



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Respuesta de la grasa sobrepasante sobre lípidos lácteos y eficiencia reproductiva en vacas lecheras en trópico alto

Diana Milena David Martínez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal
Palmira, Valle del Cauca, Colombia

2017

Respuesta de la grasa sobrepasante sobre lípidos lácteos y eficiencia reproductiva en vacas lecheras en trópico alto

Diana Milena David Martínez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magíster en Ciencias Agrarias

Director (a):

DSc Rómulo Campos Gaona

Línea de Investigación:

Producción Animal Tropical

Grupo de Investigación:

Producción y Sanidad Animal - Cuyes

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal

Palmira, Valle del Cauca, Colombia

2017

(Dedicatoria o lema)

Hoy quiero dedicar este trabajo y mi título, al único ser que ha podido permitirme llegar hasta este punto. Aquel que me ha dado motivos para creer que los sueños se hacen realidad, que el verdadero amor existe y con aquel amor desbordado sobre mi vida, me ha permitido vivir cada día cargados de gozo, alegría y tranquilidad espiritual. A Ti mi Dios, sea toda a gloria y la honra, porque si hoy me siento viva es por tu gracia y tu especial forma de abrazarme, consolarme y levantarme; solo a ti te debo lo que soy, gracias por cumplir este sueño y ser mi guía y mi gran compañía durante este proceso. Con certeza sé, que más que un título profesional, hoy gano más sabiduría espiritual sobre aquellas enseñanzas aprendidas bajo tu palabra y tus principios, en especial saber que en aquel lugar donde Tú decidas ponerme, saldré victoriosa porque Tú estás conmigo.

Agradecimientos

A mi madre que con su cariño y disciplina me ha enseñado grandes valores, a ser paciente y siempre a perseverar sobre lo que quiero lograr, por ser mi amiga y mi apoyo día tras día. A mis hermanos por ser mi motivación para salir adelante y por permitirme sentir, estemos cerca o lejos, el verdadero cariño de la familia.

Al profesor Rómulo Campos, por haberme brindado todo su apoyo mediante la dirección de esta investigación, agradezco por su formación, disciplina y todo el conocimiento que me brindó; pero también agradezco por su especial personalidad, su paciencia, su respaldo, su amabilidad y sus consejos desde el momento en que inicie mis estudios de maestría.

Al profesor Edmundo Apráez, gracias por la co-dirección de esta investigación, por la formación académica que me ha brindado, desde mis estudios de pregrado hasta ahora. Gracias por su cariño y su amistad.

A Gema Zambrano, que con su particular personalidad, me ha enseñado a ser disciplinada, gracias por su apoyo en la revisión de lo escrito; pero sobre todo agradezco por su compañía durante este tiempo lejos de casa y todos sus cuidados. Gracias por ser una verdadera amiga, por escucharme y aconsejarme, por tenerme paciencia y levantarme cuando lo he requerido.

A la Gobernación de Nariño y al Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados-CEIBA, por la financiación de la beca de maestría.

Al ganadero Hans Volles propietario de la finca "San Antonio" donde se realizó esta investigación, gracias por su disposición y por permitirme trabajar con sus animales. Agradezco a don Marino mayordomo y doña María su esposa, por su especial cariño y su colaboración en el trabajo de campo.

Al profesor Leónidas Giraldo, a Katherine García y Erika Hernández, integrantes del grupo de investigación "Conservación, Mejoramiento y Utilización del Ganado Criollo Hartón del Valle y Otros Recursos Genéticos Animales en el Sur Occidente Colombiano", por su disposición en la capacitación de actividades en campo, en laboratorio y trámites administrativos.

A Mauricio Vélez por su apoyo en el análisis estadístico del proyecto.

Finalmente y no siendo menos importantes, agradezco a amigos y familiares que de alguna u otra forma me han brindado su apoyo, su cariño y todo su respaldo, a través de sus oraciones y palabras de afecto, siendo vital para lograr culminar esta meta.

