



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y PERFIL DE ÁCIDOS
GRASOS DE LECHE PROVENIENTE DE BOVINOS
ALIMENTADOS EN SISTEMAS DE VEGETACIÓN NATIVA,
SILVOPASTORIL INTENSIVO Y MONOCULTIVO EN ZONAS
TROPICALES SUBHÚMEDAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

DIEGO LENIN RAMÍREZ RAMÍREZ

Asesores:

Dr. Mario Cuchillo Hilario
QA. Águeda García Pérez

Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen	
2. Introducción	
2.1. Leche bovina	1
2.2. Producción y consumo de leche bovina en el mundo y su proyección para el año 2050	2
2.3. Producción y consumo de leche bovina en México	3
2.3.1. Producción de leche bovina en México por grado de tecnificación	3
2.3.2. Producción de leche bovina en México por zona geográfica	4
2.4. Tipos de alimentación predominante en el sureste mexicano	5
2.4.1. Sistema de alimentación en vegetación nativa	5
2.4.2. Alimentación en sistemas silvopastoriles	6
2.4.3. Sistema de producción en monocultivo	7
2.5. Características físico-químicas de la leche	8
2.5.1. Proteína	9
2.5.2. Carbohidratos	9
2.5.3. Lípidos	10
2.6. Ácidos grasos	11
2.6.1. Metabolismo ruminal y producción de ácidos grasos	13
2.6.2. Factores que modifican el perfil de ácidos grasos	15
2.6.2.1. Sistema de alimentación	15
2.6.2.2. Época del año	16
2.6.2.3. Estado de lactación y estado reproductivo	17
2.7. Transición alimentaria en México	17
2.8. Importancia del consumo de lípidos y ácidos grasos	19
3. Objetivos	22
4. Material y métodos	23
4.1. Diseño experimental	23
4.2. Metodología para la obtención de muestras	23
4.3. Lípidos totales y perfil de ácidos grasos	26
4.4. Obtención de lípidos totales	26
4.5. Saponificación y metilación	26
4.6. Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases	27
4.7. Índices de riesgo y de promoción a la salud	28
4.8. Análisis estadístico	29
5. Resultados	30
6. Discusión	40
7. Bibliografía	45

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

1.	Cuadro 1. Demanda actual de productos de origen animal (leche de vaca) en países en desarrollo y desarrollados en 2002 y las proyecciones para el año 2050	3
2.	Cuadro 2. Especificaciones de las características físico - químicas de la leche entera de vaca	9
3.	Figura 1. Estructura química de un triglicérido	11
4.	Figura 2. Síntesis de ácidos grasos omega 3 y omega 6 en rumen y en glándula mamaria	15
5.	Cuadro 3. Comparación de la biomasa y composición química del sistema de Vegetación nativa (SVN), Silvopastoril intensivo (SPI), y Sistema de monocultivo (SM) en época de secas (S) y lluvias (LL)	24
6.	Figura 3. Diagrama de colecta, almacenaje y liofilización de leche proveniente de sistema de Vegetación nativa (SVN), Silvopastoril intensivo (SPI), y Sistema de monocultivo (SM) en época de secas (S) y lluvias (LL)	25
7.	Cuadro 4. Análisis químico proximal de la leche obtenida de los sistemas de alimentación de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en época de secas y lluvias	31
8.	Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en zonas tropicales subhúmedas	32
9.	Figura 4. Ácidos grasos saturados (A), monoinsaturados (B), poliinsaturados (C), de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año	35
10.	Figura 5. Ácido linoleico conjugado (CLA; D), ácidos grasos n3 (E), ácidos grasos n6 (F), de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año	36
11.	Figura 6. Índice aterogénico (G), índice trombogénico (H) e índice de promoción a la salud de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año.....	38

1. RESUMEN

RAMÍREZ RAMÍREZ DIEGO LENIN. Características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en zonas tropicales subhúmedas (bajo la dirección de: Dr. Mario Cuchillo Hilario y QA. Águeda García Pérez).

El objetivo del trabajo fue el estudio de las características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas. El muestreo de este ensayo se realizó en el estado de Yucatán, las muestras fueron analizadas en la FMVZ y en el INCMNSZ. El muestreo la leche de los sistemas de alimentación duró 10 días para época de lluvias (agosto) y 10 días para época de secas (abril), obteniendo diez muestras por época por sistema obteniendo un total de 60 por ambas épocas. Las muestras fueron congeladas, posteriormente fueron liofilizadas para el análisis físico-químico y obtención de perfil de ácidos grasos. El análisis estadístico empleado fue el siguiente: $Y_{ijkl} = \mu + SA_i + E_j + SA \cdot E_{ij} + RT(SA \cdot E)_{ijk} + M(RT \cdot SA \cdot E)_{ijkl}$; donde Y = es la variable respuesta, μ = es el promedio; SA = sistema de alimentación (vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo) i, E= época del año (lluvias/secas) j; RT= repetición en tiempo(días); M= muestra. La comparación se realizó con una significancia ($\alpha = 0.05$) con el test de Tukey usando el macro DANDA V.2.12.025 (2016) para SAS (2013).

Resultados:

El sistema de alimentación influyó sobre la presencia de ácidos grasos saturados (AGS, $P=0.0082$), existiendo una interacción con la época ($P=0.006$). El valor de los AGS del SM (66.2%) en lluvias fue mayor que el valor del SPI (57.8%). Por su parte el valor de AGS para SVN estuvo en un valor intermedio (61.2%). Existe una interacción del sistema de alimentación con la época ($P=0.0396$) en la medición de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), en

dónde la época de lluvia para SM contribuyó con el menor porcentaje (31.1%), mientras que SPI para la misma época se encuentra el valor más alto (38.4%). Sin embargo, el valor de MUFA no fue claramente modificado por alguno de los factores aquí estudiados. En el porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y ácido linoleico conjugado (CLA) se vieron influenciados por la época ($P=0.0122$; 0.0113 , respectivamente). Para esta última variable, el tratamiento SVN fue el único distinto entre las dos épocas del año, siendo la época de seca la que obtuvo el valor más alto (2.4%). Por su parte el sistema de vegetación nativa obtuvo una mayor cantidad de ácidos grasos n3. Así mismo, el sistema silvopastoril intensivo obtuvo el índice de promoción a la salud más alto.

Con base en los resultados obtenidos, el consumo de leche de sistema de vegetación nativa en época de secas, es la más favorable en relación a los parámetros aquí evaluados. En contraste, la leche de sistema de monocultivo es el menor recomendado, por su alto contenido de AGS y menor índice de promoción a la salud.

ANTECEDENTES

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Leche bovina

Por definición la leche, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019a), es la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenidos a partir de uno o más ordeños sin ningún tipo de adición o extracción, destinados al consumo en forma de leche líquida o a elaboración ulterior. Por su parte la NOM-155-SCFI-2012, define a la leche como al producto de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, sin calostro el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogenización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación.

2.2. Producción y consumo de leche bovina en el mundo y su proyección para el año 2050

La producción de leche a nivel mundial durante los últimos 30 años ha ido en aumento en más de 50%, pasando de los 522 a los 828 millones de toneladas que se produjeron en el 2017. El principal país productor de leche fluida es la India, que alberga el 21% de la producción mundial, seguido por Estados Unidos, China, Pakistán y Brasil. Actualmente la leche líquida es el producto lácteo con mayor consumo en el mundo, normalmente su consumo se concentra en las áreas más urbanizadas; mientras que la leche fermentada se consume mayoritariamente en las zonas rurales. De igual manera el consumo de los productos lácteos procesados va en aumento (FAO, 2019c). En las últimas décadas el aumento en la presión de producir proteína animal, así como la creciente demanda de leche de vaca y sus derivados a nivel mundial crece en sintonía con el crecimiento demográfico. Sin embargo las actuales circunstancias del medio ambiente ante el cambio climático y

la producción de gases de efecto invernadero, requiere una producción de leche en sistemas que sean amigables con el medio ambiente y con un grado de sustentabilidad mayor (Rao et al., 2015; Rudel et al., 2015).

Durante la década de los años 60's el consumo de leche por persona se llegó a duplicar, sin embargo, durante las últimas dos décadas el consumo per cápita ha disminuido de manera paulatina. Los países que más leche consumen al año es la India con 66,800 toneladas anualmente, seguido de Estados Unidos con 22,220 toneladas; China consume 12,700 toneladas; mientras que Brasil consume 9,749 toneladas. En quinto lugar esta Rusia que consume 8,300 toneladas de leche anualmente (FAO, 2019c).

Los países que hoy en día consumen en promedio más de 150 kg por año es la zona de América del Norte, Argentina, Armenia, Australia, entre otros. En México se consumen aproximadamente 130 litros de leche al año per cápita, ubicándose entre los países con un consumo de leche moderado, entre los que se encuentran Japón, Kenia, Mongolia, Nueva Zelanda y la mayor parte de América Latina y el Caribe. Para el año 2017, año del cual se tiene el último registro, se obtuvo como resultado que el consumo per cápita de los mexicanos de leche de bovino es de 122.2 litros anualmente, dando un consumo de aproximadamente 334 mililitros por día per cápita. Se estima que el sector leche en este año recibió ingresos por 7,265 millones de dólares, esperando que para el año 2021 esta cifra aumente a 8,838 millones de dólares (SIAP, 2018).

De acuerdo a lo descrito por Rao et al. (2015) se estima que el consumo per cápita de leche en los países en vías de desarrollo aumentará hasta en un 77% para el año 2050 en comparación con los registros del 2002. A diferencia de los países desarrollados que si bien, también habrá un aumento en el consumo de leche, este no será tan drástico, apenas llegando a un 7% en el aumento de consumo de leche de bovino.

Cuadro 1. Demanda actual de productos de origen animal (leche de vaca) en países en desarrollo y desarrollados en 2002 y las proyecciones para el año 2050

	Países en desarrollo			Países desarrollados		
	2002	2050	Diferencia (%)	2002	2050	Diferencia (%)
Consumo per cápita (kg)	44	78	77	202	216	7
Total (millones de toneladas)	222	585	167	265	295	11

(Rao et al., 2015)

2.3. Producción y consumo de leche bovina en México

La leche bovina en México representa el tercer producto pecuario con mayor importancia económica. México produce 11.7 mil millones de litros de leche líquida, posicionándose en el noveno lugar a nivel mundial (SIAP, 2018). Este rubro alberga el 17.2% del valor nacional, solamente detrás de la carne de bovino (30%) y la carne de ave (23%), generando más de 150,000 empleos y se espera que para el año 2020 la producción total aumente 1.8% más que la producción del año en curso (Ríos and Castillo, 2015).

2.3.1. Producción de leche bovina en México por grado de tecnificación

La producción de leche de vaca se puede clasificar por grado de tecnificación. El primero de ellos es: 1) el sistema especializado que comprende (51%) principalmente en Jalisco, Coahuila y Durango; 2) el semiespecializado (21%) localizado principalmente en Querétaro, Hidalgo, y en algunas de las cuencas lecheras del país; 3) el de doble propósito se encuentra en estados con climas tropicales como Veracruz, Tabasco, Yucatán, entre otros (18%). Por último 4) el sistema familiar o de traspatio comprende el 10% a nivel nacional de la producción láctea y se encuentra a lo largo de toda la república mexicana (Blanco, 2019). Los sistemas cuanto más especializados y el grado de tecnificación sea mayor, la inversión económica es regularmente más grande, así como los gastos en

instalaciones, maquinaria y mantenimiento. Estos son los motivos por lo que este tipo de sistemas altamente tecnificados se encuentran regularmente en las grandes cuencas lecheras del país (SIAP, 2018).

El sistema de doble propósito contribuye con poco menos de una cuarta parte de la producción total de leche, se establece principalmente en regiones con climas tropicales donde una de las desventajas de este tipo de sistema es que la mayoría de las producciones no tienen la solvencia económica como la tienen las grandes industrias lecheras. Dentro de las ventajas que encontramos en los sistemas de producción de doble propósito en el trópico está la alta disponibilidad de usar diversos tipos de esquilmos agrícolas, entre ellos encontramos los subproductos de insumos que tienen un alto potencial para alimentar al ganado, como la caña de azúcar, maíz, frijol, cítricos, desperdicios de cervecería, arroz, estos de origen vegetal, pero también las de origen animal como las harinas como de pescado y carne. La alimentación en estos sistemas de producción comprende principalmente el pastoreo y forraje de corte de temporal (Magaña-Monforte et al., 2006).

En el sistema de traspatio o sistema de producción familiar se consumen forrajes de temporal, árboles frutales para consumo humano, limitado uso de desperdicios agrícolas y de desechos de comida en la elaboración de alimentos para consumo humano; donde su objetivo principalmente es la producción de alimentos de autoconsumo y disminución de la pobreza de comunidades rurales (Loera and Banda, 2017). Sin embargo, la baja calidad genética, la inadecuada alimentación y la insuficiente tecnificación de las instalaciones limitan la óptima producción pecuaria. El enfoque gubernamentalmente de este sistema de producción está encaminado a aumentar la seguridad agroalimentaria por lo que justifica enormemente su presencia. Este tipo de sistemas se encuentran a lo largo de todo el país, principalmente en las comunidades rurales con mayor marginación (FAO, 2019b; Blanco, 2019; González et al., 2013).

2.3.2. Producción de leche bovina en México por zona geográfica

De acuerdo con el área geográfica de México, la leche puede ser producida principalmente bajo cuatro diferentes tipos de alimentación: 1) área árida-semiárida; 2) área templada, 3) área de trópico seco y 4) trópico húmedo. La primera es la mayor productora de leche con un 36%, seguida de la templada y el trópico seco, ambas con el 26%. Por último el área de trópico húmedo concentra el 12% de la producción total de leche en México (Loera and Banda, 2017).

Para el año 2015, la cifra de cabezas de bovinos destinados para la producción de leche fue de 2,457,683, los estados con mayor número de cabezas para la producción de leche son Durango (22.9%), seguido de Jalisco (16.7%) y en tercer lugar está Coahuila (12.4%) de los cuales los dos últimos concentran la región lagunera, zona dónde se encuentran las más grande y principales industrias lecheras de México (SIAP, 2018)

2.4. Tipos de alimentación predominante en el sureste mexicano

2.4.1. Sistemas de alimentación en vegetación nativa

La región sur-este en México lo conforman los estados de Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (INEGI, 2019). En el sureste mexicano existen actualmente diversos sistemas silvopastoriles con diferentes variantes en la forma de utilizar el suelo para optimizar la producción ganadera (Nahed-Toral et al., 2013). Las zonas tropicales en México actualmente son las responsables de un 50% de la producción de ganado bovino, ovino y caprino, que generalmente se producen en sistemas extensivos, los cuales en su mayoría dependen del clima y de la época de lluvias (Mauricio et al., 2019).

Los sistemas de alimentación en vegetación nativa dependen en su mayoría de la disponibilidad de los recursos vegetativos, que a su vez dependen de las condiciones climáticas, precipitaciones y de las estaciones del año. Las condiciones climáticas, geográficas y la poca intervención del ser humano en este tipo de

sistemas, son factores que incrementan la posibilidad de tener menos control sobre el ganado en este tipo de sistemas. La gran diversidad en la vegetación biodisponible, conduce a una fluctuante calidad de nutrientes que consumen los animales. Sin embargo, también significa incrementar la capacidad de la expresión del consumo voluntario y la selectividad en el consumo de ciertos forrajes y pastos (Rivera et al., 2017; Muir et al., 2017).

Los beneficios agroecológicos de introducir animales en praderas de pastos nativos, pueden tener un incremento en la ingesta de nitrógeno que ha derivado en productos de origen animal con mayor contenido de proteína para el consumo humano (Mauricio et al., 2019). Así mismo, el aumento en la diversidad de especies vegetales es sinónimo de un mayor albergue a una alta diversidad de otros organismos, así promoviendo el uso eficaz de nutrientes en el suelo. Usualmente en estos sistemas de alimentación la forma en que se delimitan los potreros se utiliza la misma vegetación nativa como cercos vivos, los cuales tienen múltiples beneficios para la vegetación como para el animal (Wrage et al., 2011). Entre los beneficios observados se encuentran la sombra que es de gran importancia en climas cálidos y tropicales, producción de forraje y frutos de alta calidad nutricional, protección contra el viento, además de beneficios en la conservación de suelos y la disminución de costos en la colocación de postes para la delimitación de las praderas (Murgueitio and Calle, 1998; Mauricio et al., 2019).

