0.05$) y la de AGI disminuyó por efecto del nivel de concentrado, algo similar a lo reportado por Bargo *et al.* (2006). Por la estrategia de alimentación, suministrar 3.0 kg de concentrado podría representar la producción de leche de mejor calidad por su menor concentración de AGS y su implicación

como factores de riesgo en enfermedades cardiovasculares (Williams, 2000); además de tener mayor concentración de ácidos oleico, linolénico, vaccénico y CLA c9 t11, benéficos por su acción hipocolesteromiante (Grundy, 1994).

CONCLUSIONES

Reducir el suministro de concentrado a vacas en pastoreo provocó una disminución de la producción láctea, pero mejoró el perfil de AG incrementando el contenido de los ácidos oleico, linolénico, vaccénico y CLA c9 t11, lo cual resulta en un producto más saludable para el consumidor.

LITERATURA CITADA

- AbuGhazaleh, A. A., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen, and E. K. Kalscheur. 2003. Milk conjugated linoleic acid response to fish oil supplementation of diets differing in fatty acids profile. *J. Dairy Sci.* 86: 944-953.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. AOAC. Arlington. VA, USA.
- Arriaga-Jordán, C. M., B. Albarrán-Portillo, A. Espinoza-Ortega, A. García-Martínez, and O. A. Castelán-Ortega. 2002. On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale Dairy production systems in the highlands of Central Mexico. *Exp. Agric.* 38: 375-388.
- Auldist, M. J., B. J. Walsh, and N. A. Thomson. 1998. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. *J. Dairy Res.* 65: 401-411.
- Barber, M.C., Clegg, R.A., Travers, M.T., Vernon, R.G., 1997. Lipid metabolism in the lactating mammary gland. *Biochim. Biophys. Acta.* 1347: 101-126.

- Bargo, F., J. E. Delahoy, G. F. Schroeder, and L. D. Muller. 2006. Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pasture allowance and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Anim. Feed Sci. Tech.* 125: 17-31.
- Bargo F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777- 1792.
- Belury, M. A. 2002. Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanisms of action. *Annu. Rev. Nutr.* 22: 505-531.
- Carroll, S.M., E. J. DePeters, S. J. Taylor, H. Rosenberg, H. Perez-Monti, and V. A. Capps. 2006. Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Anim. Feed Sci. Tech.* 131: 451-473.
- Chilliard Y., A. Ferlay, M. Doreau. 2001. Effect of different types of forages animal fat marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70: 31-48.
- Chouinard, P. Y., L. Corneau, D. M. Barbano, L. E. Metzger, and D. E. Bauman. 1999. Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.* 129: 1579-1584.
- Christie, W. W. 1982. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesterol esters. *J. Lipid Res.* 23: 1072-1075.
- Corl, B. A., D. M. Barbano, D. E. Bauman, and C. Ip. 2003. *Cis-9, trans-11* CLA derived endogenously from trans-11 18:1 reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 133: 2893-2900.

- Dewhurst R. J., K. F. Shingfield., M. R. F. Lee, and N. D. Scollan. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci.Tech.* 131: 168-206.
- Dewhurst, R. J., N. D. Scollan, M. R. F. Lee, H. J. Ougham, and M. O. Humphreys. 2003. Forage dreading and management to increase the beneficial fatty acid content of ruminant products. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 329-336.
- Enjalbert, F., Y. Videau, M. C. Nicot, and A. Troegeler-Meynadier. 2008. Effects of induced subacute ruminal acidosis on milk fat content and fatty acid profile. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 92(3): 284-291.
- Feng, S., A. L. Lock, and P. C. Garnsworthy. 2004. Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *J. Dairy Sci.* 87: 3785-3788.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª. Ed., México, D. F. 217 p.
- Griinari J. M., B. A. Corl, S. H. Lacy, P. Y. Chouniard, K. V. V. Nurmela, and D. E. Bauman. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating cows by delta 9-desaturase. *J. Nutr.* 130: 2285-2291.
- Grundy, S. M. 1994. Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 60: 986-1110.
- Heredia-Nava, D., A. Espinoza-Ortega, C. E. González-Esquível, and C. M. Arriaga-Jordán. 2007. Feeding strategies for small-scale Dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) ryegrass in the central highlands of Mexico. *Trop. Anim. Health Pro.* 39: 179-188.