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de grasa sobrepasante sobre la concentración de lípidos lácteos y la eficiencia reproductiva en vacas lecheras del trópico alto de Nariño. Para ello se seleccionaron 21 animales del cruce Holstein x Simmental, de segundo y tercer parto. Estos se distribuyeron en tres tratamientos de siete animales cada uno; Control (T1) recibió una dieta base (forraje + concentrado) sin suplemento graso; tratamiento dos (T2) dieta base más 250 g/día de grasa sobrepasante y el tratamiento tres (T3) dieta base más 250 g/día de grasa sobrepasante enriquecida con omega tres. El periodo experimental abarcó desde el día 15 preparto al día 105 de lactancia. Se determinaron concentraciones séricas de ácidos grasos no esterificados, betahidroxibutirato, colesterol, triglicéridos, glucosa proteínas totales, albumina, globulinas y urea. Además, se determinó la composición, producción de leche, condición corporal y el comportamiento reproductivo. Los resultados indicaron una adecuada movilización de tejido adiposo, observándose una mínima variación de éste durante el periodo experimental; los metabolitos sanguíneos evaluados manifiestan un comportamiento normal, no se evidenciaron alteraciones fisiológicas, ni cetosis. En cuanto a la producción y calidad composicional de la leche; no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo T2 presenta una mayor producción de leche total por lactancia estimada, mientras que en T3 se puede evidenciar un perfil lipídico diferente; con un mayor porcentaje del ácido graso C18:2, el cual representa un valor agregado para el producto final. Por su parte, los indicadores reproductivos no se vieron influenciados por los tratamientos.

Palabras clave: BEN, ácidos grasos, bypass, suplemento, Nariño

Abstract

The objective of the study was to evaluate the effect of fat bypass on milk lipid concentration and reproductive efficiency in dairy cows from the high tropic of Nariño. For doing this, 21 animals of the HolsteinxSimmental cross of second and third birth were selected. These were distributed in three treatments of seven animals each; the control treatment (T1) received a base diet (forage + concentrate) without fat supplementation; Treatment number two (T2) base diet plus 250 g / day of bypass fat and treatment number three (T3) base diet plus 250 g / day bypass fat enriched with omega three. The experimental period ranged from day 15 to day 105 of lactation. Serum concentrations of non-esterified fatty acids, betahydroxybutyrate, cholesterol, triglycerides, total protein glucose, albumin, globulins and urea were determined. In addition, the composition, milk production, body condition and reproductive behavior were determined. The results indicated an adequate mobilization of adipose tissue, observing a minimal variation of this one during the experimental period; The blood metabolites evaluated showed normal behavior, no physiological changes, or ketosis. Regarding the production and compositional quality of milk; No significant differences were found between treatments; However T2 has a higher total milk production per estimated lactation, whereas in T3 a different lipid profile can be evidenced; with a higher percentage of the C18:2 fatty acid, which represents an added value for the final product. On the other hand, the reproductive indicators were not influenced by the treatments.

Keywords: NEBAL, fatty acids, bypass, supplement, Nariño

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de graficas	XIV
Lista de tablas	XV
Introducción	1
1. Marco referencial	7
1.1 Producción de Leche en Condiciones de Trópico.....	7
1.1.1 Características de la dieta ofrecida en trópico alto.....	7
1.1.2 Influencia del clima en la producción de leche.....	9
1.2 Periodo de Transición y Balance Energético Negativo.....	10
1.2.1 Balance energético negativo.....	11
1.2.2 Desencadenamiento de Balance Energético Negativo (BEN).....	13
1.2.3 Inicio de la lactancia.....	14
1.3 Metabolismo Lipídico y Lactancia.....	16
1.3.1 Metabolismo lipídico ruminal.....	16
1.3.2 Proceso de biohidrogenación ruminal.....	17
1.3.3 Bioquímica del proceso de lipólisis.....	18
1.3.4 Bioquímica del proceso de biohidrogenación.....	19
1.3.5 Composición lipídica de la leche.....	20
1.3.6 Síntesis de lípidos en la leche.....	22
1.3.7 Depresión grasa en la leche.....	24
1.3.8 Síntesis de CLA.....	26
1.3.9 Relación de CLA y calidad de la leche.....	28
1.3.10 Relación de CLA y la actividad reproductiva.....	29
1.4 Relación Entre Balance Energético Y Actividad Reproductiva.....	30
1.5 Las grasas sobrepasantes como opción en el manejo del BEN.....	32
1.5.1 Grasa sobrepasante.....	32
1.5.2 Uso de grasas en la alimentación de bovinos.....	34
1.5.3 Tipos de grasa sobrepasante.....	35
1.5.4 Respuesta de la suplementación lipídica sobre la reproducción.....	36
1.6 Indicadores Metabólicos Y Reproductivos En Vacas Lecheras.....	37
1.6.1 Indicadores metabólicos.....	37
1.6.2 Condición corporal.....	40