2.4.2. Alimentación en sistemas silvopastoriles

La degradación las zonas geográficas de alto valor ecológico, así como la introducción de pastos, aunado con un mal manejo agrícola favorece la pérdida de biodiversidad vegetal y animal. Estos problemas están vigentes en el sureste mexicano lo cual genera un impacto ambiental negativo (Nahed-Toral et al., 2013) . De la misma manera, se incrementa en estas áreas el aumento en la erosión del suelo y la contaminación de acuíferos (Plieninger and Huntsinger, 2018). La producción ganadera en otros países de América Central como como Guatemala y Honduras, ha logrado tener un crecimiento positivo, por lo que trae diversos

beneficios socioeconómicos a los países productores. Sin embargo, esto implica factores negativos medioambientales asociados, por ello se buscan alternativas amigables con el medio ambiente como son los sistemas silvopastoriles (Acosta et al., 2013; Camacho et al., 2017). Estos sistemas han tenido ofrecen beneficios al medio ambiente, a los animales en producción *perse* y a los habitantes desde la perspectiva económica y social (Acosta et al., 2013). La promoción de estos sistemas silvopastoriles va de la mano con la reducción en la deforestación, para recuperar tierras degradadas y evitar la pérdida de vegetación que propicien condiciones para el establecimiento de praderas agrícolas destinadas al pastoreo, aumentando así el almacenamiento de carbono en el suelo (Suber et al., 2019).

Los sistemas silvopastoriles intensivos se han implementado desde hace más de 20 años en América Latina y México; obteniendo como resultado un aumento en la producción de leche y carne proveniente de bovinos, lográndolo con ello una menor carga animal, reduciendo la producción de gases de efecto invernadero, promoviendo la restauración y conservación de suelos, disminuyendo la disminución de la erosión del suelo (Suber et al., 2019). Este modelo continúa siendo una estrategia de producción eficiente donde se emplean grandes cantidades de arbustos forrajeros, en ciertos casos aumentando la rentabilidad de las unidades productivas (Zepeda et al., 2016). Este modelo muestra mayor viabilidad en climas tropicales sobre otros modelos de producción regiones climáticas distintas (Rivera et al., 2017; Cuartas et al., 2014).

2.4.3. Sistema de producción en Monocultivo

Los sistemas de monocultivo representan una opción viable cuando las condiciones de calidad del suelo y los requerimientos nutrimentales del forraje establecido en la pradera son limitados. Este método se usa tanto para el pastoreo como para la producción de forrajes destinados para el corte y acarreo o incluso para su posterior manejo como ensilado o henificado. Actualmente varios sistemas basados en el monocultivo, se han modificado gradualmente para ir migrando a los sistemas silvopastoriles, teniendo una mayor diversidad vegetativa con mayores

beneficios económicos y productivos (Keith et al., 2016). Entre las desventajas que representa los sistemas de monocultivo está la pérdida de biodiversidad, la deforestación, riesgo para la conservación de agua, mayor susceptibilidad a inundaciones y sequías, mayor incidencia de plagas, desequilibrio ecológico, degradación del suelo por pérdida de materia orgánica, uso ineficiente de nutrientes del suelo, además de la baja resiliencia del sistema a los factores cambiantes del clima (FAO, 2018). Este modelo tiene un gran arraigo en los sistemas tradicionales de producción pecuaria, pues representa un modelo eficiente en sistemas intensivos de producción. Otra de sus desventajas de este sistema es la alta demanda y dependencia de insumos, lo cual condiciona el retorno económico de las unidades productivas al uso permanente de fertilizantes y químicos empleados para controlar malezas.

2.5. Características físico químicas de la leche

La leche es un alimento de alto valor biológico por ser una fuente importante de energía, proteína de alta calidad y de grasas. La leche de vaca tiene aproximadamente entre el 3 a 4% de grasa de los sólidos totales, las proteínas constituyen 3.5%. El carbohidrato principal de este líquido es la lactosa que contribuye con el 5% de su composición (FAO, 2019a). La leche es uno de los alimentos que mayor cantidad de nutrientes aporta al ser humano por contener minerales esenciales como el calcio, magnesio, selenio, y vitaminas como la B2 y B12, entre otras. De acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas, la composición físico- química (Cuadro 2) de la leche entera en México debe tener las siguientes especificaciones:

Cuadro 2. Especificaciones de las características físico-química de la leche entera de vaca

Densidad a 15°C (g/ml)	1.029 mínimo	Punto crioscópico °C (°H)	Entre -0.510 y -0.536
Grasa butírica (g/l)	30 mínimo	Lactosa (g/l)	43 mínimo 52 máximo
Acidez (expresada como ácido láctico; g/l)	1.3 mínimo 1.7 máximo	Proteínas propias de la leche (g/l)	30 mínimo
Sólidos no grasos de la leche (g/l)	83 mínimo	Caseína (g/l)	24 mínimo

(NOM-155-SCFI-2012, 2012)

2.5.1. Proteína

Los parámetros de contenido de proteína en la leche son variables y van desde 2.9% hasta 3.9% dependiendo de múltiples factores (ver más detalles en las siguientes secciones del documento). Estas se clasifican principalmente en dos grupos, caseínas que representa la más importante y abundante de la leche de bovino está en un 80% y el 20% restante se encuentran las proteínas séricas (Park et al., 2007). La caseína es una proteína característica de la leche ya que no se encuentra en otros alimentos de origen animal, además de que su valor biológico radica en la cantidad de aminoácidos esenciales que se separan gracias a la renina o quimiocina. La albúmina es la segunda proteína más importante de acuerdo a la cantidad total de proteína en la leche. Sin embargo, a la fácil reactividad que tienen a las altas temperaturas, estas se desnaturalizan al ser calentadas y se destruyen la mayoría de la proteína sérica (Wiles, 1977).

2.5.2. Carbohidratos

En la leche los carbohidratos están principalmente representados por la lactosa, un azúcar que está presente en todas las leches y que es importante tanto por su aporte energético. Se sintetiza en la glándula mamaria y su sabor es

ligeramente azucarado, tiene baja solubilidad y es estable ante la actividad enzimática sin embargo es sensible a la acción microbiana. Los carbohidratos contenidos en la leche durante la pasteurización y otros tratamientos térmicos se comportan de manera estable. Sin embargo, cuando estos procesos son sometidos a temperaturas aún más altas, la leche tiene una reacción donde intervienen las proteínas con la lactosa, provocando un oscurecimiento o pardeamiento de la leche, esta reacción se le llama “reacción de Maillard” (Wiles, 1977; Cuchillo et al., 2010a). La lactosa es un sustrato de vital importancia para la fermentación de las bacterias lácticas, encargadas del desdoblamiento de la glucosa y galactosa convirtiendo las hexosas en ácido láctico. Sin embargo las bacterias anaerobias facultativas se destruyen durante el proceso térmico entre 70 y 80°C.

La lactosa es apreciada como una fuente de energía importante en la dieta del ser humano, además de participar en favor de la retención de calcio estimulando la osificación de los huesos. Sin embargo, en pacientes que no poseen la molécula de la lactasa sufren síntomas como flatulencias, dolor abdominal, diarrea, entre otros, síntomas que en conjunto se le denomina “intolerancia a la lactosa” (Espinosa, 2001).

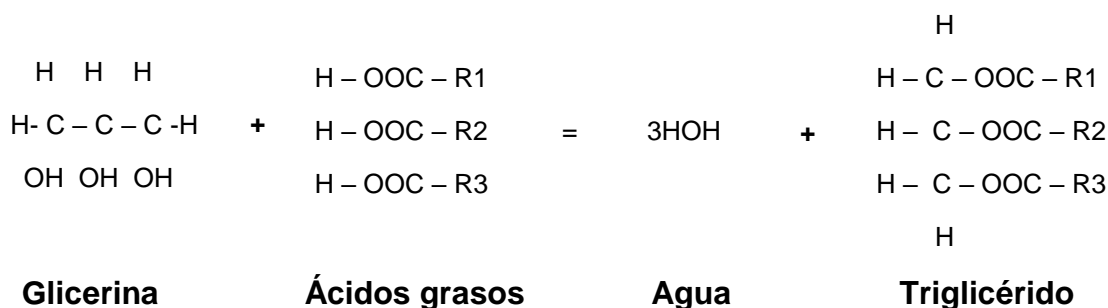
2.5.3. Lípidos

La grasa láctea está presente en forma de glóbulos microscópicos, conformada como una emulsión de lípidos en agua, rodeada de una membrana lipoproteica, compuesta por fosfolípidos y glicoproteínas. El núcleo está conformado en mayor proporción por triglicéridos, el porcentaje oscila entre 3.5 y 4.7%, esto dependiendo de diferentes factores internos y externos (FAO, 2019a). La cantidad o proporción de los lípidos dependerá en primera instancia de las condiciones metabólicas de cada vaca, que de acuerdo a la composición y variabilidad genética la cantidad y composición de la leche se verá modificada. A nivel de hato el metabolismo lipídico se verá alterado por la etapa de la lactación, siendo que al inicio de la lactación la cantidad de lípidos se verá aumentada. Se ha demostrado

que existe una correlación positiva entre la condición corporal de la vaca y sus reservas corporales con la cantidad de lípidos en la leche (García et al., 2014).

El 98% de la leche de vaca está compuesta por triacilgliceroles (Figura 1), lípidos que están conformados por una molécula de glicerol que tiene los tres grupos hidroxilos esterificados por tres ácidos grasos, que pueden ser saturados, monoinsaturados o poliinsaturados. El 2% restante está compuesto por ácidos grasos no esterificados, colesterol, carotenoides, vitaminas liposolubles y lípidos estructurales (García et al., 2014; Vázquez et al., 2018b)

FIGURA 1. Estructura química de un triglicérido (Voet, 1992)



A lo largo de las últimas décadas se ha debatido acerca de excluir la grasa láctea de la dieta del ser humano, esto por su elevado contenido en ácidos grasos saturados y colesterol, ambos ligados a desarrollar enfermedades coronarias. Sin embargo, se han observado diversos avances científicos que sostienen que no existe evidencia en el meta análisis para determinar que lo más saludable es excluir la leche de la dieta de las personas en personas sanas, siendo más importantes los factores genéticos, actividad física y estado emocional para la regulación del colesterol exógeno en sangre (Calvo et al., 2014; Baum et al., 2012a).

2.6. Ácidos grasos

Entre las múltiples funciones que tienen los lípidos se encuentra la palatabilidad de los alimentos, la conformación de membranas celulares, tejidos,

además de ser precursores de vitaminas y fuentes ricas en ácidos grasos. Los ácidos grasos han sido de interés recientemente, existen opiniones divididas acerca de lo beneficioso o perjudicial que es su consumo, sin embargo, se ha demostrado que ciertos ácidos grasos tienen beneficios a la salud humana, por otro lado el exceso de consumo de ácidos grasos saturados también podrían incrementar la posibilidad de desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Delgadillo et al., 2014a; Lordan and Zabetakis, 2017; Rego et al., 2005; Baum et al., 2012a).

Los ácidos grasos son cadenas carbonadas con un grupo metilo al final de la molécula y al otro extremo se encuentra un grupo carboxilo. El carbono siguiente al grupo carboxilo llevará el nombre de alfa (α) y el siguiente (β). Existen ácidos grasos saturados e insaturados, esto dependerá de la longitud y número de insaturaciones a lo largo de la cadena de carbonos. Los ácidos grasos saturados están llenos de hidrógenos, los cuales se situarán indistintamente, en su mayoría se encuentran entre el carbón 12 y 22. Los ácidos grasos insaturados se clasifican en mono (MUFA) y poliinsaturados (PUFA) (Vázquez et al., 2018b).

Los ácidos grasos poliinsaturados se pueden dividir en dos grandes grupos, los que tienen un doble enlace en el tercer o cuarto carbono del carbono ω , comenzando a contar a partir del extremo metilo de la cadena hidrocarbonada, estos son llamados ω -3, y lo que tienen esta doble ligadura en el sexto y séptimo átomo de carbono, son los llamados ω -6 (Simopoulos, 2016). Se han visto beneficios en la salud del consumidor por la ingesta de alimentos ricos en algunos ácidos grasos (e.g. ácidos grasos ω -3). En caso contrario se ha demostrado que ciertos ácidos grasos (e.g. ácidos grasos saturados) se les asocia con el incremento de padecimientos relacionados a enfermedades crónico degenerativas, incrementando los índices teratogénicos y disminuyendo el índice de promoción a la salud (Ullah et al., 2018; Givens, 2018; Juárez et al., 2019). Se ha establecido que el consumo de los ω -6 disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares, disminución de la presión arterial y una asociación con las proteínas de alta densidad y lo contrario con las proteínas de muy baja densidad y triglicéridos.

Sin embargo, se sabe que existe un equilibrio entre el consumo de ω -3 y ω -6 para que los beneficios a la salud puedan ser posibles. El excesivo consumo de ácidos grasos ω -6 sobre los ω -3 deriva en el desarrollo de varias enfermedades incluida la obesidad, cardiovasculares y cáncer, aunque al comenzar a notar un aumento en el consumo de ω -3 se asocia con una disminución en el desarrollo de las enfermedades anteriormente mencionadas (Vázquez et al., 2018b; Baum et al., 2012b; Gómez-Cortés et al., 2018; Delgadillo-Puga et al., 2019).

2.6.1. Metabolismo ruminal y producción de ácidos grasos

En los rumiantes el metabolismo lipídico se lleva a cabo por dos procesos bioquímicos; 1) la lipólisis que será principalmente realizada para los ácidos grasos saturados con destino al abomaso e intestino para continuar con el proceso metabólico y 2) la biohidrogenación estará destinada para los ácidos grasos poliinsaturados (Elgersma, 2016). La lipólisis la realizan principalmente tres especies de bacterias, *Anaerovibrio lipolítica*, *Butirivibrio fibriosolvens* y *B. LM8/1B*, en segundo lugar con una actividad reducida y con poca constancia en el proceso están los protozoos (Hassim et al., 2010). Se ha demostrado que la cantidad de ácidos grasos que se encuentran en el intestino delgado, específicamente en el duodeno, difieren de la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en la dieta del animal, especialmente a partir de los granos que tienen mayor cantidad de ácido linoleico, esto por una posible disminución de la biohidrogenación a nivel intestinal (Freitas et al., 2019).