- INEGI. 2003. Anuario Estadístico. México. Gobierno del Estado de México. Mexico. 230 p.
- Ip, C., S. Banni, E. Angioni, G. Carta, J. McGinley, H. J. Thompson, B. Barbano, and D. E. Bauman. 1999. Conjugated linoleic acid-enriched butterfat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J. Nutr.* 129: 2135-2142.
- Kelly, M. L., E. S. Kolver, D. E. Bauman, M. E. Van Amburgh, and L. D. Muller. 1998. Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1630-1636.
- Khanal, R. C., T. R. Dhiman, D. J. McMahon, and R. L. Boman. 2002. Influence of diet on conjugated linoleic acid content of milk, cheese and blood serum. *J. Dairy Sci.* 85 (Suppl. 1): 356 (Abstr.).
- Latham, M. J., J. E. Stony, and M. E. Sharpe. 1972. Effect of low-roughage diets on the rumen and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24 (6): 871-877.
- Lock, A. L., and K. J. Shingfield. 2004. Optimizing milk composition. *In: Dairying -Using Science to Meet Consumer's Needs.* Kebreab E. Mills J. Beever DE. (eds.). Loughborough, UK. Occ. Pub. No. 29, Brit. Soc. Anim. Sci. Nottingham University Press. 107-188 pp.
- Lock, A. L., and P. C. Garnsworthy. 2003. Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and delta (9)- desaturase activity in Dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 79: 47-59.
- Menke, K. H., and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development.* 28: 7-55.

- Morales-Almaráz, E., A. Soldado, A. González, A. Martínez-Fernández, I. Domínguez-Vara, B. de la Roza-Delgado, and F. Vicente. 2010. Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding on total mixed ration. *J. Dairy Res.* 77 (2): 225-230.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. The National Academy Press, Washington, DC. USA. 292 p.
- Nielsen T. S., E. M. Straarup, M. Vestergaard, and K. Sejrsen. 2006. Effect of silage type and concentrate level on conjugated linoleic acids, trans-C18:1 isomers and fat content in milk from dairy cows. *Repr. Nutr. Dev.* 46: 699-712.
- Ntambi, J. M., and M. Miyazaki. 2004. Regulation of stearoyl-CoA desaturases and role in metabolism. *Prog. Lipid Res.* 43: 91-104.
- Palmquist, D. L., and T. C. Jenkins. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *J. Anim. Sci.* 81: 3250-3254.
- Peterson, D. G., J. A. Kelsey, and D. E. Bauman. 2002. Analysis of variation in cis9, trans11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2164-2172.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. Software (V.9.0). User's Guide. N.C., USA. 315 p.
- Shingfield, K., C. Reynolds, B. Lupoli, V. Tolvonet, M. Yurawecz, P. Delmonte, J. Griinari, A. Grandison, and D. Beever. 2005. Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cow given sunflower oil and fish oil. *Anim Sci.* 80: 225-238.

- Steel, R. G. D., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 p.
- Stockdale, C. R., G. P. Waler, W. J. Wales, D. E. Dalley, A. Birkett, Z. Shen, and P. T. Doley. 2003. Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *J. Dairy Res.* 70: 267-276.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agr. Food Chem.* 36: 1202-1206.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods of dietary, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Wijesundera, C., Z. Shen, W. J. Wales, and D. E. Dalley. 2003. Effect of cereal grain and fibers supplements on the fatty acid composition of milk fat of grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Res.* 70: 257-265.
- Williams, S. M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.* 49: 165-180.

Anexo 2. Resumen en Congreso XL Reunión de la Asociación Mexicana para la producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. (AMPA).

La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México

XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C.

IX Seminario Internacional de Producción de Ovinos en el Trópico

C O L E C C I Ó N
EDUARDO CABALLERO Y CABALLERO
<i>Memorias de Congresos y Simposios</i>

Primera edición, 2013

D.R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Av. Universidad s/n. Zona de la Cultura
Colonia Magisterial, C.P. 86040
Villahermosa, Centro, Tabasco.

El contenido de la presente obra es responsabilidad exclusiva de los autores. Queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite la fuente.