1.6.3	Indicadores Reproductivos	41
2.	Metodología.....	43
2.1	Localización	43
2.2	Manejo nutricional de los animales	43
2.3	Selección de unidades experimentales y tratamientos	45
2.4	Caracterización Reproductiva	47
2.5	Análisis de muestras.....	47
2.6	Análisis Estadístico	49
3.	Resultados y Discusión.....	51
3.1	Metabolismo energético.....	51
3.2	Metabolismo asociado a nitrógeno.....	58
3.3	Producción y composición de leche	63
3.4	Actividad reproductiva.....	71
3.5	Relación costo-beneficio	72
4.	Conclusiones y recomendaciones	75
4.1	Conclusiones	75
4.2	Recomendaciones	76
	Bibliografía	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Interacción entre la reducción del consumo y los cambios hormonales, durante el período de transición.	13
Figura 1-2. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y alfa-linolénico en el rumen, junto con los grupos de microorganismos implicados. Las letras A y B indican los dos grupos de bacterias implicadas en el proceso.	19
Figura 1-3. Metabolismo de ácidos grasos en la vaca lechera.	24
Figura 1-4. Porcentaje de la síntesis del isómero 9-cis, 11-trans del ácido linoléico en glándula mamaria.	27
Figura 1-5. Mecanismos de acción propuestos a través de los cuales la suplementación con ácidos grasos poli-insaturados puede afectar la función reproductiva.	37

Lista de graficas

	Pág.
Grafica 3-1 Comportamiento de los metabolitos energéticos: Glucosa (A), Ácidos grasos no esterificados-NEFA (B), betahidroxiacetoaceto-BHB (C), Colesterol (D), Triglicéridos (E) y Condición corporal-CC (F); para los tres tratamientos, entre el día 15 parto y el día 105 post-parto.....	55
Grafica 3-2. Comportamiento de los metabolitos nitrogenados: Proteína total (A), Albumina (B), Globulinas (C) y Urea (D); para los tres tratamientos, entre el día 15 parto y el día 105 post-parto.	63
Grafica 3-3. Comportamiento de la producción de leche (A), y su composición, proteína (B), grasa (C) y solidos totales (D) para los tres tratamientos, entre los días 15 y 105 de lactancia.....	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Composición de lípidos en la leche de vaca.....	20
Tabla 1-2. Composición de la grasa láctea (g de ácido graso/100g de grasa).	21
Tabla 2-1. Composición nutricional de la mezcla forrajera.	44
Tabla 2-2. Composición nutricional porcentual del suplemento comercial preparto.....	44
Tabla 2-3. Composición nutricional porcentual del suplemento comercial lactancia.	45
Tabla 2-4. Composición grasa sobrepasante.	46
Tabla 2-5. Metabolitos analizados.....	48
Tabla 3-1. Niveles séricos medios para los metabolitos asociados al comportamiento energético, condición corporal y su significancia estadística.	51
Tabla 3-2. Niveles séricos medios de los metabolitos asociados al comportamiento de nitrógeno y su significancia estadística.....	59
Tabla 3-3. Variables asociadas a producción y composición de leche y su significancia estadística.	64
Tabla 3-4. Perfil de ácidos grasos en el componente lipídico de la leche.	67