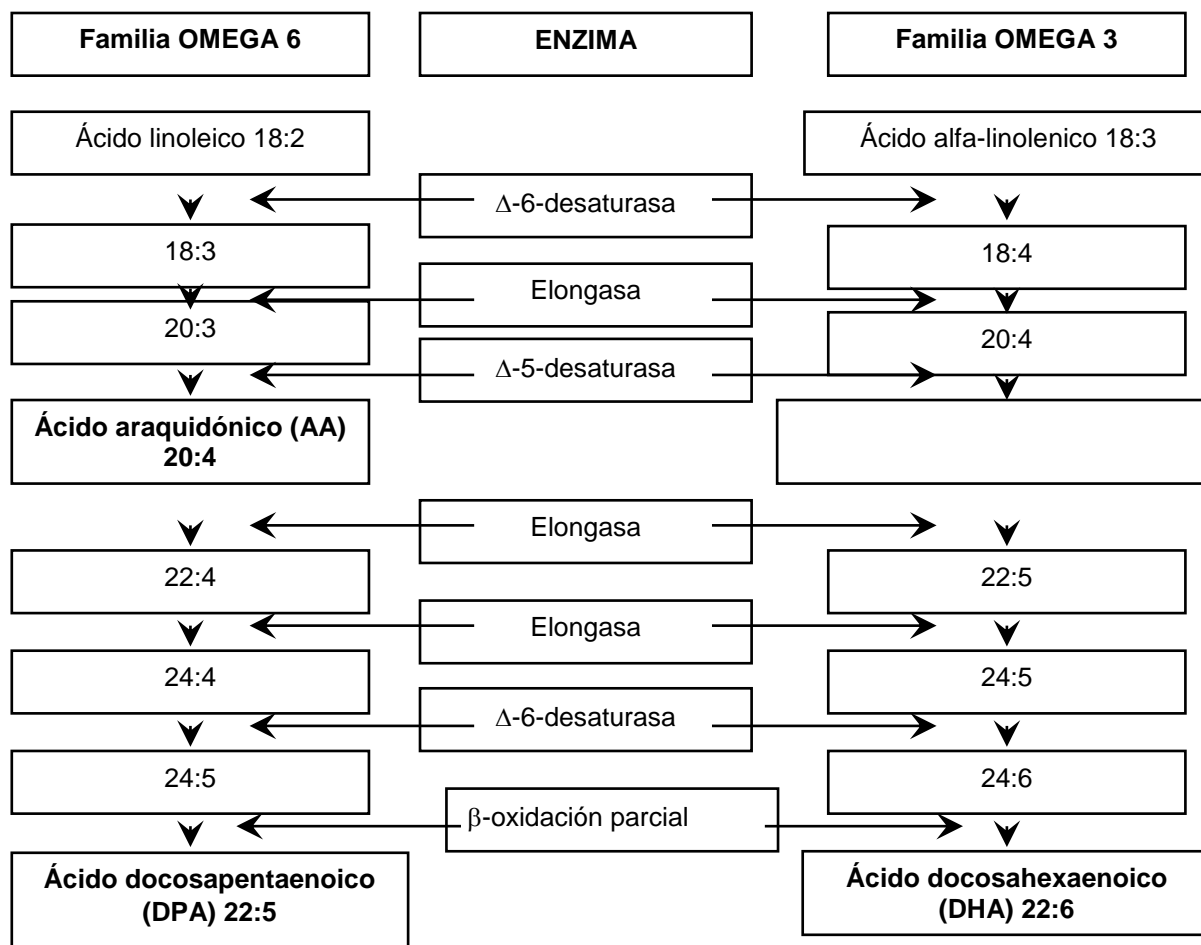
Los lípidos sufren una hidrolización rompiéndose el enlace entre el glicerol y los ácidos grasos, originando al glicerol y tres moléculas de acil gliceroles. El glicerol se comienza a fermentar en el rumen el cual es aprovechado por las bacterias del microbiota ruminal para formar ácidos grasos volátiles y otros son creados para sintetizar fosfolípidos para la construcción de membranas celulares. Los ácidos grasos generados en el rumen en su mayoría son ácidos grasos saturados (85-90%), principalmente ácido palmítico y estéarico, que están ligados a partículas de alimentos y fosfolípidos microbianos, posteriormente son digeridos y absorbidos por

las paredes intestinales, las sales biliares preparan a los lípidos para su absorción, formando moléculas que se mezclan con agua para poder entrar a las células intestinales donde los ácidos grasos se unen a moléculas de glicerol proveniente de la glucosa en sangre para formar triglicéridos (Vázquez et al., 2018b).

Todas las grasas y aceites que se encuentran en los alimentos están compuestos por triglicéridos, siendo lo mismo ésteres de ácidos grasos con glicerol. Los ácidos grasos están divididos en saturados e insaturados, los insaturados pueden estar con uno o más insaturaciones a lo largo de la cadena carbonada (Vázquez et al., 2018b; Chen et al., 2004). Recientemente se ha observado que la inclusión de dietas con altas concentraciones de PUFA han ganado gran popularidad, utilizando en su mayoría ácido α -linolénico (Figura 2), incluso se podrían utilizar dietas altas en ácidos grasos de 20 a 22 carbonos, aunque podría significar perjudicial por afectar el sabor de la leche. La cantidad de ácidos grasos en leche se verá modificada por la cantidad de ácidos grasos ingeridos en la dieta, que son sintetizados a partir de los lípidos que se encuentran en los forrajes y granos. Se ha visto que el 70% del ácido ruménico se origina a partir de los ácidos vaccínicos por la glándula mamaria y otros tejidos.

Una parte de los ácidos grasos de la leche en rumiantes, principalmente ácido esteárico y palmítico se sintetizan *de novo* (aporte lipídico endógeno) en la glándula mamaria, provenientes de las lipoproteínas ricas en triglicéridos utilizando los precursores como el acetato y β hidroxibutirato, que son provenientes de la fermentación de carbohidratos del rumen. El ácido palmítico y los ácidos grasos de cadena larga, se obtienen a partir de la sangre circulante de la grasa de la dieta, microbiana y la grasa movilizada de las reservas del cuerpo. La cantidad de ácidos grasos que se ingieren a partir de la dieta modifican el perfil de ácidos grasos de la leche, dependiendo siempre del proceso de la biohidrogenación ruminal, el grado de insaturación de las grasas de la dieta, y la calidad del forraje, en conjunto con la calidad y efectividad de la fibra (Jensen, 2002; Ramírez et al., 2019).

Figura 2. Síntesis de ácidos grasos omega 3 y omega 6 (Ronayne, 2000)



Una parte de los ácidos grasos de la leche en rumiantes, principalmente ácido esteárico y palmítico se sintetizan *de novo* (aporte lipídico endógeno) en la glándula mamaria, provenientes de las lipoproteínas ricas en triglicéridos utilizando los precursores como el acetato y β hidroxibutirato, que son provenientes de la fermentación de carbohidratos del rumen. El ácido palmítico y los ácidos grasos de cadena larga, se obtienen a partir de la sangre circulante de la grasa de la dieta, microbiana y la grasa movilizada de las reservas del cuerpo. La cantidad de ácidos grasos que se ingieren a partir de la dieta modifican el perfil de ácidos grasos de la leche, dependiendo siempre del proceso de la biohidrogenación ruminal, el grado

de insaturación de las grasas de la dieta, y la calidad del forraje, en conjunto con la calidad y efectividad de la fibra (Jensen, 2002; Ramírez et al., 2019).

2.6.2. Factores que modifican el perfil de ácidos grasos

Existen diferentes factores que modifican el perfil de ácidos grasos contenidos en la leche. Entre ellos se encuentran el estatus de la lactación, sin embargo, el factor más determinante para la modificación del perfil lipídico se asocia al tipo de alimentos en la dieta del rumiante (Delgadillo et al., 2014b; Cuchillo et al., 2010c; Ramírez et al., 2019; Delgadillo-Puga et al., 2019). Estas modificaciones por la naturaleza de la dieta repercuten en la población de microbiota ruminal y la actividad enzimática; tasa de pasaje del alimento, isomerización y biohidrogenación de ácidos grasos (Kay et al., 2005). A continuación, se describen con mayor detalle los factores más importantes que modifican el perfil de ácidos grasos en la leche:

2.6.2.1. Sistema de alimentación

La alimentación se ha considerado como el factor principal que influye en la composición de ácidos grasos. Cuando la dieta es rica en ácidos grasos insaturados, los productos como la leche, tendrán una mayor proporción de ácidos grasos insaturados (Chen et al., 2004). La alimentación de bovinos en sistemas silvopastoriles es distinta al pastoreo intensivo en monocultivos y de sistemas poco controlados, como en un sistema de pastoreo en zonas de vegetación nativa (Améndola et al., 2015). El uso de arbóreas y/o la asociación con gramíneas y leguminosas ha demostrado beneficio al medio ambiente (Rao et al., 2015) además de modular la calidad de la leche en términos de la concentración de metabolitos deseables para la salud humana (Delgadillo et al., 2015; Givens, 2018; Delgadillo et al., 2017; Delgadillo et al., 2018). Así mismo, la época y estación en que se producen los alimentos, la suplementación con grasas en la dieta y otros factores, son causas dentro de la alimentación para que se vea modificado el perfil de ácidos grasos en la leche (Cuchillo et al., 2010b; Ramírez et al., 2019).

El tamaño de partícula, la forma en que se les ofrezca a los animales, el corte o el tipo de molienda o proceso que se le dé al alimento, son factores que modificarán el aprovechamiento y el aumento de la tasa de pasaje por el tracto digestivo del animal. Al disminuir el tamaño de partícula y disminuir la velocidad del paso del alimento en rumen se aumentará el tiempo de exposición y contacto que tenga con la microbiota ruminal, beneficiando la descomposición y obtención de nutrientes de los alimentos (Patra and Saxena, 2009). La cantidad de ácidos grasos que se ingieren a partir de la dieta modificarán el perfil de ácidos grasos de la leche, dependiendo siempre del proceso de la biohidrogenación ruminal, el grado de insaturación de las grasas de la dieta, y la calidad del forraje, en conjunto con la calidad y efectividad de la fibra .

2.6.2.2. Época del año

Las precipitaciones y la temperatura son condiciones climáticas que modifican la disponibilidad y calidad de los alimentos, así como también altera el funcionamiento y la producción de leche (Puga et al., 2009). En zonas dónde las condiciones climáticas son extremas tanto el frío excesivo (que para algunas razas de bovinos son favorables), como las altas temperaturas provocan un estrés calórico en las vacas que mermará la producción, como consecuencia disminuirán el consumo de alimento para mantener las condiciones homeotérmicas. En zonas dónde las épocas de precipitaciones se encuentran marcada, la disponibilidad de material vegetativo será mayor cuando las precipitaciones aumenten, como consecuencia los animales tendrán mayor variabilidad y cantidad de pastos y forrajes que consumir y mejorará la nutrición y la producción lechera (Puga et al., 2010; Vázquez et al., 2018b).

2.6.2.3. Estado de la lactación y estado reproductivo

El estado o fase en la que se encuentra la lactación de las vacas también puede modificar la cantidad de ácidos grasos, i.e., mientras más temprana sea la

lactación, menor será el consumo de materia seca, lo que sugiere, que el aporte de nutrientes para satisfacer la necesidad nutrimental, se verá disminuida (Jensen, 2002; Puga et al., 2009). Los ácidos grasos no esterificados que son captados por la glándula mamaria, van aumentando tras el parto ya que la movilización de las grasas debido al balance energético negativo en el que la vaca se encuentra es intenso. Debido a ello, conforme la lactancia vaya avanzando, tanto por efecto de dilución (mayor de volumen de producción con menor contenido de sólidos totales) como por el contenido de grasa que continuamente se va movilizand, se irá disminuyendo la captación de ácidos grasos (Nahum et al., 2016). Para fines de este estudio las variables de lactación y estado reproductivo de los animales no fueron consideradas.

2.7. Transición alimentaria en México

La alimentación en México está influenciada por diferentes factores sociales, culturales y económicos. La condición socioeconómica en nuestro país genera una brecha muy importante, e.g., cerca del 70% de la población está en situación de pobreza; por lo que el poder adquisitivo invariablemente determina la capacidad para adquirir productos alimenticios. Esta condición vuelve difícil para cumplir con los requerimientos nutrimentales de la población mexicana (Bertran, 2010).

Hasta hace 40 años, la alimentación en México se basaba en maíz, frijol y una pequeña porción de frutas y verduras. Estaba caracterizada por ser baja en proteína y grasa de origen animal, con un alto contenido de fibra. Para el año 1960 el aporte de energía en la dieta era de 78.8%, contra el 73.6% que actualmente se consume. Sin embargo, actualmente la principal fuente de esta energía proviene de cereales refinados, maíz y algunas leguminosas (Gómez and Velázquez, 2019). El último cambio de gran magnitud en la alimentación del mexicano, se vio modificada en conjunto con la globalización de México, con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, al cual se clasificó como un país dentro de un ambiente “obesogénico” (Gómez and Velázquez, 2019). La globalización que si bien es un beneficio en varios aspectos socio-económicos, trajo problemas de salud en

conjunto con las predisposiciones genéticas y estilos de vida para la población mexicana (López, 2017).

Actualmente la alimentación mexicana está basada en alimentos altamente industrializados junto con bebidas azucaradas, que tienen un alto contenido energético con una deficiente cantidad de nutrientes. Debido a este cambio, México que ocupa el primer lugar a nivel mundial en obesidad. Irónicamente, la desnutrición sigue afectando a los niños menores de comunidades rurales en el país (Roldan et al., 2012).

La última declaratoria de emergencia epidemiológica en México se emitió el 15 de febrero del 2018 donde se expone que basados en los datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT), llevada a cabo en 2012 muestra que 48.6 millones de mexicanos (52%) viven con sobrepeso y obesidad, siendo las mujeres las que presentan la frecuencia más alta (37.5%) en relación a los presentar (26.8%). La obesidad y el sobrepeso son causa principal del desarrollo de diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, trastornos óseos y musculares y tipos de cáncer. Los datos anteriores se compararon con la última encuesta realizada en 2016 observándose que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en comparación con las del 2012 (SSA, 2018).

En otro reporte sobre las condiciones de salud en la población mexicana, se calculó que para el año 1980 solo el siete por ciento de los mexicanos estaba catalogado como obesa. Sin embargo, para el año 2016 esta cifra se triplicó. La obesidad tiene consecuencias graves en la salud, originando múltiples enfermedades coronarias, isquémicas y metabólicas (SSA, 2018). De acuerdo con el INEGI, para el año 2018, en México la principal razón de muerte con un 20.1% (141,619) es por enfermedades del corazón, en segundo lugar, encontramos a la diabetes mellitus, que se le otorga el 15.2% (106,525) y en tercer lugar los tumores malignos tienen 12% de las muertes (84,142), dentro de las otras enfermedades que podrían ser prevenibles gracias al consumo adecuado de ácidos grasos están las enfermedades cerebrovasculares que ocupan el 6to lugar (35,248), por detrás de enfermedades de origen hepático y accidentes (INEGI, 2018). El consumo de

alimentos saludables como lo es leche de vaca en la dieta del mexicano promedio, asociado a factores benéficos como el ejercicio y tener una vida saludable, son estrategias viables para contrarrestar la situación de sobre peso y obesidad en México.

2.8. Importancia del consumo de lípidos y los ácidos grasos

La integración de ácidos grasos en la alimentación humana siempre se ha considerado de vital importancia en la salud. Sin embargo, por años se ha hecho la recomendación de la reducción del consumo de ácidos grasos saturados (AGS) que están asociados con el aumento en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Caso contrario sobre los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y monoinsaturados (MUFA), los cuales se han promovido e impulsado en aumentar su inclusión en la dieta con beneficios en la salud para el ser humano (Baum et al., 2012b). Se ha demostrado que el ácido linoleico, un ácido graso poliinsaturado ω -6, puede regular los procesos inflamatorios, mediante la modulación de factores de crecimiento, el complemento y los diferentes mecanismos de señalización de la inflamación (Viladomiu et al., 2016; Cuchillo et al., 2010a). De la misma manera, se ha observado que posee tres veces más capacidad que los ácidos grasos n-3 entre ellos el eicosapentaenoico (C20:4) y el docosapentanoico (C20:6) para inhibir y reducir la incidencia de tumores mamarios en roedores y en humanos (Koba and Yanagita, 2014; Warensjo et al., 2010). Los productos lácteos que tienen altos niveles de grasas saturadas, por lo que su consumo se ha asociado al incremento en la probabilidad de desarrollar enfermedades de carácter cardiovascular (Warensjo et al., 2010).

Sin embargo, aunque las recomendaciones es reducir este tipo de productos, se ha visto que no hay una relación directa en la disminución de la probabilidad de sufrir una enfermedad cerebro vascular (ECV) si se disminuye el consumo de lácteos (Huth and Park, 2012). El consumo de lípidos provenientes de la leche, particularmente los lípidos polares tienen entre sus beneficios la acción antioxidante, antimicrobiana y antiviral, además de ser un gastro protector para la

reducción de úlceras gástricas y patógenos gastrointestinales. De igual manera se ha evidenciado que tiene una actividad importante en la reducción de cáncer de colon y efectos positivos ante enfermedades como Alzheimer, depresión, estrés y ayuda a tener una mejor memoria. Los ácidos grasos de la leche de la leche pueden jugar un papel importante en la recuperación del hígado y de proteger la mucosa de tracto digestivo bajo circunstancias de daño por agentes virales o bacterianos, así como también fungir como un antiinflamatorio y disminuir enfermedades artríticas en ratas (Calvo et al., 2014).

De acuerdo a la Academia Americana de Pediatría, se recomienda que los niños entre los 2 y 3 años de edad, deben de consumir entre 480 a 600 ml, y en etapa preescolares y escolares, de 480 a 720 ml de leche de vaca (Daniels and Hassink, 2015). Para la población de adultos y adultos mayores, las recomendaciones de consumo de leche es de 500 ml (FAO, 2019c). En comparación con el consumo per cápita diario de leche en México, ser recomendaría aumentar el consumo cerca de 150 ml diarios para cumplir con las recomendaciones de acuerdo a la FAO.

El objetivo del este trabajo fue evaluar las características físico-químicas y el perfil de ácidos grasos de leche de bovino, proveniente de tres sistemas de alimentación diferentes: Sistema de Vegetación Nativa (SVN), Sistema Silvopastoril Intensivo (SPI) y Sistema de Monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas del estado de Yucatán.