ISBN: 978-607-606-120-6

Edición y diseño editorial: Alfonso J. Chay Canul
 Fernando Casanova Lugo

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

XI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y IX Seminario Internacional de Ovinos en el Trópico

PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE VACAS HOLSTEIN Y PARDO SUIZO EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON DISTINTOS NIVELES DE CONCENTRADO

H. Castro Hernández, I. Domínguez Vara, R. Vieyra Alberto, E. Morales Almaráz

*Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Universidad Autónoma del Estado de México.
E-mail: maernesto@hotmail.com*

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto del nivel de concentrado asociado con el tiempo de pastoreo sobre la producción y composición de la leche. Se utilizaron 15 vacas multiparas, diez Holstein (H) y cinco Pardo Suizo (PS), agrupadas en tres grupos de cinco vacas en un arreglo cross-over 3x3 con tres periodos experimentales. El nivel de concentrado, complementario al pastoreo, fue: i) ocho kg de concentrado (8c); ii) cinco kg de concentrado (5c); iii) tres kg de concentrado (3c). En la estabulación se ofertó ensilado de maíz a libre acceso. El modelo estadístico fue un arreglo factorial 3x2, teniendo como factores el nivel de concentrado y el genotipo animal. El consumo de ensilado de maíz mostró diferencias ($P<0.05$) por el efecto de la interacción del nivel de concentrado y el genotipo. PS 5c y H 8c mostraron mayor consumo de ensilado de maíz. El consumo de pasto (10.92 ± 1.87 kg/d) y el consumo de materia seca total (23.54 ± 1.45 kg/d) no fueron afectados ($P>0.05$) por la interacción ni por los efectos principales, al igual que el contenido de proteína (31.3 ± 4.7 g/kg), grasa (37.4 ± 9.1 g/kg) y lactosa (44.0 ± 3.9 g/kg) en leche. La producción de leche aumentó ($P<0.05$) al incrementar el nivel de suplementación de concentrado (18.21, 16.75 y 15.23 kg/d, para 8c, 5c y 3c, respectivamente). En conclusión, disminuir el nivel de concentrado de 8.0 a 3.0 kg asociado al aumento de 8 a 12h de pastoreo provocó el decremento de 3.0 kg de leche/d pero supone el ahorro de 5.0 kg de concentrado, sin afectar el contenido de proteína, grasa y lactosa en leche.

Palabras clave: Bovinos leche, pastoreo, genotipo.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que se aprecia que la producción lechera crece a tasas más elevadas que el consumo (SAGARPA, 2010), actualmente se importan grandes cantidades de leche y productos lácteos para satisfacer la demanda interna. La mayoría de las unidades de producción de vacuno lechero llevan un sistema de alimentación basado en forrajes conservados y concentrados; sin embargo, las vacas alimentadas solo con pasto representan el sistema con menor costo debido a que el forraje pastoreado es la fuente más barata de nutrientes (Peyraud y Delaby, 2001). Con la suplementación en el ganado lechero en pastoreo se busca incrementar la producción de leche por vaca, mantener o mejorar la condición corporal (Kellaway y Porta, 1993), así como el consumo total de MS respecto a lo aportado por el forraje (Stockdale, 2000). Pocas investigaciones han evaluado el efecto de la estrategia de alimentación basada en pastoreo asociada al genotipo animal sobre las características productivas y la composición de la leche. Nuestro objetivo fue evaluar la respuesta productiva y composición de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo, complementado con distintos niveles de concentrado en el valle de Toluca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales, dieta y tratamientos

Quince vacas multíparas, diez Holstein (H, producción de leche de 22.6 ± 4.0 kg/d y 99.0 ± 42.8 días en lactación) y cinco Pardo Suizo (PS, producción de leche de 20.3 ± 4.7 kg/d y 108.2 ± 52.3 días en lactación) fueron agrupadas en un diseño cross-over en tres lotes homogéneos durante tres periodos experimentales. La alimentación estuvo basada en un sistema de producción mixto, con pastoreo en praderas de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, y suministro de concentrado y ensilado de maíz a libre acceso en el establo. El nivel de concentrado ofertado asociado al tiempo de pastoreo, fue el siguiente: 1) 8c, oferta de 8.0 kg de concentrado por vaca por día y ocho horas de pastoreo; 2) 5c, oferta de 5.0 kg de concentrado y doce horas de pastoreo, 3) 3c, oferta de 3.0 kg de concentrado y doce horas de pastoreo.

Desarrollo experimental

El estudio comprendió tres periodos experimentales de 19 días cada uno (14 días de adaptación y cinco días de medición). Se realizaron dos ordeños al día (06:00 y 15:00h). Finalizado el ordeño matutino, los tres grupos de vacas fueron llevados a las praderas en donde permanecieron hasta el comienzo del ordeño vespertino, al término de este, las vacas del tratamiento 8c fueron alojadas en el establo donde se les suministró el concentrado y el ensilado de maíz; mientras que las vacas de los tratamientos 5c y 3c, se trasladaron nuevamente a la pradera, a las 20:00h fueron llevadas de la pradera al establo donde se les suministró el concentrado y el ensilado de maíz. En los cinco días de control, diariamente se midió el consumo de alimento en el establo y la producción de leche en la ordeña. El consumo de forraje en pastoreo se estimó mediante el método descrito por Macoon et al. (2003).

Análisis de Laboratorio

En los alimentos se determinó el contenido de materia seca, proteína total (AOAC, 1990), fibra detergente neutro y detergente ácido, y lignina detergente ácido (Van Soest et al., 1991). La composición química de la leche se determinó con un equipo analizador de leche (Lactoscan S-L 60).

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×2 incluyendo el nivel de concentrado y genotipo animal como efectos fijos, aplicando el procedimiento mixed (SAS, 1999). Se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los alimentos consumido por las vacas se muestra en el cuadro 1.

Se observaron diferencias ($P < 0.05$) en el consumo de ensilado de maíz por efecto de la interacción genotipo*nivel de concentrado (Cuadro 2). El tratamiento H 8c mostró la mayor ingestión de MS de ensilado de maíz, pero fue estadísticamente igual al consumo de ensilado observado en PS 5c. En el ganado Holstein, la diferencia ($P < 0.05$) en el consumo de MS de ensilado entre los tratamientos 3c y 8c fue de 600g (7.75 y 8.34 kg/d, respectivamente), mientras que en el ganado Suizo la diferencia fue menor, 300g (7.42 y 7.67 kg/d, respectivamente).

La producción de leche (16.73 ± 3.01 kg/d), así como el contenido de grasa (37.35 ± 9.09 g/kg), proteína (31.28 ± 4.69 g/kg) y lactosa (43.97 ± 3.86 g/kg) en leche no fueron alterados ($P > 0.05$) por la interacción de genotipo con nivel de concentrado. Otras investigaciones tampoco han reportado diferencias en la composición de la leche cuando el pastoreo ha sido complementado con suplementos (Velik et al., 2007; Bargo et al., 2002). El efecto de genotipo influyó en una mayor ($P < 0.05$) producción láctea en las vacas Holstein, siendo 7.6% mayor que las Pardo Suizo, en

XI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y IX Seminario Internacional de Ovinos en el Trópico

estas vacas se observó una tendencia ($P=0.11$) en el aumento del contenido de grasa en leche. El aumento del nivel de concentrado incrementó ($P<0.05$) la producción de leche. Con 8c se obtuvo 19.5 % más producción de leche que con la estrategia 3c (18.21 vs 15.23 kg leche/d). En conclusión, disminuir el nivel de concentrado en interacción con el genotipo de ganado lechero afectó el consumo de ensilado de maíz sin afectar la producción y composición química de la leche. Reducir el suministro de concentrado de 8.0 a 3.0 kg/vaca/día provoca el decremento de 3.0 kg de leche/d, sin embargo, se disminuye el suministro de 5.0 kg de concentrado, sin afectar a la composición de la leche, esto podría promover la presencia de componentes funcionales al aumentar el tiempo de pastoreo y con ello el aporte de ácidos grasos poliinsaturados como precursores de aquellos.

Cuadro 1. Composición química (g/kg MS) del concentrado, ensilado de maíz y pasto.

	Concentrado	Ensilado de maíz	Pasto
MS ¹	925.00	326.84	243.67
MO ²	951.10	944.43	879.50
PC ³	182.20	70.11	147.97
FDN ⁴	155.60	608.11	559.34
FDA ⁵	64.00	328.64	281.80
LDA ⁶	23.10	45.42	36.43
ENL ⁷	2.00	1.41	1.52

¹Materia seca. ²Materia orgánica. ³Proteína cruda. ⁴Fibra detergente neutro. ⁵Fibra detergente ácido. ⁶Lignina detergente ácido. ⁷Energía neta de lactación en Mcal/kg MS, calculada por la ecuación= $(9.07-0.0097 \cdot \text{FAD})/4.184$ propuesto por Menke y Steingass (1988).