3. Objetivo General

Evaluar las características físico-químicas y el perfil de ácidos grasos de leche de bovino, proveniente de tres sistemas de alimentación diferentes: Sistema de Vegetación Nativa (SVN), Sistema Silvopastoril Intensivo (SPI) y Sistema de Monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas del estado de Yucatán.

Objetivos particulares

1. Evaluar las características físico-químicas de la leche de bovino proveniente de tres sistemas de alimentación diferentes: Sistema de Vegetación Nativa (SVN), Sistema Silvopastoril Intensivo (SPI) y Sistema de Monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas del estado de Yucatán
2. Evaluar el perfil de ácidos grasos de la leche proveniente de tres sistemas de alimentación diferentes: Sistema de Vegetación Nativa (SVN), Sistema Silvopastoril Intensivo (SPI) y Sistema de Monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas del estado de Yucatán

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Diseño experimental

El estudio se realizó en tres sistemas de alimentación ubicados en el estado de Yucatán: 1) sistema de alimentación en vegetación nativa (SVN) ubicado en la localidad de Catmis, municipio de Tzucacab, al sur del estado: este sistema de vegetación posee en su composición botánica con cerca de 150 especies vegetales. Para este modelo de producción no existe manejo alguno excepto el pastoreo rotativo cada 60 días aproximadamente. 2) Sistema de alimentación en Monocultivo (SM): parcialmente intervenido tecnológicamente, con una vegetación compuesta mayoritariamente por pasto estrella (*Cynodon plectostachius*), en menor proporción por chaya de monte (*Cnidoscolus aconitifolius*) y con mínima presencia de otras arvenses, localizado dentro de las instalaciones del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), el manejo realizado en este sistema es un pastoreo intensivo de cada 28-30 días por potrero. 3) El sistema de alimentación silvopastoril intensivo (SPI): compuesto por especies introducidas como *Panicum máximum*, *Cynodon plectostachius* y *Leucaena leucocephala*, está localizado en el municipio de Dzununcan. Se utilizaron 10 bovinos de doble propósito (*Bos Taurus* x *Bos indicus*) de aproximadamente 550 kg con un promedio de tres partos, todos en diferentes etapas de lactación.

Los datos obtenidos del análisis químico proximal de la biomasa de los tres sistemas de alimentación tienen como tendencia positiva tener mayor cantidad de materia seca (MS) durante la época de lluvias, esta tendencia también se observa en fibra detergente neutra y ácida (FDN y FDA), caso contrario en el valor de proteína, dónde en la época de secas fueron más altos estos valores (Cuadro 3).

4.1. Metodología para la obtención de las muestras

La leche de los sistemas de alimentación SVN y SPI, se obtuvo por medio de la ordeña manual, depositando la leche en cubetas de plástico, en el SM fue por medio de ordeña mecánica por lo cual la leche se almacenó en un contenedor de

acero inoxidable. El muestreo duró 10 días para época de lluvias (agosto) y 10 días para época de secas (abril), obteniendo diez muestras por época por sistema obteniendo un total de 60 por ambas épocas.

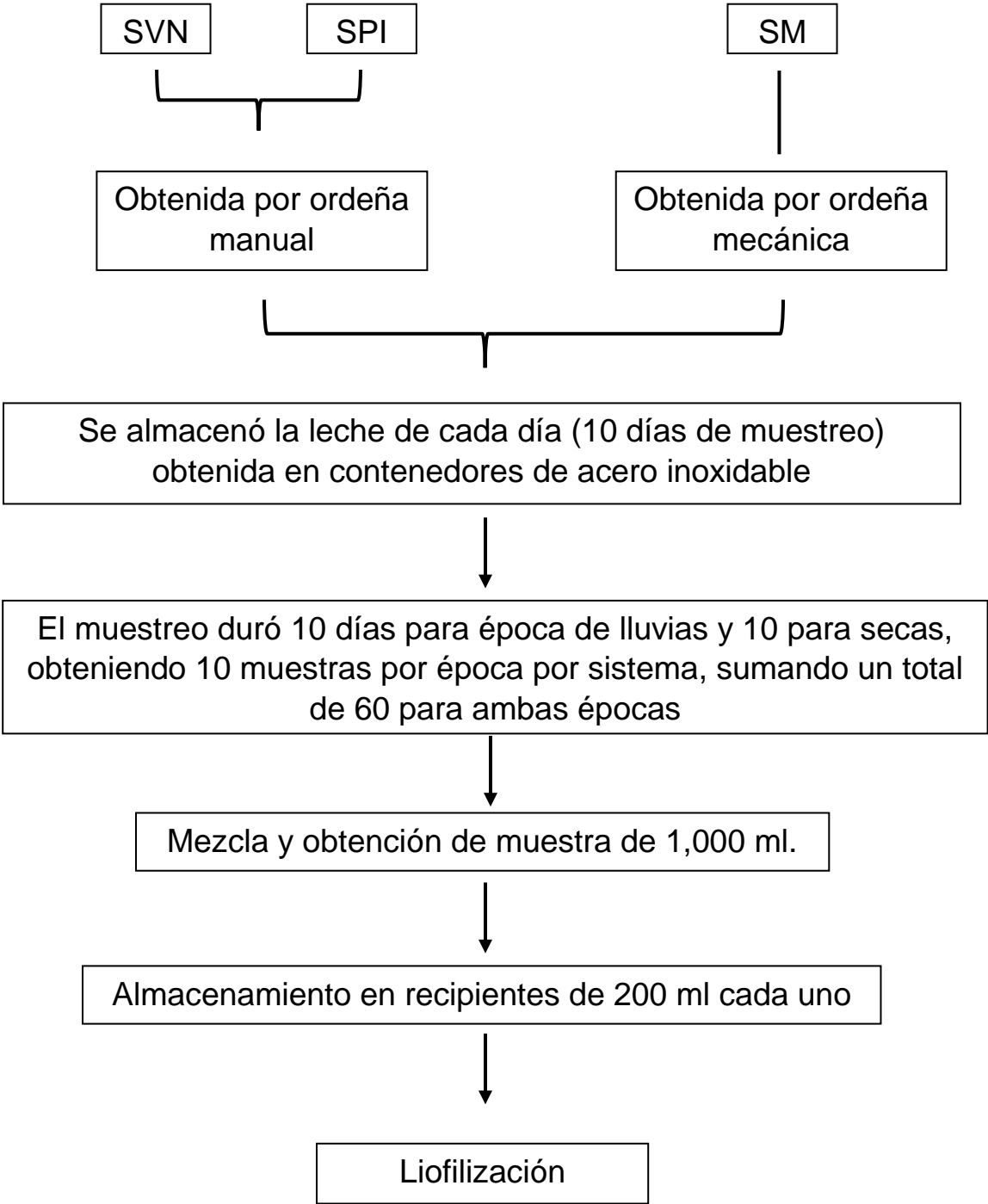
Cuadro 3. Composición química y materia seca del sistema de Vegetación nativa (SVN), Silvopastoril intensivo (SPI), y Sistema de monocultivo (SM) en época de secas (S) y lluvias (LL)

	SVN		SPI		SM	
	S	LL	S	LL	S	LL
PC (g/kgMS)	105.3	-	102	85.6	108	80.9
FDN (g/kgMS)	451	-	640	739	720	765
FDA (g/kgMS)	361	-	365	474	374	380
MS (kg/ha)	822.7	-	1631.3	3443	1144.8	3707

Dónde: SVN= Sistema de vegetación nativa; SPI= Sistema silvopastoril intensivo; SM= Sistema de monocultivo; S= Época de secas; LL= Época de lluvias; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; FDA= Fibra detergente ácida; MS= Materia seca.

Posterior a la obtención total de la leche de los tres sistemas, se mezcló la leche (cucharón de acero inoxidable, previamente lavado con agua y jabón) y se obtuvo submuestras de varios puntos de forma aleatoria para obtener la muestra representativa de 1,000 ml que se almacenó en cinco recipientes de plástico (200 ml de leche fluida) con tapa hermética para cada muestra con capacidad de 250 ml. Inmediatamente se colocaron en congeladores comerciales que se ubicaron en cada una de las producciones para después ser transportadas a la Ciudad de México en cadena fría. Posteriormente se liofilizaron las muestras, un método que se basa en la remoción de agua por medio de la sublimación de cristales de hielo en el material congelado también conocido como “secado en frío”.

Figura 3. Diagrama de colecta, almacenaje y liofilización de leche proveniente de sistema de Vegetación nativa (SVN), Silvopastoril intensivo (SPI), y Sistema de monocultivo (SM) en época de secas (S) y lluvias (LL)



4.2. Lípidos totales y perfil de ácidos grasos

4.2.1. Obtención de lípidos totales

Se pesaron 4 g de leche liofilizada previamente homogeneizada con una licuadora, pasando la muestra a un matraz de 100 ml, se agregó 60 ml de la mezcla cloroformo: etanol a concentración 1:1, se agitó por 15 segundos, repitiéndose cada 15 minutos por una hora, posteriormente se aforaron a 100 ml y se agitó el matraz por 15 segundos. Se dejaron reposar por 24 h, y posteriormente se tomó una alícuota de 25 ml y se depositó en un vaso de precipitados de 150 ml, se dejó evaporar a sequedad en baño maría a 60°C, para posteriormente meter los vasos a 100°C por 10 minutos en la estufa, se retiraron y enfriaron a temperatura ambiente, se realizaron lavados con cloroformo con ayuda de un papel filtro haciendo los lavados necesarios hasta que quedara prácticamente el vaso limpio y la muestra se pasó a un vaso de 100 ml, se volvió a evaporar a sequedad en baño maría, una vez ya hecho el proceso anterior se metió a la estufa durante 90 minutos a 100°C, se colocaron en el desecador con sílica y se pesó a peso constante los vasos (Folch et al., 1957)

4.2.2. Saponificación y metilación

Para el análisis y obtención de ácidos grasos se realizó de acuerdo con el método 969.33 AOAC (2000). El material lipídico se obtuvo con dos lavados de 1.5 mL de hexano y se pasó a matraz de 10 mL, y se aforó a 10 mL, de este matraz se pasó 1 mL de la muestra y se reconstituyó con 2 mL de hexano, se agitó y se agregó 0.5 mL de ácido miristoléico y 2 mL de sosa metanólica, se agitó en vórtex de manera muy leve por 10 segundos y se embulló a 80°C por 10 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente para posteriormente agregar 1 mL de trifluoruro de Boro, y se agitó por 10 segundos más en vórtex, se embulló 2 minutos a 80°C y se agregó 5 mL de heptano y se volvió a agitar 10 segundos en vórtex, la tercera ebullición fue de 2 minutos a 80°C y después se agregó 3 mL de solución saturada de cloruro de sodio, se agitó en vórtex por 30 segundos para poder centrifugar por

10 minutos a 800 rpm, se separó la fase orgánica pasándola a otro tubo y se evaporó a sequedad con ayuda de nitrógeno en baño maría a 60°C, se reconstituyó el material seco con 1 mL de hexano HPLC con ayuda de una pipeta automática, se pipeteó y se pasó la muestra a un vial color ámbar para la posterior inyección en cromatógrafo.

4.2.3. Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Varian, modelo CP 3380 (Varian, Inc., Palo Alto, CA, USA) con detector de ionización de flama y auto muestreador CP 8400. El gas acarreador que se empleó fue nitrógeno. Se utilizó una columna capilar DB-23 con película interna de [(50%-cianopropil)-metilpolisiloxano] como fase estacionaria de 0.25 µm de espesor y una longitud de la columna de 30 m y 0.25 mm de diámetro interno. La temperatura inicial del horno fue de 120°C manteniéndola durante 1 minuto con un incremento de 10°C por minuto hasta 200°C, sosteniéndose por 5 minutos. Posteriormente se incrementó 10°C/min hasta 220°C, después de 5 min se incrementó a 10°C/min hasta 230°C mantenidos durante 8 minutos con un tiempo total de análisis de 30 minutos. El volumen de inyección fue de 1 microlitro en el inyector en modo split con relación 30:1 y temperatura de 250°C. La temperatura del detector 280°C. La identificación de ácidos grasos se realizó comparando los tiempos de retención de la muestra con los obtenidos de la mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos C4-C24 (FAME mix C4-C24 no. 18919-1 AMP; Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, MO, USA). La concentración se calculó con base en la concentración del estándar de ácido miristoleico (C:14 9-tetradecenoic acid; Cat. no. M3525 Sigma-Aldrich Co., USA), que se utilizará como estándar (Cuchillo Et al 2010, Puga et al., 2014, 2019).

4.2.4 Índices de riesgo y de promoción a la salud

Con base en los estudios que se realizan constantemente sobre los beneficios y el aumento de la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares debido al consumo de grasas provenientes de productos de origen animal, se han propuesto diferentes índices de riesgo y de promoción a la salud, entre ellos el índice trombogénico (IT), índice aterogénico (IA), y el índice de promoción a la salud (IPS) (Chen et al., 2004; Delgadillo et al., 2014b), los cuales se calculan y describen a continuación:

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

$$AI = \frac{(C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0)}{n - 6 \text{ PUFA} + n - 3 \text{ PUFA} + \text{MUFA}}$$

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

Donde:

IT= Índice trombogénico, IPS= índice de promoción a la salud, AI= Índice aterogénico, C14:0= ácido mirístico; C16:0= ácido palmítico; C18:0= ácido esteárico; $\sum MI$ = suma de ácidos grasos monoinsaturados; n-6= contenido de ácidos grasos poliinsaturados ω -6; ω -3= ácidos grasos poliinsaturados ω -3; $\sum AGS$ = suma de ácidos grasos saturados.

4.2.5. Análisis químico proximal de la leche.

Las diferentes variables evaluadas en la leche se hicieron de la siguiente manera, la grasa butírica se obtuvo por medio de la metodología de Gerber, la cual está descrita en la NMX-F-387-1982, para la obtención de proteína en leche fluida, se utilizó la metodología descrita por Kelim (2011), para la obtención de cenizas se

utilizó el procedimiento de calcinación, el cual está disponible en la NMX-F-066-S-1978.

4.3. Análisis estadístico

El modelo estadístico usado fue el siguiente: $Y_{ijkl} = \mu + SA_i + E_j + SA \cdot E_{ij} + RT(SA \cdot E)_{ijk} + M(RT \cdot SA \cdot E)_{ijkl}$; donde Y = es la variable respuesta, μ = es el promedio; SA = sistema de alimentación (vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo) i, E= época del año (seca / lluvia) j; RT= repetición en tiempo(días); M= muestra. La comparación se realizó con una significancia ($\alpha = 0.05$) con el test de Tukey usando el macro DANDA V.2.12.025 (Saxton, 2016) para SAS (SAS, 2013).

5. RESULTADOS

En el Cuadro 4 se muestran los valores obtenidos en el análisis químico proximal (AQP) para la leche de vaca del presente experimento. Para el parámetro de grasa, el sistema silvopastoril intensivo en época de lluvias obtuvo el porcentaje más alto (4.1%) existiendo una influencia por parte del sistema de alimentación (SA) y la época (E) ($P= 0.0033$, $<.0001$) además de existir interacción entre estos dos valores ($P=<.0001$). Para el valor de proteína durante la época de lluvias en el sistema de monocultivo (SM) obtuvo el porcentaje más alto (3.6%) en comparación con los otros sistemas, habiendo una influencia por parte de la E ($P=0.0011$).

De igual forma la época de lluvias, pero en el sistema de vegetación nativa (SVN) tanto para los valores de lactosa y cenizas mostró los porcentajes más altos (6.6 y 0.77 respectivamente), mientras que para la lactosa los valores tuvieron influencia del sistema de alimentación y su interacción con la época ($P=0.0449$; 0.0311), y para las cenizas tanto el SA y la E influyeron en los valores mostrados ($<.0001$).

Para el parámetro de humedad el sistema silvopastoril intensivo en la época de secas obtuvo el valor más alto (89.2%), fue influenciado por el SA ($P=0.0078$). Por último, el valor más bajo de pH lo obtuvo el SM en lluvias (5.49), mientras que el valor más alto lo obtuvo el mismo sistema sólo que durante la época de secas (6.95), valores que tuvieron una influencia por el SA y E y la interacción entre ellos ($P=0.0043$; $<.0001$; $<.0001$).