Cuadro 2. Consumo (kg MS/d), producción y composición de la leche (g/kg) de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo alimentadas con distintos niveles de concentrado en el Valle de Toluca.

Genotipo (g)	Holstein			Pardo suizo			Significancia			
Concentrado	3c	5c	8c	3c	5c	8c	EEM ¹	G	C	G*c
CE, kg/MS	7.7 ^{bc}	7.3 ^c	8.3 ^a	7.4 ^{bc}	7.9 ^{ab}	7.7 ^{bc}	0.208	0.5271	0.0708	0.0135
CC, kg/MS	2.7 ^c	4.5 ^b	7.2 ^a	2.7 ^c	4.5 ^b	7.2 ^a	0.000	-	<.0001	-
CP, kg/MS	10.3	12.4	8.4	13.7	10.7	9.9	1.990	0.5343	0.3735	0.4823
CT, kg/MS	20.8	24.2	23.9	23.9	23.2	25.0	1.863	0.5189	0.5526	0.5865
PL, kg/d	15.5	17.1	19.0	14.8	16.2	16.8	0.476	0.0028	<.0001	0.2204
Proteína, g/kg	31.9	30.7	31.0	30.6	31.5	31.8	0.742	0.9210	0.9102	0.2807
Grasa, g/kg	37.4	35.9	36.6	36.9	38.0	40.7	1.437	0.1134	0.4372	0.3004
Lactosa, g/kg	43.7	44.1	43.7	43.3	44.3	44.9	0.610	0.4725	0.3849	0.4494
Rendimiento (kg/día)										
Proteína	0.49	0.52	0.59	0.45	0.51	0.54	0.018	0.0219	<.0001	0.5691
Grasa	0.58	0.61	0.69	0.54	0.62	0.68	0.032	0.5511	0.0005	0.7985
Lactosa	0.67	0.75	0.83	0.64	0.72	0.76	0.025	0.0201	<.0001	0.6896

CE, consumo de ensilado; CC, consumo de concentrado; CP, consumo de pasto; CT, consumo total; PL, producción de leche.

^{abode} Valores con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($P<0.05$).

¹ EEM = Error estándar de la media.

REFERENCIAS

- Association of official Analytical Chemists (1990). Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC. Arlington. VA.
- Bargo F. Muller LD. Delahoy JE. Cassidy TW (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777- 1792.
- Kellaway R. Porta S. (1993). Feeding concentrates supplements for dairy cows, Dairy Research and Development Corporation, Melbourne, Australia.
- Macoon B. Sollenberger LE. Moore JE. Staples CR. Fike JH. Portier KM. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim Sci.* 81:2357-2366.
- Menke, H. Steingass H. (1988). Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.*, 28: 488-55.
- Peyraud JL. Delaby L (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. In: Recent Advances in Animal Nutrition. Garnsworthy PC. Wiseman J. (Eds). Nottingham University Press, UK. pp. 203.
- SAS (1999). SAS/STATTM User's Guide. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, North Caroline, USA.
- SAGARPA (2010). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Coordinación General de Ganadería. "Claridades Agropecuarias" Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2010. Noviembre, No. 207.
- Stockdale CR (2000). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.* 40: 913-921.
- Van Soest PJ. Robertson JB. Lewis BA (1991). Methods of dietary, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597
- Velik M. Baumung R. Zollitsch W. Knaus WF (2007). Effects of partial substitution of concentrates with maize silage in organic dairy cow rations on performance and feed efficiency. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2657-2664.

RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN Y PARDO SUIZO CON DIFERENTES TIEMPOS DE PASTOREO EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

R. Vieyra-Alberto, H. Castro-Hernández, I. Domínguez-Vara, E. Morales-Almaráz

Departamento de Nutrición Animal, FMVZ-UAEM. Campus Universitario "El Carrillo", Toluca, México.

E-mail: maernasto@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto de diferentes tiempos de pastoreo sobre el contenido y rendimiento de grasa, proteína y lactosa en leche de vacas Holstein y Pardo Suizo. Se utilizaron 9 vacas en un cuadrado latino 3x3, con periodos experimentales de 15 días. La alimentación estuvo basada en un sistema mixto, pastoreo complementado con 5.0 kg de materia fresca de concentrado y ensilado de maíz a libre acceso. Los tiempos de pastoreo fueron: 1) Ocho horas de pastoreo continuas (8h); 2) Ocho horas de pastoreo divididas en dos tiempos de cuatro horas (4x4h); y 3) Doce horas de pastoreo continuas (12h). El consumo de ensilado y concentrado se calculó por diferencia entre la oferta y el rechazo; el consumo de pasto se estimó por el método de rendimiento animal, obtenido a partir de la diferencia entre la estimación de los requerimientos de energía neta total del ganado lechero según el NRC (2001), y de los aportes de energía neta de los alimentos consumidos en la estabulación (Macon *et al.*, 2003). Los datos se analizaron con el procedimiento GLM (SAS, 2002) para un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x2, considerando el efecto de genotipo animal, el tiempo de pastoreo y su interacción. El consumo de ensilado fue menor ($P<0.05$) en el tratamiento 12h. El genotipo Holstein con 4x4h pastoreo mostró mayor ($P<0.05$) producción de leche y bajo contenido de proteína en leche comparado con las vacas Pardo Suizo en 4x4h. El rendimiento de grasa fue mayor ($P<0.05$) en vacas Holstein. Se concluye que el tiempo de pastoreo asignado no tuvo influencia sobre el consumo de pasto ni sobre el consumo de materia seca total, sin embargo, la estrategia de evaluación en su conjunto pastoreo-concentrado-ensilado de maíz fue capaz de modificar la producción de leche sin alterar su contenido de grasa, pero con fluctuaciones en el contenido de proteína y lactosa.

Palabras clave: bovinos, componentes en leche.

INTRODUCCIÓN

La composición de la leche puede ser modificada, entre otras cosas, por la alimentación (Bauman *et al.*, 2006) y el genotipo (Carroll *et al.*, 2006). Algunos autores reportan variabilidad de resultados en cuanto a rendimiento y composición de la leche por influencia de la estrategia de alimentación cuando incluyen la suplementación con concentrado, forrajes conservados y forraje fresco aprovechado en pastoreo (Albarrán *et al.*, 2002; Anaya-Ortega *et al.*, 2009; Morales-Almaraz *et al.*, 2010). El pastoreo se ha considerado la fuente de nutrientes mas barata para la alimentación de vacas, sin embargo, se deben ofrecer grandes cantidades de pasto para asegurar un consumo elevado de materia seca y por tanto una alta producción láctea (Stockdale, 2000). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes tiempos de pastoreo sobre la producción y composición de la leche de vacas Holstein y Pardo Suizo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió tres periodos experimentales de 15 días (10 de adaptación y 5 de medición), se utilizaron nueve vacas de los genotipos Holstein (seis) y Pardo Suizo (tres), con una producción láctea de 21.0 ± 3.86 kg. Las vacas se agruparon en tres grupos con tres animales, cada grupo estaba conformado por dos vacas Holstein y una Pardo Suizo, en un cuadrado latino cruzado 3×3 . Se asignaron tres tiempos de pastoreo: 8 horas continuas (8h), 8 horas fraccionadas en dos tiempos de cuatro horas (4x4h) y 12 horas continuas (12h).

Se asignó una oferta de pasto de 22 kg MS/vaca/día en la pradera, se suministraron 5.0 kg en base húmeda (BH)/día de concentrado dividido en dos comidas y ensilado de maíz a libre acceso en la estabulación. Se realizaron dos ordeños al día, 06:00h y 15:00h. Finalizado el ordeño matutino (07:00h), los tres grupos de animales salían a la pradera. El grupo en 4x4h permaneció en la pradera hasta las 11:00h después fueron trasladadas al establo donde se les suministró ensilado de maíz y 2.5 kg de concentrado, y permanecía en la estabulación hasta el ordeño vespertino (15:00h), al termino de éste nuevamente eran trasladadas a las praderas donde permanecían de 16:00 a 20:00h, posteriormente regresaban al corral donde se les ofertó nuevamente ensilado de maíz y 2.5 kg de concentrado. Los animales en los tratamientos con 8h y 12h de pastoreo, permanecían en la pradera en el intervalo entre ordeños (de 07:00 a 15:00h). El grupo en 8h, al término del ordeño vespertino fueron trasladados al establo donde permanecieron el resto del día. En el corral se les proporcionó ensilado de maíz y 5.0 kg de concentrado dividido en dos comidas de 2.5 kg (a las 16:00 y 20:00h). Los animales en 12h, al termino del ordeño vespertino, fueron trasladados a la pradera permaneciendo hasta las 20:00h, después regresaron al corral donde se les proporcionó 2.5 kg de concentrado a las 20:00 y 24:00h. En la estabulación, al momento del suministro de concentrado todos los animales recibieron ensilado de maíz.