Cuadro 4. Análisis químico proximal de la leche de vaca (%) obtenida de sistemas de alimentación de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en época de secas y lluvias

%	SVN		SPI		SM		Valores de probabilidad		
	S	LL	S	LL	S	LL	SA	E	SA*E
Grasa	2.5±0.1 ^d	3.4±0.0 ^b	1.97±0.1 ^e	4.13±0.0 ^a	2.74±0.9 ^{cd}	3.11±0.1 ^{bc}	0.5964	<.0001	<.0001
Proteína	2.4±0.1 ^b	3.3±0.1 ^a	2.4±0.1 ^b	2.9±0.1 ^{ab}	3.0±0.1 ^a	3.6±0.1 ^a	0.0273	0.0011	0.6754
Lactosa	5.5±0.1 ^b	6.6±0.1 ^a	5.7±0.2 ^b	6.0±0.1 ^{ab}	5.4±0.2 ^b	5.3±0.1 ^b	0.0449	0.0528	0.0311
Acidez*	0.1±0.00 ^b	0.2±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.00 ^b	0.5±0.0 ^a	0.0912	0.0043	0.0665
Humedad	88.7±0.7 ^a	84.1±0.3 ^{bc}	89.3±0.4 ^a	87.6±0.2 ^{ab}	84.2±2.1 ^{bc}	83.6±0.5 ^c	0.0078	0.0411	0.3476
Cenizas	0.7±0.0 ^c	0.8±0.0 ^a	0.7±0.4 ^c	0.7±0.0 ^{ab}	0.6±0.0 ^d	0.7±0.0 ^{bc}	<.0001	<.0001	0.0987
pH	6.6±0.1 ^{bc}	6.5±0.0 ^c	6.9±0.0 ^{ab}	6.1±0.0 ^d	6.9±0.0 ^a	5.6±0.0 ^e	0.0043	<.0001	<.0001

a, b, c, d, e: literales distintas indican diferencia estadística significativa (P<0.05). SVN= Sistema de vegetación nativa, SPI= Sistema silvopastoril intensivo, SM= Sistema Monocultivo, S= Época de secas, LL= Época de lluvias, SA= Sistema de alimentación, E= Época. * = medido en porcentaje de ácido láctico.

En el cuadro 5 se presenta el perfil de ácidos grasos e índices de riesgo y promoción a la salud de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en zonas tropicales subhúmedas. Los hallazgos más importantes se describen con detalle en las figuras 4 - 6.

Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en zonas tropicales subhúmedas

AG	SVN		SPI		SM		Valores de probabilidad		
	S	LL	S	LL	S	LL	SA	E	SA*E
C8:0	0.09 ^{ab}	0.01 ^a	0.03 ^{ab}	0.09 ^b	0.14 ^b	0.06 ^{ab}	0.010	0.020	0.010
C10:0	0.54 ^b	0.33 ^b	0.63 ^{ab}	0.50 ^b	0.96 ^a	0.63 ^{ab}	0.020	0.030	0.690
C11:0	0.01 ^{ab}	0.01 ^a	0.01 ^{ab}	0.01 ^{ab}	0.02 ^b	0.01 ^{ab}	0.290	0.140	0.650
C12:0	1.38 ^c	1.40 ^c	1.83 ^b	1.37 ^c	2.27 ^a	2.05 ^{ab}	<.0001	0.040	0.180
C13:0	0.06 ^a	0.05 ^b	0.07 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a	0.000	0.030	0.000
C14:0	7.86 ^d	8.72 ^{cd}	9.60 ^{bc}	8.29 ^d	10.45 ^{ab}	11.05 ^a	<.0001	0.860	0.010
C15:0	1.59 ^a	1.61 ^a	1.51 ^{ab}	1.64 ^a	1.28 ^c	1.37 ^{bc}	<.0001	0.090	0.610
C15:1	0.46 ^{ab}	0.34 ^{bc}	0.50 ^a	0.49 ^a	0.42 ^{abc}	0.30 ^c	0.010	0.020	0.010
C16:0	30.39 ^b	32.00 ^{ab}	32.64 ^{ab}	29.96 ^b	30.72 ^b	35.06 ^a	0.320	0.280	0.020
C16:1	1.28 ^a	1.46 ^a	1.24 ^a	1.47 ^a	1.29 ^a	1.36 ^a	0.890	0.030	0.690
C17:0	1.52 ^e	1.25 ^{de}	1.34 ^{cd}	1.18 ^b	1.03 ^{bc}	1.02 ^a	<.0001	0.000	0.100
C17:1c	0.58 ^a	0.42 ^b	0.47 ^{ab}	0.47 ^{ab}	0.39 ^b	0.37 ^b	0.020	0.080	0.160
C18:0	17.58 ^b	14.33 ^b	13.01 ^b	14.12 ^b	13.49 ^b	13.34 ^a	0.010	0.310	0.050
C18:1 (n9t)	3.70 ^a	3.72 ^a	3.03 ^b	3.29 ^{ab}	3.23 ^{ab}	3.52 ^{ab}	0.030	0.250	0.760
C18:1 (n-9)	27.67 ^b	29.56 ^{ab}	29.37 ^{ab}	32.44 ^a	29.60 ^{ab}	25.55 ^b	0.110	0.810	0.070
C18:2 (n-6)	0.41 ^a	0.38 ^a	0.28 ^b	0.42 ^a	0.30 ^b	0.26 ^b	<.0001	0.170	0.000
C18:2 (n-6)	2.40 ^a	1.53 ^b	2.23 ^a	2.15 ^a	2.30 ^a	1.79 ^{ab}	0.580	0.010	0.200
C18:3 (n-6)	0.06 ^{ab}	0.02 ^b	0.07 ^a	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.03 ^b	0.100	0.040	0.700
C18:3 (n-3)	0.81 ^a	0.65 ^{ab}	0.59 ^{ab}	0.58 ^b	0.62 ^{ab}	0.49 ^b	0.070	0.150	0.610
C20:0	0.46 ^a	0.39 ^b	0.39 ^b	0.39 ^b	0.33 ^c	0.32 ^c	<.0001	0.070	0.090
C20:1	0.07 ^{ab}	- 0.04 ^b	0.08 ^a	0.07 ^{ab}	0.09 ^a	0.05 ^{ab}	0.050	0.110	0.460
C20:2	0.04 ^{ab}	0.03 ^b	0.03 ^b	0.04 ^a	0.03 ^b	0.03 ^b	0.030	0.410	0.060
C20:3 (n-3)	0.11 ^a	0.08 ^b	0.08 ^b	0.07 ^b	0.07 ^{bc}	0.06 ^c	<.0001	0.000	0.010
C20:3 (n-6)	0.13 ^a	0.07 ^c	0.12 ^a	0.08 ^{bc}	0.13 ^a	0.10 ^{ab}	0.330	<.0001	0.390
C20:4 (n-6)	0.15 ^b	0.08 ^c	0.18 ^a	0.13 ^b	0.20 ^a	0.14 ^b	<.0001	<.0001	0.640
C21:0	0.01 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.060	0.490	0.930
C22:0	0.14 ^a	0.11 ^b	0.11 ^b	0.11 ^b	0.10 ^b	0.10 ^b	0.010	0.110	0.010
EPA	0.07 ^a	0.07 ^a	0.03 ^d	0.05 ^b	0.04 ^c	0.04 ^{bc}	<.0001	0.000	0.000

C22:1n9	0.01 ^{abc}	0.01 ^{ab}	0.01 ^{abc}	0.01 ^a	0.01 ^{bc}	0.00 ^c	0.020	0.410	0.270
C22:2	0.00 ^a	0.00 ^a	0.01 ^a	0.00 ^a	0.01 ^a	0.00 ^a	0.750	0.350	0.990
C23:0	0.11 ^a	0.07 ^b	0.09 ^{ab}	0.07 ^b	0.08 ^{ab}	0.06 ^b	0.270	0.010	0.310
C24:0	0.11 ^a	0.09 ^a	0.10 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.570	0.260	0.490
C24:1	0.01 ^b	0.01 ^{ab}	0.01 ^a	0.01 ^{ab}	0.01 ^b	0.01 ^{ab}	0.060	0.190	0.360
DHA	0.01 ^{bc}	0.01 ^{bc}	0.01 ^{ab}	0.01 ^c	0.02 ^a	0.00 ^c	0.380	0.000	0.030
TOTAL	99.8	98.79	99.71	99.73	99.82	99.34			
LA/ALA	2.69 ^b	2.22 ^b	3.95 ^a	3.62 ^a	3.99 ^a	3.53 ^a	<.0001	0.010	0.920
EPA/AA	0.53 ^b	0.89 ^a	0.15 ^e	0.41 ^c	0.17 ^e	0.32 ^d	<.0001	<.0001	0.000
DHA/AA	0.06 ^{ab}	0.10 ^a	0.07 ^{ab}	0.04 ^b	0.09 ^a	0.04 ^b	0.260	0.200	0.020
AA/EPA+DHA	1.65 ^d	1.08 ^e	4.66 ^a	2.37 ^c	3.60 ^b	2.70 ^c	<.0001	<.0001	<.0001
∑SFA	61.68 ^b	61.25 ^b	61.25 ^b	57.81 ^c	61.13 ^{bc}	66.19 ^a	0.010	0.700	0.010
∑MUFA	33.54 ^c	35.58 ^{abc}	34.75 ^a	38.40 ^{abc}	35.03 ^{ab}	31.11 ^{bc}	0.070	0.630	0.040
∑PUFA	4.16 ^a	2.88 ^b	3.63 ^{ab}	3.56 ^{ab}	3.78 ^{ab}	2.99 ^b	0.820	0.010	0.180
∑N3	1.03 ^a	0.81 ^{ab}	0.70 ^b	0.70 ^b	0.73 ^b	0.61 ^b	0.010	0.110	0.410
∑N6	3.11 ^a	2.07 ^c	2.90 ^{ab}	2.80 ^{ab}	3.02 ^{ab}	2.33 ^{bc}	0.550	0.000	0.150
N6/N3	2.83 ^c	2.46 ^d	4.27 ^a	3.88 ^b	4.29 ^a	3.74 ^b	<.0001	0.000	0.770
N3/N6	0.36 ^b	0.41 ^a	0.23 ^d	0.26 ^c	0.23 ^d	0.27 ^c	<.0001	<.0001	0.420
IA	1.66 ^{bc}	1.77 ^{bc}	1.96 ^b	1.54 ^c	1.93 ^b	2.41 ^a	0.000	0.560	0.000
IT	2.48 ^{bc}	2.52 ^{bc}	2.66 ^b	2.29 ^c	2.56 ^{bc}	3.25 ^a	0.000	0.260	0.000
IPS	0.61 ^{ab}	0.57 ^b	0.56 ^b	0.67 ^a	0.52 ^b	0.42 ^c	0.000	0.690	0.010

Ag: Ácidos grasos; SVN: Sistema vegetación nativa; SPI: Sistema silvopastoril intensivo; SM: Sistema de monocultivo; S: Secas; LL: Lluvias; SA: Sistema de alimentación; E: época; ∑SFA: Suma de ácidos grasos saturados; ∑MUFA: Suma de ácidos grasos monoinsaturados; ∑PUFA: suma de ácidos grasos poliinsaturados; ∑N3: suma de ácidos grasos Ω-3; ∑N6: suma de ácidos grasos Ω-6; AI: índice aterogénico $(C12:0+(4 \times C14:0)+C16:0)/(n-6PUFA+n-3PUFA+MUFA)$; TI: índice trombogénico $(C14:0+C16:0+C18:0)/((0.5MUFA)+(0.5n-6PUFA)+(3n-3PUFA)+(n-3PUFA/n-6PUFA))$; IPS: índice de promoción a la salud $(n-6PUFA+n-3PUFA+MUFA/C12:0+(4 \times C14:0)+C16:0)$. Letras en negritas indican significancia estadística.

En la cantidad de ácidos grasos saturados que se presenta en la gráfica 4A el sistema de alimentación influyó en la presencia de estos (AGS, $P=0.0082$), ácidos grasos que también una interacción por parte del sistema de alimentación con la época ($P=0.0061$), para el sistema de monocultivo (SM) durante la época de lluvias

obtuvo el porcentaje más alto, siendo distinto estadísticamente de los otros en ambas épocas.

Para los valores de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) presentados en la gráfica 4B, hubo una interacción del sistema de alimentación con la época ($P=0.0396$), donde el SM durante la época de lluvias presentó el porcentaje más bajo (31.3%), en comparación con el sistema silvopastoril intensivo (SPI) que durante la misma época contribuyó con el 38.4% de ácidos grasos monoinsaturados.

La gráfica 4C muestra los resultados para ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), únicamente la época tuvo una influencia sobre los porcentajes de estos ($E=0.0122$), siendo el sistema de vegetación nativa (SVN) y monocultivo (SM) para la época de lluvias el valor más bajo y para la época de secas en el primer sistema de alimentación el valor más alto.

En la gráfica 5A, muestra los resultados del ácido linoléico conjugado (CLA), la cual confirma la misma tendencia, donde el sistema SVN muestra que durante la época de lluvias se obtenga el valor numérico más bajo y durante la época de secas el más alto, de igual manera teniendo una influencia por la época ($E=0.0113$).

Los resultados que muestra la gráfica 5B, determinan que el sistema de alimentación tuvo influencia ($P=0.0129$) sobre la cantidad de ácidos grasos n3, siendo el SM durante la época de lluvias el que aportó el menor valor, sin embargo este es estadísticamente similar a SPI en ambas épocas y a SM en secas. Por otro lado, el SVN en secas presentó el valor más alto.

En la gráfica 5C se muestran los valores para los ácidos grasos n6 donde la época influyó ($P=0.0048$), observándose para la época de lluvias en dos tratamientos (SVN y SM) valores inferiores en comparación con la época de secas, siendo el tratamiento de SVN en lluvias el valor más bajo y el más alto en secas para el mismo sistema de alimentación.

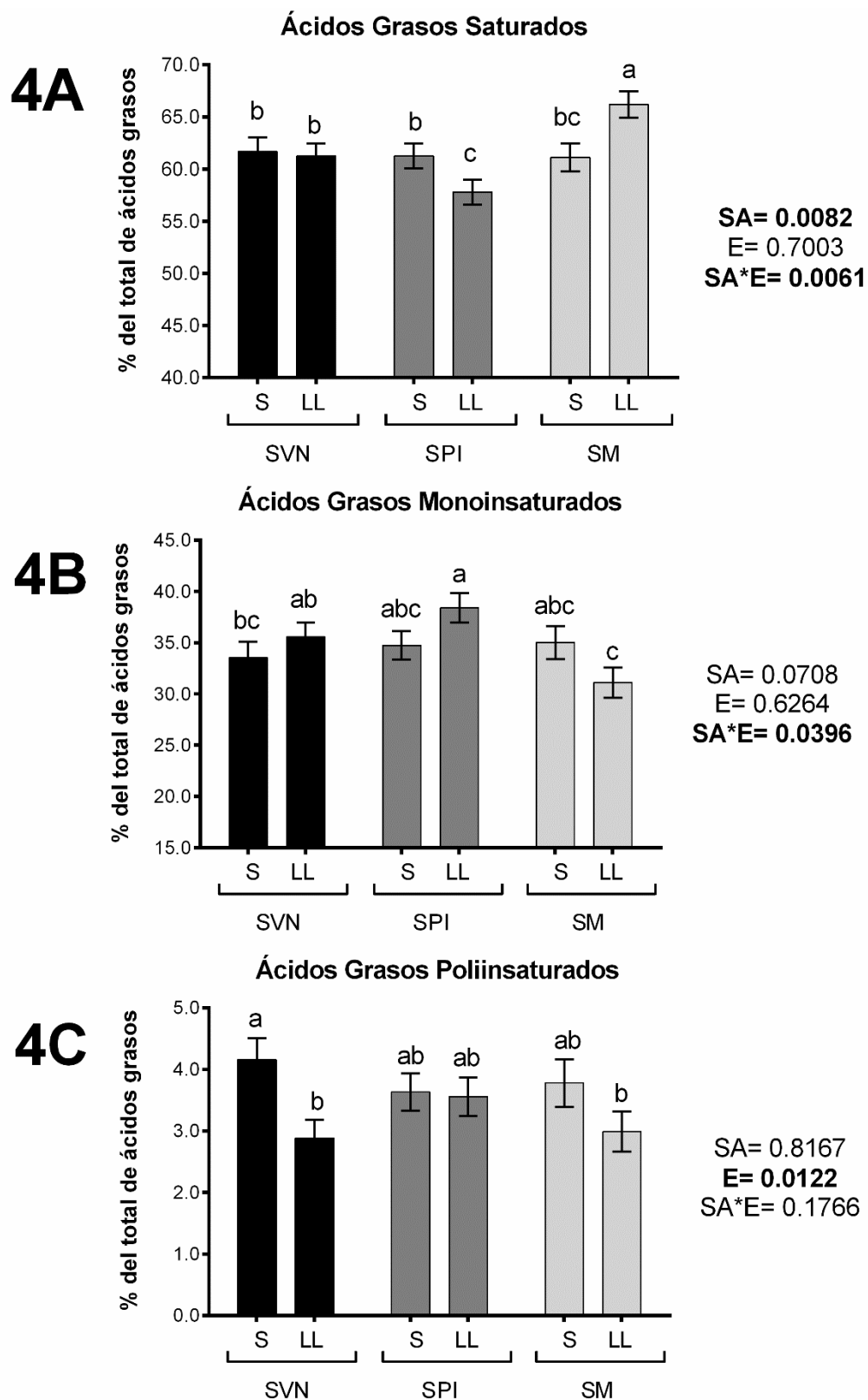


Figura 4. Ácidos grasos saturados (A), monoinsaturados (B), poliinsaturados (C), de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año (LL= lluvia, S= seca). ^{abc} Variables con distinta literal presentan diferencia estadística ($\alpha = 0.05$; promedio \pm error estándar). $n= 10$. Letras en negritas indican significancia estadística.

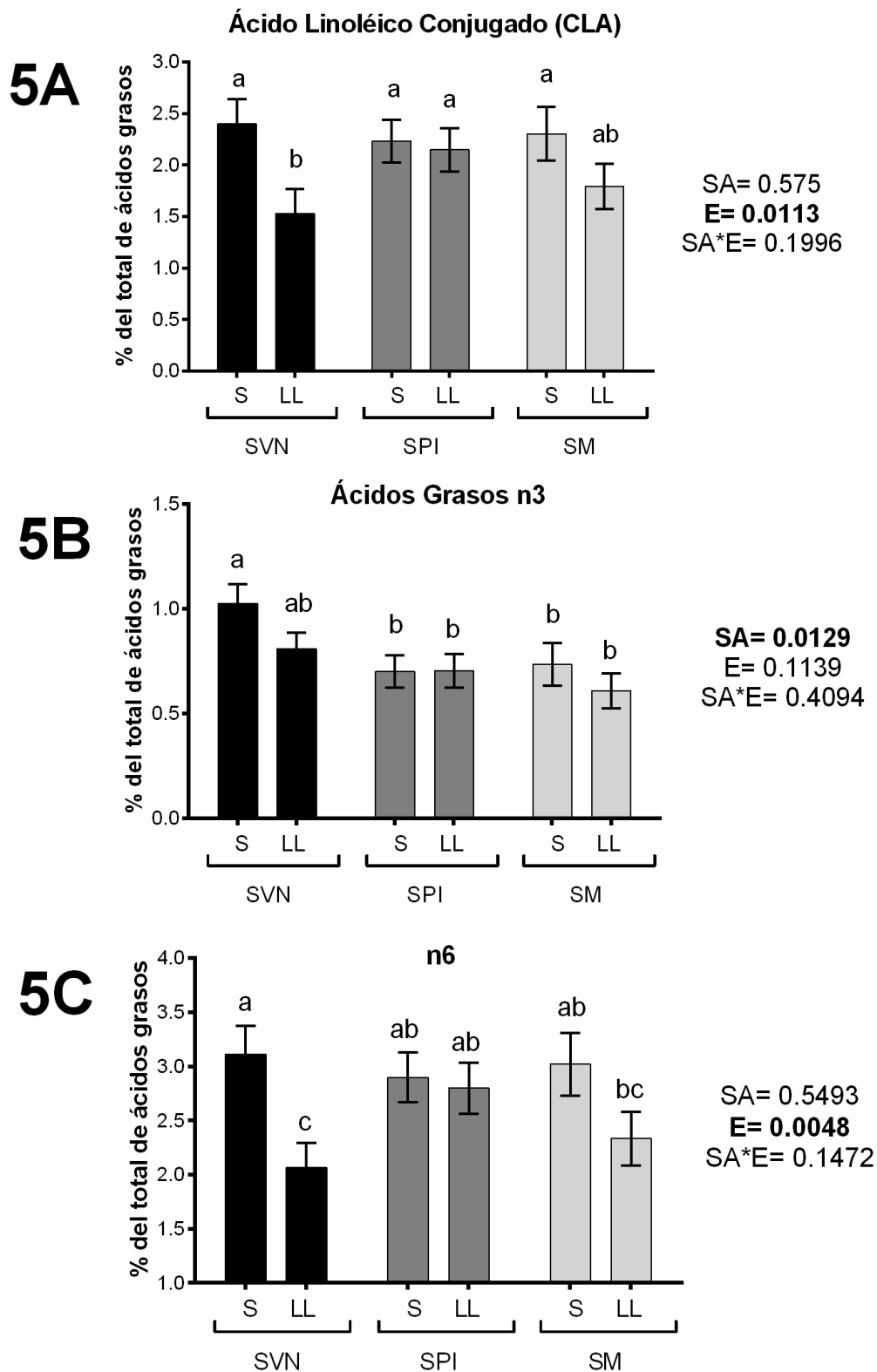


Figura 5. Ácido linoleico conjugado (CLA; **A**), ácidos grasos n3 (**B**), ácidos grasos n6 (**C**), de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año (LL= lluvia, S= seca). ^{abc} Variables con distinta literal presentan diferencia estadística ($\alpha = 0.05$; promedio \pm error estándar). $n = 10$. Letras en negritas indican significancia estadística.

En la figura 6A, se observó una influencia del sistema de alimentación ($P=0.0005$), y una interacción con la época ($P=0.0010$) en los valores para el índice aterogénico (AI), dónde en el sistema SPI en época de lluvias se obtuvo el índice más bajo (más deseable), y en la misma época en el SM se observó el valor más alto (menos deseable). Para el índice trombogénico observado en la gráfica 6B, el sistema de alimentación influyó en el índice ($P=0.0024$) y su interacción con el sistema de alimentación ($P=0.0095$), para ambos índices el valor más alto lo obtuvo el SM en la época de lluvias, en caso contrario el sistema SPI obtuvo el valor más bajo durante la misma época.

El índice de promoción a la salud (IPS) mostrado en la figura 6C, fue influenciado por el SA ($P=0.0004$) habiendo una interacción con la época ($P=0.0095$). El valor más bajo (siempre se desea un valor alto) lo obtuvo el SM en lluvias (0.4167), caso opuesto para el SPI que obtuvo el valor más alto en la época de lluvias (0.67, el más deseable).

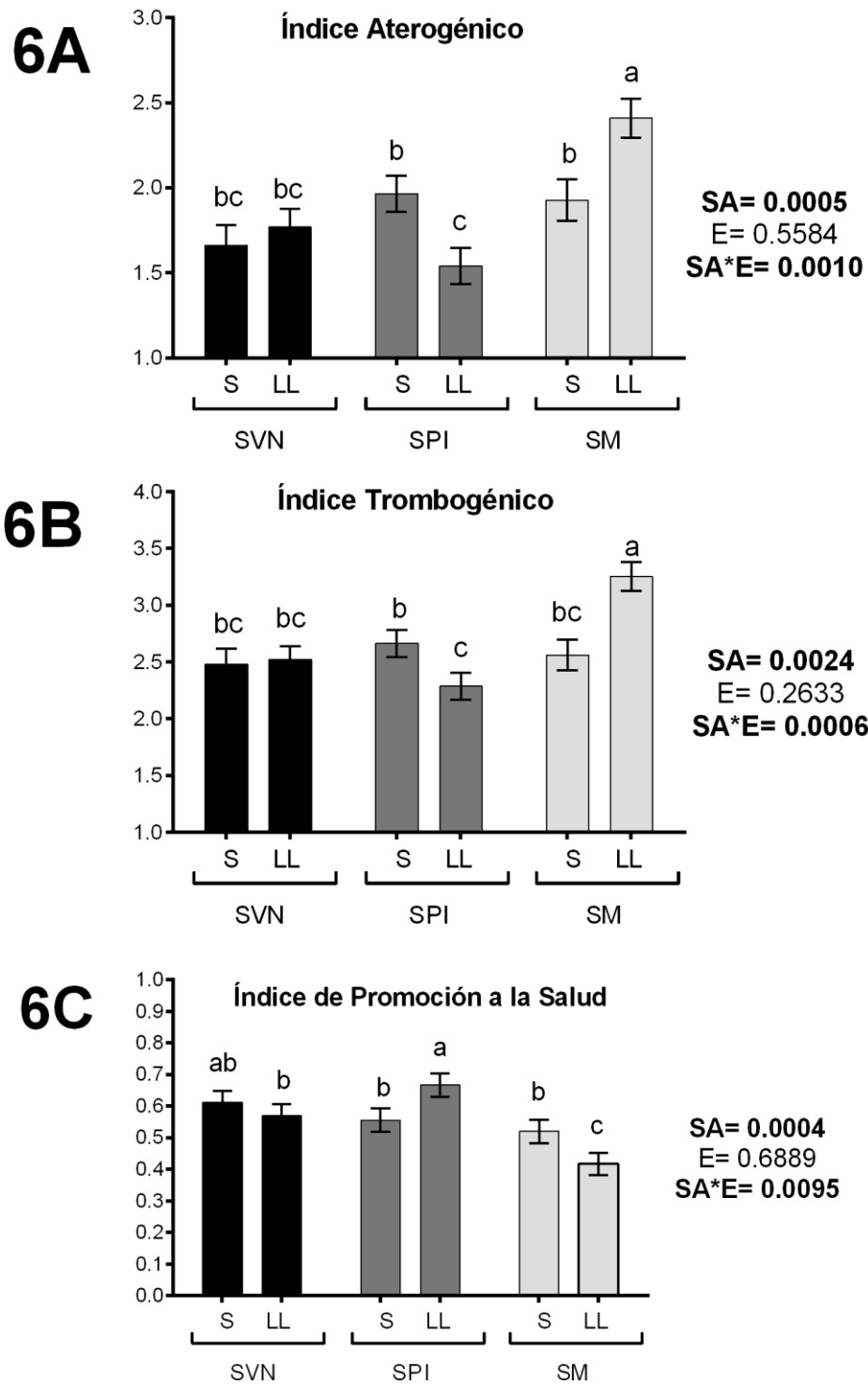


Figura 6. Índice aterogénico (A), índice trombogénico (B) e índice de promoción a la salud (C) de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa (SVN), silvopastoril intensivo (SPI) y monocultivo (SM) en zonas tropicales subhúmedas en dos épocas del año (LL= lluvia, S= seca). AI = Índice aterogénico; $C_{12:0} + (4 \times C_{14:0}) + C_{16:0} / (n-6PUFA + n-3PUFA + MUFA)$; IT = índice trombogénico; $(C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}) / ((0.5MUFA) + (0.5n-6PUFA) + (3n-3PUFA) + (n-3PUFA/n-6PUFA))$; IPS = índice de promoción a la salud $(n-6PUFA + n-3PUFA + MUFA / C_{12:0} + (4 \times C_{14:0}) + C_{16:0})$. ^{abc} Variables con distinta literal presentan diferencia estadística ($\alpha = 0.05$; promedio \pm error estándar). $n = 10$. Letras en negritas indican significancia estadística.

DISCUSIÓN

En la composición química podemos observar que el parámetro de proteína de los tres sistemas, se observó un rango de 81 hasta 108 g / kg de MS. EL SM tuvo la variación más grande es este aspecto, siendo la época de lluvia quien tiende a presentar un menor valor en relación a la época secas. Goetsch et al., (2011) menciona que la concentración de los nutrientes se verá alterada por la cantidad de MS que se esté produciendo, esto por la competencia de nutrientes que tienen los forrajes entre ellos mismos. En nuestro ensayo, podemos observar una producción de MS tres veces mayor en época de lluvias en comparación a la época de secas para SVN. En el caso de SM y en SPI más del doble. Uno de los factores asociados a este resultado, es la acumulación de forraje con mayor grado de lignificación al no ser consumido en su totalidad por el ganado (Seither et al., 2012), lo que impacta negativamente a la calidad del forraje al ser evaluado. Además, en esta época del año (lluvias), la selección del animal podría influenciar el consumo de algunos forrajes más palatales y de esta manera aumentar la presencia o abundancia relativa de forrajes con mayor fibra y menor palatabilidad (Cuchillo et al., 2017; Cuchillo et al., 2018). La producción de biomasa tiende a correlacionarse con las fracciones de fibra. En contraste con el valor de proteína, FDN y FDA son mayores en la época de lluvia. Esto podría tener efectos importantes sobre las variables de consumo (FDN) y digestibilidad (FDA). Una mayor concentración de FDN implica un menor consumo de MS, mientras que un mayor porcentaje de FDA implica una menor digestibilidad (Wrage et al., 2011). Por lo tanto, la selectividad de los animales se verá modificada al buscar mayores concentraciones de proteína combinada con valores menores de FDN y FDA en los forrajes disponibles.

En el análisis químico proximal de la leche, la época de lluvias significó un factor importante para modificar los valores de grasa, dónde el SPI en temporada de lluvias obtuvo el valor más alto (4.1). Este parámetro puede ser modificado directamente por la proporción y cantidad de los ácidos grasos volátiles (AGV) como resultado de la proporción de forraje:concentrado en la dieta del animal, la calidad de la fibra, así como el tamaño de partícula (Elgersma et al., 2006).

La lactosa fue otro parámetro evaluado, en este estudio, este disacárido fue modificado por el sistema de alimentación y su interacción con la época ($P=0.0449$; 0.0311), donde de nueva cuenta el SVN y SPI en época de lluvias mostraron los valores más altos (6.6 y 6.01 %). Se ha demostrado que los factores que alteran la cantidad de lactosa se encuentra directamente relacionada la cantidad de carbohidratos ingeridos en la dieta. De igual manera una subalimentación o el no cubrir las necesidades nutrimentales de la vaca, tendrá como consecuencia una reducción en la cantidad de lactosa considerablemente. Chavez et al. (2004) mencionaron que esto está relacionado a que la disponibilidad de biomasa en temporada de lluvias, donde es mayor en comparación con la época de secas por mayor disponibilidad de recurso hídrico en la ingesta del animal, teniendo un efecto de dilución de algunos los componentes dietarios.

Respecto al parámetro de pH en leche, el sistema de monocultivo en lluvias obtuvo el valor más bajo (menos deseable) en comparación con los demás sistemas (5.49). Elgersma et al. (2006) mencionan que dentro de los factores que modifican la acidez de la leche se encuentra un alto contenido de proteína en leche, la proliferación de bacterias ácido lácticas, descomposición de lactosa en ácido láctico. De igual manera la época junto con la temperatura ambiental se ha demostrado que modifican estos valores, por lo que al aumentar la temperatura se observara una disminución del pH. En nuestro ensayo, estos factores pueden estar involucrados y se puede corroborar al haber encontrado efecto significativo por el sistema de alimentación y la época para este parámetro de la leche ($P=0.0043$; <0.0001).

La polémica y los debates entre el consumo de productos lácteos por su alto contenido de ácidos grasos saturados (AGS) así como las consecuencias negativas del exceso de su consumo, ha promovido el estudio para lograr reducir estos AGS en la leche (Vázquez et al., 2018a). En este estudio se observó una influencia por parte del sistema de alimentación (SA) sobre estos ácidos grasos, siendo el valor más alto para el SM en la época de lluvias (66.2 %). Otros autores han obtenido valores semejantes, como lo muestra Lindmark (2008), donde reporta valores desde 67.1 % hasta 74.4 %. Sin embargo las diferencias entre los estudios radican

posiblemente en el tipo de forraje ofertado así como el origen geográfico de las muestras. Las razones por las que los valores de AGS se modifican se deben principalmente a los compuestos de la dieta y la cantidad de lípidos ingeridos en la propia dieta. Este proceso está aunado a la modificación de la lipólisis *per se*, la cual está modulada principalmente por dos grupos de bacterias asociadas; la primera es *Anaerovibrio lipolytica* la cual se encarga de la lipólisis de los triglicéridos, y *Butyrivibrio fibrisolvens* se encarga de la hidrolización de fosfolípidos y glicolípidos presentes en los forrajes.