Los datos de valor nutritivo de los alimentos se obtuvieron por métodos convencionales. El consumo de ensilado de maíz y concentrado se calculó por diferencia entre la oferta y rechazo. El consumo de forraje en pastoreo se estimó mediante el método descrito por Macoon *et al.* (2003). Las muestras de leche fueron recolectadas al momento del ordeño individualmente. La composición química de la leche se determinó con un equipo Lactoscan (Milkanalyzer). Para el análisis estadístico se utilizó el GLM de SAS (2002) para un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×2 , considerando el efecto de genotipo animal (Holstein y Pardo Suizo) y el tiempo de pastoreo (4x4h, 8h y 12 h). Se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A excepción del contenido de proteína cruda (PC) y lignina (LAD), el resto de componentes en el ensilado mostraron diferencias a lo largo del desarrollo experimental, observándose mayor ($P < 0.05$) contenido de materia seca (MS) y materia orgánica (MO) en el periodo 2 y 3, caso contrario para FND y FAD en comparación con el periodo 1. Para el caso del pasto el contenido de MS fue mayor ($P < 0.05$) en el periodo 1 y 3, periodos en los que el contenido de FAD fue menor y no diferentes ($P > 0.05$). El contenido de PC en el pasto incrementó con el transcurso del experimento (Cuadro 1).

El tiempo de pastoreo afectó ($P < 0.05$) el consumo de ensilado de maíz en el ganado lechero evaluado (Cuadro 2).

XI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y IX Seminario Internacional de Ovinos en el Trópico

Cuadro 1. Composición química (g/kg de MS) del ensilado de maíz y pasto consumido por las vacas durante tres periodos de muestreo

Periodo	Ensilado de maíz					Pasto				
	1	2	3	EEM ¹	P<	1	2	3	EEM ¹	P<
MS	279 ^b	333 ^a	320 ^{ab}	12.81	0.0288	295 ^a	277 ^b	287 ^a	2.048	0.0063
MO	932 ^b	941 ^a	941 ^a	1.580	0.0018	861 ^b	871 ^b	909 ^a	4.434	0.0008
PC	69.6	67.1	64.4	2.169	0.2726	133 ^b	161 ^{ab}	177 ^a	8.219	0.0284
FND	622 ^a	543 ^b	485 ^c	13.59	<.0001	518	555	535	9.711	0.1424
FAD	351 ^a	301 ^b	281 ^b	9.134	0.0005	248 ^b	271 ^a	240 ^b	3.390	0.0137
LAD	45.1	37.3	40.8	3.138	0.2474	23.1	33.3	25.2	2.451	0.0860
ENL ²	1.35	1.47	1.52	—	—	1.50	1.50	1.60	—	—

^{abc} Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ($P<0.05$)

¹EEM= Error estándar de la media

²ENL = Energía neta de lactación, $(9.07 - 0.0097 \cdot \text{FAD})/4.184$ propuesto por Menke y Steingass (1988).

Cuadro 2. Ingestión diaria de alimento (kg/MS) de vacas Holstein y Pardo Suizo con diferentes tiempos de pastoreo en el valle de Toluca

Genotipo(G)	Holstein			Pardo Suizo			EEM ²	P<		
	12h	4x4h	8h	12h	4x4h	8h		G	P	G*P
Pastoreo(P ¹)										
Ensilado	6.43	8.94	10.11	6.01	8.51	9.33	0.864	0.4754	0.0030	0.9755
Concentrado	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	—	—	—	—
Pasto ³	11.62	11.03	12.00	12.85	8.98	12.94	2.558	0.9872	0.6381	0.8043
Ingesta total	22.54	24.45	26.60	23.35	21.98	23.88	2.324	0.5528	0.7617	0.7639
Ingesta % PV	3.69	4.02	4.36	3.80	3.59	3.93	0.388	0.5380	0.7466	0.7819

^{abc} Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ($P<0.05$).