A. *Lipolytica* produce tanto una esterasa y una lipasa, esta lipasa tiene una actividad con los triglicéridos y ácidos grasos esterificados, se encuentra en las partículas membranosas de la célula. En cambio la esterasa tiene actividad en contra de los fosfolípidos y se encuentra asociada a la célula vegetal. Ambas enzimas su mayor potencial de funcionamiento si se encuentran en un rango de pH de 6.5 a 7.5 (Henderson, 1971). Es de importancia recordar como lo menciona Baum et al. (2012b) señala que un exceso en el consumo de ácidos grasos saturados en la dieta, significa un aumento en la probabilidad del desarrollo de enfermedades cardiovasculares, teratogénicas, así como el desarrollo de enfermedades relacionadas con aumento de colesterol en sangre.

Sin embargo no todas las grasas de origen lácteo tienen efectos nocivos. Por ejemplo, Kay et al. (2005) mencionan que el ácido oleico (C18:1) es un ácido graso monoinsaturado (MUFA) con presencia en la leche, ocupando hasta un 20% del total de los MUFA. La ingesta directa de este ácido graso modifica directamente el perfil lipídico de la dieta. De igual manera la literatura menciona este puede contrarrestar o prevenir la aparición de enfermedades crónicas como diabetes, enfermedades cardiovasculares, sobrepeso y obesidad (Simopoulos, 2016)

El contenido de MUFA en nuestro estudio, el SPI en temporada de lluvias obtuvo el valor más alto, en comparación con el sistema SM, el cual mostró los valores más bajos durante la misma época. Cabe resaltar que la cantidad de MUFA estuvo influenciada por la interacción del SA con la E. Toytes et al. (2011), menciona que los factores que pueden modificar el contenido de MUFA es la movilización de

reservas energéticas, una baja concentración de isómeros en la dieta de los rumiantes (e.g. palmitoleico-C16:1, oleico-C18:1 y eicosenoico-C20:1) puede ser factor para incrementar la concentración de MUFA en la leche o facilitando la síntesis *de novo* en la glándula mamaria de estos ácidos grasos (Toyes et al., 2013).

Los valores de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y de ácido linoléico conjugado (CLA), observados en este estudio, se encontró la misma tendencia esperada, donde la época influyó en los valores obtenidos ($P=0.0122$), el sistema de vegetación nativa (SVN) en época de secas (4.2 %). Sin embargo, el SVN pero en época de lluvias, obtuvo el valor más bajo (2.9 %). Los factores que modifican el perfil de ácidos grasos poliinsaturados es principalmente el tipo de alimentación (Benbrook et al., 2018; Melesse et al., 2017; Delgadillo-Puga et al., 2019) asociado a el proceso de biohidrogenación (De Neve et al., 2018; Ventto et al., 2017; Buccioni et al., 2012). La biohidrogenación se lleva a cabo después de la lipólisis ruminal, lo que significa que la tasa de biohidrogenación será menor a la lipólisis. Los factores que alteren a la lipólisis, de igual manera afectarán la biohidrogenación. Entre ellos la cantidad de ácido linoleico conjugado (CLA) y no conjugado dietario repercute en la cantidad de PUFA y CLA en leche (Griinari et al., 2000). Sin embargo la cantidad de ácidos grasos insaturados ingeridos en la dieta difícilmente llegan al intestino delgado debido a la presencia de bacterias celulolíticas en el rumen que propician a una estabilización del pH ruminal, el cual es factor benéfico para un aumento en la producción de PUFAS (Klir et al., 2017; Benbrook et al., 2018).

Bauman y Griinari (2003) observaron que un aporte alto de PUFA en las dietas junto con una modificación o alteración de los procesos microbianos ruminales. Un aporte alto de lípidos no protegidos en la dieta, así como la adición de ionóforos disminuyen la concentración de PUFA (Klir et al., 2017). Adicionalmente un pH bajo (valor por debajo de 6.5) puede disminuir la tasa biohidrogenación y de menor manera a la lipólisis. El punto más importante de todo el proceso para llevar a cabo la biosíntesis de PUFA, es la biohidrogenación del doble enlace *trans*-11, al cual es necesario para la producción de ácido esteárico (C18:0), parte de las vías de ácido linoleico y linolénico, y del enlace *trans*-15,

necesario para la vía del ácido linolénico (Bauman et al., 2008). La baja concentración de PUFA asociado a un alto valor de SFA, está relacionados al aumento de colesterol en sangre, incrementando el riesgo de padecer infartos al miocardio, muertes por enfermedades coronarias, desarrollo de obesidad, esteatosis hepática y resistencia a la insulina (De Neve et al., 2018; Ganesan et al., 2014; Simopoulos, 2016).

Es importante mencionar que el CLA es una mezcla de isómeros de ácidos grasos de cadena larga (9*cis*, 11*trans*-18:2; 10*trans*, 12*cis*-18:2, mayoritariamente), derivados del ácido linoleico. El término “conjugado” se asocia a un grupo de isómeros cuyos dobles enlaces están separados por un grupo metílico, como producto de la biohidrogenación del ácido linoleico. Atti et al. (2006) mencionan que el consumo de CLA en productos de origen animal puede ayudar a la prevención de enfermedades cardiovasculares, una de las principales causas de muerte en México (INEGI, 2018), abarcando el 20.1% de las muertes totales, aproximadamente 141,619 decesos en el año 2017.

De acuerdo a lo mencionado por Puga et al. (2010), la época del año es uno de los factores que modifican el perfil de ácidos grasos de la leche. En nuestro estudio, los ácidos grasos de la leche de los tres sistemas de alimentación se modificaron por influencia de la época ($P=0.0122$); principalmente los ácidos grasos poliinsaturados. El sistema de vegetación nativa (SVN) en época de secas tendió a obtener el valores más altos (CLA, C18:2; 2.4 %) en comparación con la época de lluvias de lluvias (1.5 %). En época de lluvias se observó un valor mayor en comparación con la época de secas en los tres sistemas de producción. Martínez-Borraz et al. (2010) el CLA se puede modificar en la leche por dos razones principales, la primera por la síntesis a partir de la biohidrogenación en rumen sobre la catalización del ácido linoleico (C18:2) por parte de la enzima linoleato isomerasa proveniente de las bacterias *Butivibrio fibrisolvens*, y la segunda por la síntesis endógena en glándula mamaria a partir del ácido vaccénico (C18:1). Cuando este ácido vaccénico está en un aumento en la dieta y la tasa de pasaje del alimento, funciona como intermediario para la síntesis de mayor CLA (C18:2) en la grasa láctea.

Los ácidos grasos n-3 son parte del grupo de los ácidos grasos poliinsaturados, y que tienen como precursor el ácido linoléico, el cual fue modificado por la época. Estos ácidos grasos n-3 muestran beneficios a la salud, principalmente la regulación de procesos inflamatorios (Calder, 2013). En nuestro estudio, el sistema de vegetación nativa en época de secas fue el que mayor porcentaje del total de ácidos grasos obtuvo (3.1 %), caso contrario con el sistema de monocultivo en lluvias que obtuvo el valor numéricamente más bajo (2.3 %), sin embargo tanto el SPI como el SM fueron estadísticamente similares. El sistema de alimentación fue el único factor que influyó en estos valores ($P=0.0129$). La modificación de ácidos grasos n-6 se puede modificar a partir de la adición en la dieta de su principal precursor el ácido linoleico, C18:2 al ácido α -linoleico (C18:3), precursor de los ácidos grasos n-3, lo que deriva en una mayor producción de PUFA los cuales promueven una mejor en la salud humana (Juárez et al., 2019).

La preocupación por la calidad y cantidad de ácidos grasos que se consumen en diversos alimentos, se hicieron mediciones matemáticas, así como la creación de fórmulas para saber el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con el perfil lipídico de la leche (Chen et al., 2004; Ulbricht and Southgate, 1991; Delgadillo et al., 2014b). Entre los índices encontramos a el índice aterogénico (IA), índice trombogénico (IT), y el índice de promoción a la salud (HPI). Para el IA, donde se busca que sea el más bajo posible, lo que denota una mayor proporción de MUFA Y PUFA, así como un menor porcentaje de SFA. El IPS en temporada de lluvias fue el sistema con el valor más bajo, en caso contrario el SM durante la misma temporada fue el que obtuvo el valor más alto y menos deseable. Este índice (IPS) contempla la división entre el ácido láurico, mirístico y palmítico, los cuales se pueden modificar con mayor notoriedad por el estado de lactación en el que se encuentran las vacas, con los ácidos grasos insaturados (Nantapo et al., 2014).

Conclusiones

La leche obtenida de los tres sistemas de alimentación se observó una tendencia positiva en el aumento de grasa y proteína para los tres sistemas de alimentación en época de lluvias. Así mismo, el sistema de alimentación tuvo influencia sobre el porcentaje de ácidos grasos saturados, siendo el sistema de monocultivo el tratamiento que observó los valores más altos. En este mismo sistema (SM), el índice aterogénico y trombogénico obtuvo el valor más alto, así como la mayor cantidad de AGS. El valor de MUFA en el sistema silvopastoril intensivo en época de lluvias obtuvo el más alto porcentaje. Por su parte el sistema de vegetación nativa obtuvo una mayor cantidad de ácidos grasos n3. Así mismo, el sistema silvopastoril intensivo obtuvo el índice de promoción a la salud más alto. La época de seca en los tres sistemas favoreció una mayor concentración de PUFA y ácido linoleico. Sin embargo, el sistema de vegetación nativa en secas obtuvo el valor más deseable para PUFAS. Con base en estos resultados, el consumo de leche de sistema de vegetación nativa en época de secas es la más favorable en relación a los parámetros aquí evaluados. En contraste, la leche de sistema de monocultivo es el menor recomendado por su alto contenido de AGS y menor índice de promoción a la salud.

Bibliografía

- Acosta, A., Murgueitio, E., Zapata, C. & Solarte, A. 2013. Fomento de sistemas agrosilvopastoriles institucionalmente sostenibles. *FAO*.
- Améndola, L., Solorio, F. J., Ku-Vera, J. C., Améndola-Massiotti, R. D., Zarza, H. & Galindo, F. 2015. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. *Animal*, 10(5), pp 863-867.
- Atti, N., Rouissi, H. & Othmane, M. H. 2006. Milk production, milk fatty acid composition and conjugated linoleic acid (CLA) content in dairy ewes raised on feedlot or grazing pasture. *Livestock Science*, 104(1-2), pp 121-127.
- Baum, S. J., Kris-Etherton, P. M., Willett, W. C., Lichtenstein, A. H., Rudel, L. L., Maki, K. C., Whelan, J., Ramsden, C. E. & Block, R. C. 2012a. Fatty acids in cardiovascular health and disease: a comprehensive update. *Journal of Clinical Lipidology*, 6(3), pp 216-234.
- Baum, S. J., Kris-Etherton, P. M., Willett, W. C., Lichtenstein, A. H., Rudel, L. L., Maki, K. C., Whelan, J., Ramsden, C. E. & Block, R. C. 2012b. Fatty acids in cardiovascular health and disease: a comprehensive update. *J Clin Lipidol*, 6(3), pp 216-34.
- Bauman, D. E. & Griinari, J. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition*, 23(203-27).
- Bauman, D. E., Perfield, J., Harvatine, K. & Baumgard, L. 2008. Regulation of fat synthesis by conjugated linoleic acid: Lactation and the ruminant model. *The Journal of Nutrition* 138(403-9).
- Benbrook, C. M., Davis, D. R., Heins, B. J., Latif, M. A., Leifert, C., Peterman, L., Butler, G., Faergeman, O., Abel-Caines, S. & Baranski, M. 2018. Enhancing the fatty acid profile of milk through forage-based rations, with nutrition modeling of diet outcomes. *Food Science and Nutrition*, 6(3), pp 681-700.
- Bertran, V. M. 2010. Acercamiento antropológico de la alimentación y salud en México. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 20(387-411).
- Blanco, O. M. A. 2019. Antecedentes de la ganadería en México.

- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G. & Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174(1), pp 1-25.
- Calder, P. C. 2013. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology. *British journal of clinical pharmacology*, 75(3), pp 645-62.
- Calvo, M. V., Castro-Gómez, M. P. & García-Serrano, A. 2014. Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos. *Alimentación, nutrición y salud*, 21(3), pp 57-63.
- Camacho, V. J. H., Cervantes, E. F., Palacios, R. M. I., Cesín, V. A. & J., O. L. 2017. Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), pp 259.
- Cuartas, C. C. A., Naranjo, R., J. F., Tarazona, M. A. M., Murgueitio, R. E., Chará, O. J. D., Ku, V. J., Solorio, S. F. J., Flores, E. M. X., Solorio, S. B. & Barahona, R. R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(76-94).
- Cuchillo, H. M., Puga, C. D., Ocana, A. N. & Romo, F. P. 2010a. Antioxidant activity, bioactive polyphenols in mexican goats' milk cheeses on summer grazing. *J Dairy Res*, 77(1), pp 20-6.
- Cuchillo, H. M., Puga, C. D., Wrage, N. & Perez-Gil, R. F. 2010b. Feeding goats on scrubby Mexican rangeland and pasteurization: influences on milk and artisan cheese quality. *Tropical Animal Health Production*, 42(6), pp 1127-34.
- Cuchillo, H. M., Puga, D. C., Wrage, N. & Pérez-Gil, R. F. 2010c. Feeding goats on scrubby Mexican rangeland and pasteurization: Influences on milk and artisan cheese quality. *Tropical Animal Health and Production*, 42(6), pp 1127-1134.
- Cuchillo, H. M., Wrage-Mönnig, N. & Isselstein, J. 2017. Behavioral patterns of (co-)grazing cattle and sheep on swards differing in plant diversity. *Applied Animal Behaviour Science*, 191(17-23).

- Cuchillo, H. M., Wrage-Mönnig, N. & Isselstein, J. 2018. Forage selectivity by cattle and sheep co-grazing swards differing in plant species diversity. *Grass and Forage Science*, 73(2), pp 320-329.
- Chavez, M. S., Negri, L. M., Taverna, M. A. & Cuatrín, A. L. 2004. Bovine milk composition parameters affecting the ethanol stability. *Journal Dairy Research*, 71(201-206).
- Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., G Hammond, E., M Luhman, C., Boylston, T., F., a. A. E. & Beitz, D. 2004. Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(3422-8).
- Daniels, S. R. & Hassink, S. G. 2015. The role of the pediatrician in primary prevention of obesity. *Pediatrics*, 136(1), pp e275.
- De Neve, N., Vlaeminck, B., Gadeyne, F., Claeys, E., Van der Meeren, P. & Fievez, V. 2018. Promising perspectives for ruminal protection of polyunsaturated fatty acids through polyphenol-oxidase-mediated crosslinking of interfacial protein in emulsions. *Animal*, 1-12.
- Delgadillo-Puga, C., Cuchillo-Hilario, M., León-Ortiz, L., Ramírez-Rodríguez, A., Cabiddu, A., Navarro-Ocaña, A., Morales-Romero, A. M., Medina-Campos, O. N. & Pedraza-Chaverri, J. 2019. Goats' feeding supplementation with *Acacia farnesiana* pods and their relationship with milk composition: fatty acids, polyphenols, and antioxidant activity. *Animals*, 9(8), pp 515.
- Delgadillo, P. C., Castillo, D. R. M., Cuchillo, H. M., Díaz, M. M., Pérez-Gíl, R. F. & Montañó, B. S. 2015. Radical scavenging activity and health and risk fatty acid indices of soft goats' milk cheeses. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 23(1-2), pp 21-26.
- Delgadillo, P. C., Cuchillo, H. M., Galina, M. A., O.L., L., R.A., R. & C.H., L. 2017. Estrategias de alimentación en ganado caprino y su relación con el perfil de ácidos grasos, actividad antioxidante y compuestos bioactivos en la leche. In: Galina, M. H. (ed.) *El modelo Latte Nobile otra vía de producción de leche. Pastoreo, antioxidantes una medida preventiva*. Colima. Mexico.: Puerta Abierta Editores.
- Delgadillo, P. C., Cuchillo, H. M., Navarro, O. A., Medina-Campos O.N., Nieto, C. A., Lopez, T. Z. G., Díaz, M. M., Álvarez, I. M. A., Cruz, M., Y.R., Sánchez, Q. V., Gómez, F. E., Torre, V. I., Furuzawa, C. J., Camacho, C. M. R. & Pedraza-

- Chaverri, J. 2018. Phenolic compounds in organic and aqueous extracts from *Acacia farnesiana* pods analyzed by ULPC-ESI-Q-oe/TOF-MS. In vitro antioxidant activity and anti-inflammatory response in CD-1 mice. *Molecules*, 23(9), pp 2386.
- Delgadillo, P. C., Sanchez, M. B., Nahed, T. J., Cuchillo, H. M., Diaz, M. M., Solis, Z. R., Reyes, H. A. & Castillo, D. R. M. 2014a. Fatty acid content, health and risk indices, physicochemical composition, and somatic cell counts of milk from organic and conventional farming systems in tropical south-eastern Mexico. *Trop Anim Health Prod*, 46(5), pp 883-8.
- Delgadillo, P. C., Sánchez, M. B., Nahed, T. J., Cuchillo, H. M., Díaz, M. M., Solis, Z. R., Reyes, H. A. & Castillo, D. R. M. 2014b. Fatty acid content, health and risk indices, physicochemical composition, and somatic cell counts of milk from organic and conventional farming systems in tropical south-eastern Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46(5), pp 883-888.
- Elgersma, A. 2016. *Effects of grassland and grazing management on fatty acid intake and milk*
- Elgersma, A., Tamminga, S. & Ellen, G. 2006. Modifying milk composition through forage. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3-4), pp 207-225.
- Espinosa, Z. P. 2001. Aseptic technology: the revolution for milk processing and packaging. *Revista chilena de nutrición*, 28(105-120).
- FAO. 2018. Ganadería y deforestación. Available from <http://www.fao.org/3/a-a0262s.pdf>.
- FAO. 2019a. *Composición de la leche* [Online]. FAO. Available: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/> [Accessed 15 Agosto 2019].
- FAO. 2019b. El sistema alimentario en México: oportunidades para el campo mexicano en la agenda 2030 de desarrollo sostenible. Available: <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>.
- FAO. 2019c. Leche y productos lácteos. Available: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/> [Accessed Julio 2019].

- Folch, J., Lees, M. & H., S. S. G. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of biological chemistry*, 226(1), pp 497-509.
- Franco, I., Prieto, B., Bernardo, A., González, P. J. & Carballo, J. 2003. Biochemical changes throughout the ripening of a traditional spanish goat cheese variety (Babialaciana). *International Dairy Journal*, 13(2-3), pp 221-230.
- Freitas, J. J. E., Bettero, V. P., Zanferari, F., Del Valle, T. A., De Paiva, P. G., Ferreira De Jesus, E., Takiya, C. S., Leite, L. C., Dias, M. & Rennó, F. P. 2019. Ruminant fatty acid outflow in dry cows fed different sources of linoleic acid: reticulum and omasum as alternative sampling sites to abomasum. *Archives of Animal Nutrition*, 73(3), pp 171-193.
- Ganesan, B., Brothersen, C. & McMahon, D. J. 2014. Fortification of foods with omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), pp 98-114.
- García, C., Montiel, R. & Borderas, T. 2014. Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de Zootecnia*, 63(85).
- Givens, D. I. 2018. Dairy foods, red meat and processed meat in the diet: implications for health at key life stages. *Animal*, 12(8), pp 1709-1721.
- Goetsch, A. L., Zeng, S. S. & Gipson, T. A. 2011. Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), pp 55-63.
- Gómez-Cortés, P., Juárez, M. & de la Fuente, M. A. 2018. Milk fatty acids and potential health benefits: an updated vision. *Trends in Food Science & Technology*, 81(1-9).
- Gómez, D. Y. & Velázquez, R. E. B. 2019. Health and food culture in Mexico. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), pp.
- González, O. F., Pérez, P. M., Paredes, S. J. A. & de la Rosa, P. P. 2013. *Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos*. Posgrado, Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

Griinari, J. M., Corl, B. A., Lacy, S. H., Chouinard, P. Y., Nurmela, K. V. V. & Bauman, D. E. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by $\Delta 9$ -desaturase. *The Journal of Nutrition*, 130(9), pp 2285-2291.

Hassim, Lourenço, M., Goel, G., Goh, Y. & Fievez, V. 2010. Effect of different inclusion levels of oil palm fronds on in vitro rumen fermentation pattern, fatty acid metabolism and apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid. *Animal Feed Science and Technology*, 162: 155-158, 162(155-158).

Henderson, C. 1971. A study of the lipase produced by anaerovibrio lipolytica, a rumen bacterium. *Microbiology*, 65(1), pp 81-89.

Huth, P. J. & Park, K. M. 2012. Influence of dairy product and milk fat consumption on cardiovascular disease risk: a review of the evidence. *Adv Nutr*, 3(3), pp 266-85.

INEGI. 2018. Características de las defunciones registradas en México durante 2017. Available from <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/DEFUNCIONES2017.pdf>.

INEGI. 2019. *Espacio y datos de México* [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/> [Accessed 23 Septiembre 2019 2019].

Jensen, R. G. 2002. The composition of bovine milk lipids: january 1995 to december 2000. *Journal of Dairy Science*, 85(295-350).

Juárez, S. M. E., Cuchillo, H. M. & D.E., V. 2019. Dietary supplementation of inulin or flavomycin and type of cut of meat: effects on fatty acid profile, sensorial characteristics and consumer preference of rabbits meat. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), pp 552-570.

Kay, J. K., Weber, W. J., Moore, C. E., Bauman, D. E., Hansen, L. B., Chester-Jones, H., Crooker, B. A. & Baumgard, L. H. 2005. Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 88(11), pp 3886-3893.

Keith, G. P., James, L. H., Mark, J. F., David, K. M., Marion, F. & Richard, P. R. 2016. More milk from forage: milk production, blood metabolites, and forage intake of

dairy cows grazing pasture mixtures and spatially adjacent monocultures. *Journal of Dairy Science*, 99(5), pp 3512-3528.

Kelim, H., Jimenez, Y. & Núñez, M. 2011. Estimacion de la incertidumbre de la medicion para la determinacion de proteinas en alimentos por el metodo de Kjeldahl. *INGENIERIA UC*, 18(28-37).

Klir, Z., Castro-Montoya, J. M., Novoselec, J., Molkentin, J., Domacinovic, M., Mioc, B., Dickhoefer, U. & Antunovic, Z. 2017. Influence of pumpkin seed cake and extruded linseed on milk production and milk fatty acid profile in Alpine goats. *Animal*, 11(10), pp 1772-1778.

Koba, K. & Yanagita, T. 2014. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obes Res Clin Pract*, 8(6), pp e525-32.

Lindmark, M. H. 2008. Fatty acids in bovine milk fat. *Food & Nutrition Research*, 52(1), pp 1821.

Loera, J. & Banda, J. 2017. Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(1), pp 419-426.

López, O. 2017. El TLCAN y su papel en la obesidad en México. *The New York Times*.

Lordan, R. & Zabetakis, I. 2017. Invited review: the anti-inflammatory properties of dairy lipids. *J Dairy Sci*, 100(6), pp 4197-4212.

Magaña-Monforte, J. G., Ríos-Arjona, G. & Martínez González, J. C. 2006. Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), pp 105-114.

Martínez-Borraz, A., Moya-Camarena, S. Y., González-Ríos, H. & J., H. 2010. Conjugated linoleic acid (CLA) content in milk from confined Holstein cows during summer months in northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), pp 221-235.

Mauricio, R. M., Ribeiro, R. S., Paciullo, D. S. C., Cangussú, M. A., Murgueitio, E., Chará, J. & Estrada, M. X. F. 2019. Silvopastoral systems in latin america for biodiversity, environmental, and socioeconomic improvements. 287-297.

- Melesse, A., Steingass, H., Schollenberger, M. & Rodehutschord, M. 2017. Screening of common tropical grass and legume forages in Ethiopia for their nutrient composition and methane production profile in vitro. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 5(3), pp 163-175.
- Muir, J., Tedeschi, L., Dubeux Jr, J., Peters, M. & Burkart, S. 2017. Enhancing food security in latin america with forage legumes. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 25(113-131).
- Murgueitio, R. E. & Calle, Z. 1998. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. *FAO*, 27-46.
- Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámara-Cordova, J. & Grande-Cano, D. 2013. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 57(266-279).
- Nahum, M., Marín, M., Ríos, C. & Meléndez, P. 2016. Perfil de ácidos grasos lácteos en vacas lecheras postparto alimentadas con soiling o ensilaje de alfalfa bajo sistema de confinamiento. *Archivos de medicina veterinaria*, 48(29-36).
- Nantapo, C. T., Muchenje, V. & Hugo, A. 2014. Atherogenicity index and health-related fatty acids in different stages of lactation from Friesian, Jersey and FriesianxJersey cross cow milk under a pasture-based dairy system. *Food Chem*, 146(127-33).
- NOM-155-SCFI-2012. 2012. Norma oficial mexicana NOM-155-SCFI-2012, leche denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, NOM-155-SCFI-2012
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M. & Haenlein, G. F. W. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), pp 88-113.
- Patra, A. & Saxena, J. 2009. Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. *Antonie van Leeuwenhoek*, 96(4), pp 363-375.
- Plieninger, T. & Huntsinger, L. 2018. Complex rangeland systems: integrated social-ecological approaches to silvopastoralism. *Rangeland Ecology & Management*, 71(5), pp 519-525.

- Puga, C. D., Cuchillo, H. M. & Romo, F. P. 2010. Effect of feeding management and seasonal variation on fatty acid composition of mexican soft raw goats' milk cheese. *Italian Journal of Animal Science*, 8(402-404).
- Puga, D. C., Cuchillo, H. M. & Pérez-Gil, R. F. 2009. Effect of feeding management and seasonal variation on fatty acid composition of Mexican soft raw goats' milk cheese. *Italian Journal of Animal Science*, 8(2), pp 402-404.
- Ramírez, R. D. L., Flores, C. G., Galindo, M. F., Ku-Vera, J. C., Hernández, M. J. & Cuchillo, H. M. Perfil de ácidos grasos de leche proveniente de bovinos alimentados en sistemas de vegetación nativa, silvopastoril intensivo y monocultivo en zonas tropicales subhúmedas. Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola Pesquera, 23 al 26 de octubre 2019 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.: INIFAP.
- Rao, I., Peters, M., Castro, A., Schultze-Kraft, R., White, D., Fisher, M., Miles, J., Blümmel, M., Bungenstab, D., Tapasco, J., Hyman, G., Bolliger, A., Paul, B., Van Der Hoek, V., Maass, B., Tiemann, T., Cuchillo, M., Douxchamps, S., Villanueva, C., Rincon, A., Ayarza, M., Rosenstock, T., Subbarao, G., Arango, J., Cardoso, J., Worthington, M., Chirinda, N., Notenbaert, A., Jenet, A., Schmidt, A., Lefroy, R., Fahrney, K., Vivas, N., Guimaraes, E., Tohme, J., Cook, S., Herrero, M., Chocon, M., Searchinger, T. & Rudel, T. 2015. LivestockPlus: sustainable intensification of tropical forage-based systems for improving livelihood and environmental benefits. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales*, 3(2), pp 59-82.
- Rego, O. A., Rosa, H. J. D., Portugal, P., Cordeiro, R., Borba, A. E. S., Vouzela, C. M. & Bessa, R. J. B. 2005. Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid, omega-3 and other fatty acids in milk fat from grazing dairy cows. *Livestock Production Science*, 95(1-2), pp 27-33.
- Ríos, F. J. A. & Castillo, A. M. L. 2015. La competitividad de la carne fresca de res mexicana en el mercado estadounidense. *Estudios fronterizos*, 16(221-245).
- Rivera, H. J. E., Molina, B. I., Chará, O. J., Murgueitio, R. E. & Barahona, R. R. 2017. Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*, 40(171-183).
- Roldan, A. J. A., Carrasco, M. R., Guarneros, N. & Álvarez, M. 2012. *El hambre, parte de la cultura en los hogares marginales de México: los casos de la Huasteca potosina y la Sierra tarahumara*, Saarbrücken, Germany: Editorial Académica Española.

- Ronayne, P. A. 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. . *Archivos Argentinos de Pediatría*, 98(4), pp 231-238.
- Rudel, T. K., Paul, B., White, D., Rao, I. M., Van Der Hoek, R., Castro, A., Boval, M., Lerner, A., Schneider, L. & Peters, M. 2015. Forages, sustainable intensification, and food security in the tropics. *Ambio*, 44(7), pp 685-693.
- SAS 2013. *SAS/STAT® 9.4. What's New in SAS® 9.4.* , 1, Cary, North Carolina, USA: SAS. Institute Inc.
- Saxton, A. M. 2016. DANDA.sas: design and analysis macro collection. Version 2.12.025. Available at: <http://dawg.utk.edu/>. University of Tennessee, Knoxville, TN. USA.
- Seither, M., Wrage, N. & Isselstein, J. 2012. Sward composition and grazer species effects on nutritive value and herbage accumulation. *Agronomy Journal*, 104(2), pp 497-506.
- SIAP. 2018. Boletín de Leche enero-marzo 2018. Available from <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20enero-marzo%202018.pdf>.
- Simopoulos, A. 2016. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3), pp 128.
- SSA. 2018. Ratificación declaratoria de emergencia epidemiológica EE-5-2018, SSA
- Suber, M., Gutierrez, B. N., Felipe, T. C., Turriago, J., Romina, B. N., Berndt, A., Arango, J., Román, C. R. M., Margarel, B. D., Burghi, V., Cardenas, B. D., Cañada, P., Antonio, C. F., Rita, C. A., Chacón, N. M., Chará, J., Díaz, L., Huamán, F. E., Galbusera, S. & Woo, P. N. 2019. *Mitigación con sistemas silvopastoriles en latinoamérica: aportes para la incorporación en los sistemas de medición reporte y verificación bajo la CMNUCC.*
- Toyes, V. E. A. 2011. *Composición de la grasa láctea de cabras manejadas bajo tres sistemas de explotación en dos épocas del año.* Maestro en Ciencias.
- Toyes, V. E. A., Murillo, A. B., Espinoza, V. J. L., Carreón, P. L. & Palacios, E. A. 2013. Composición química y precursores de ácidos vaccénico y ruménico en especies

forrajeras en Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(3), pp 373-386.

Ulbricht, T. L. V. & Southgate, D. A. T. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), pp 985-992.

Ullah, R., Nadeem, M., Imran, M., Khan, I. T., Shahbaz, M., Mahmud, A. & Tayyab, M. 2018. Omega fatty acids, phenolic compounds, and lipolysis of cheddar cheese supplemented with chia (*Salvia hispanica* L.) oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(4), pp e13566.

Vázquez, L., Corzo-Martínez, M., Arranz-Martínez, P., Barroso, E., Reglero, G. & Torres, C. 2018a. Bioactive Lipids. In: Mérillon, J.-M. & Ramawat, K. G. (eds.) *Bioactive Molecules in Food*. Cham: Springer International Publishing.

Vázquez, L., Corzo, M. M., Arranz, M. P., Barroso, E., Reglero, G. & Torres, C. 2018b. Bioactive lipids. 1-61.

Ventto, L., Leskinen, H., Kairenius, P., Stefański, T., Bayat, A. R., Vilkki, J. & Shingfield, K. J. 2017. Diet-induced milk fat depression is associated with alterations in ruminal biohydrogenation pathways and formation of novel fatty acid intermediates in lactating cows. *British Journal of Nutrition*, 117(3), pp 364-376.

Viladomiu, M., Hontecillas, R. & Bassaganya-Riera, J. 2016. Modulation of inflammation and immunity by dietary conjugated linoleic acid. *Eur J Pharmacol*, 785(87-95).

Voet, D. V., J.J. 1992. *Bioquímica*.

Warensjo, E., Jansson, J. H., Cederholm, T., Boman, K., Eliasson, M., Hallmans, G., Johansson, I. & Sjogren, P. 2010. Biomarkers of milk fat and the risk of myocardial infarction in men and women: a prospective, matched case-control study. *Am J Clin Nutr*, 92(1), pp 194-202.

Wiles, R. 1977. Aseptic packaging and processing of products. *International Journal of Dairy Technology*, 30(3), pp 151-156.

Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, H. M., Isselstein, J. & Kayser, M. 2011. Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock

management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation*, 20(14), pp 3317–3339.

Zepeda, C. R. M., Velasco, Z. M. E., Nahed, T. J., Hernández, G. A. & Martínez, T. J. J. 2016. Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(471-488).