¹P = tiempo de pastoreo: 8h = Pastoreo de 07:00 a 15:00h; 4x4h = Pastoreo de 07:00 a 11:00h y de 16:00 a 20:00h; 12h = Pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h.

²EEM = error estándar de la media.

³Estimado utilizando el método de rendimiento del animal (Macon *et al.*, 2003).

Se observó efecto ($P<0.05$) de la interacción del genotipo*tiempo de pastoreo sobre la producción de leche, proteína y lactosa (Cuadro 3). Albarrán *et al.* (2002) no observaron diferencias en la producción (19.0 kg/d) ni en la composición de la leche de vacas en pastoreo continuo suplementadas con tres niveles de ensilado de maíz. Se observó mayor ($P<0.05$) rendimiento de proteína y lactosa en vacas Holstein 4x4h derivado de la mayor cantidad de leche producida en ese tratamiento.

CONCLUSIÓN

El tiempo y momento de pastoreo asignado no influyó en el consumo de pasto ni en el consumo de materia seca total, sin embargo, la estrategia de evaluación en su conjunto pastoreo-

Villahermosa, Tabasco, México del 22 al 24 de Mayo 2013

concentrado-ensilado de maíz fue capaz de modificar la producción de leche en ambos genotipos sin alterar su contenido de grasa, pero con fluctuaciones en el contenido de proteína y lactosa.

Cuadro 3. Producción (kg/d), composición (g/kg) y rendimiento (g/d) de leche de vacas Holstein y Pardo Suizo con diferentes tiempos de pastoreo en el valle de Toluca

Genotipo	Holstein			Pardo Suizo			EEM ²	P<		
	Pastoreo ¹	8h	4x4h	12h	8h	4x4h	12h	G	P	G*P
Producción		21.4 ^b	23.5 ^a	20.3 ^{bc}	19.5 ^c	18.6 ^c	20.8 ^{bc}	0.776	0.002	0.587
Grasa		41.4	41.7	42.4	42.3	44.1	41.6	1.007	0.182	0.727
Proteína		31.2 ^{bc}	30.7 ^c	31.6 ^{ab}	31.9 ^{ab}	32.2 ^a	31.4 ^{abc}	0.316	0.026	0.955
Lactosa		46.0 ^b	45.9 ^b	47.0 ^a	47.5 ^a	47.9 ^a	46.7 ^{ab}	0.385	0.002	0.941
Rendimiento										
Grasa		875	958	856	813	825	857	31.45	0.018	0.728
Proteína		668 ^b	721 ^a	637 ^{bc}	619 ^{bc}	600 ^c	650 ^{bc}	21.08	0.004	0.346
Lactosa		984 ^b	1076 ^a	950 ^{bc}	922 ^{bc}	893 ^c	969 ^{bc}	30.51	0.005	0.682

^{abc} Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ($P<0.05$).

¹P = tiempo de pastoreo: 8h = Pastoreo de 07:00 a 15:00h; 4x4h = Pastoreo de 07:00 a 11:00h y de 16:00 a 20:00h; 12h = Pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h

²EEM = error estándar de la media

REFERENCIAS

- Albarrañ P., García A., Espinoza A., Espinosa E., Arriaga C. M. 2012. Maize silage in the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's Highlands. *Indian J. Anim. Res.*, 46 (4):317-324.
- Anaya-Ortega J. P., Garduño-Castro G., Espinoza-Ortega A., Rojo-Rubio R., Arriaga-Jordán C. M. 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 41:607-616.
- Bauman D. E., Mather I. H., Wall R. J., Lock L. A. 2006. Major Advances Associated with the Biosynthesis of Milk. *J. Dairy Sci.* 89:1235-1243.
- Carroll S. M., DePeters E. J., Taylor S.J., Rosenberg M., Perez-Monti H., Capps V. A. 2006. Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Science and Technology* 131:451-473.
- Macon B., Sollenberger L. E., Moore J. E., Staples C. R., Fike J. H., Portier K. M. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim Sci.* 81:2357-2366.
- Menke, H. Steingass H. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.*, 28:488-55.
- Morales-Almaraz E., Soldado A., González A., Martínez-Fernández A., Domínguez-Vara I., Roza-Delgado B., Vicente F. 2010. Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding on total mixed ration. *J. Dairy Res.* 77(2):225-230.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STATTM User's Guide. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.