Introducción

La lechería colombiana se ha destacado en los últimos 30 años por su dinámica, reflejada en un elevado crecimiento de la producción. Colombia produce cerca de 6717 millones de litros anuales de leche, de los cuales cerca del 48% son procesados por las grandes transformadoras de lácteos (industria formal); 30% se comercializa a través de intermediarios que la ofrecen fresca o la transforman en quesos que son utilizados en la industria de panadería, repostería y pizzerías en ciudades medianas y pequeñas; 13% se procesa en finca y se comercializa como leche cruda y queso fresco, y 9% se destina para la alimentación de los terneros y/o consumo por parte de los productores, además, el crecimiento en la producción láctea ha sido cercano al 1.5% en los últimos años, un crecimiento similar al crecimiento de la población (FEDEGAN, 2015).

La producción de leche en Colombia está dispersa por toda la geografía nacional, identificando tres cuencas lecheras de la lechería especializada, destacándose el Departamento de Nariño al sur del país, en el centro, el Altiplano Cundiboyacence y en noroccidente el Departamento de Antioquia, con hatos por encima de los 2000 m.s.n.m. considerándose como trópico alto. En estos se producen más del 70% de la leche acopiada por la industria. Además hay tres cuencas del trópico bajo, con hatos por debajo de 1200 m.s.n.m, que producen cerca del 15% del total de leche y el restante en otras regiones del país (Carulla y Ortega, 2016).

Por su parte, Solarte y Zambrano (2012) mencionan que:

La ganadería de leche en Nariño, tiene gran importancia social y económica, ya que de ella dependen directa e indirectamente millares de familias que derivan sus ingresos de esta actividad. En esta zona se distinguen dos subregiones lecheras, una subregión centro en el municipio de Pasto y sus alrededores y una segunda subregión ubicada al sur del departamento, compuesta por 14 municipios, entre los que se destacan Pupiales, Guachucal, Cumbal, Túquerres e Ipiiales. En conjunto, los hatos existentes producen más de 800 mil litros diarios,

la mayor parte de ellos en pequeñas fincas ganaderas que no superan las 10 hectáreas, ubicadas a alturas por encima de los 3000 m.s.n.m.; ello implica un manejo complejo de las ganaderías, puesto que, a esa altitud los terrenos deberían dedicarse exclusivamente a la preservación de los ecosistemas, más que a las actividades agrícolas y pecuarias (p. 540).

La región nariñense se caracteriza por poseer predios con área promedio de 25.75 ha, de estos el 25% de las fincas tienen área menor o igual a 6 ha, lo que confirma el carácter minifundista de la zona; además posee aproximadamente 10.103 hectáreas de praderas, de las cuales el 20.22% corresponden a raigráses anuales o perennes (*Lolium sp*); el 27.5% con forrajes naturales o nativos; el 36.39% con mezclas de pastos naturalizados como el azul orchoro (*Dactylis glomerata*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum* actualmente bautizado como *Cenchrus clandestinus Hochst. ex Chiov*) y falsa poa (*Holcus lanatus*) y en menor porcentaje (15.89%) se encuentran praderas de alfalfa (*Medicago sativa*), brasilero (*Phalaris sp*) y trébol (*Trifolium repens*), en mezcla con los pastos antes referenciados (Programa Mejoramiento Genético Animal, 2009). Estos forrajes, “se producen de manera intensiva, factor que ha causado deterioro de los suelos y su contaminación, principalmente por el uso de agroquímicos y por las excesivas labores tradicionales de mantenimiento de los cultivos” (Viloria, 2007, p. 87). En efecto, el detrimento del recurso suelo perjudica la alimentación base de las ganaderías lecheras, presentando deficiencias en los aportes nutricionales que debe suministrar la planta, siendo de mayor importancia el déficit energético-proteico aportado por dichos forrajes y como resultado del uso indiscriminado de fertilizantes, como el nitrógeno (N), que ejerce una solución rápida para obtener mayor cantidad de biomasa. La elevada ingestión de N aportada por los pastos, origina un mayor uso de energía por parte de la vaca para eliminar el exceso de este mineral, adicional al desgaste energético originado para mantenimiento y producción. Este desbalance energético se ve reflejado en la productividad de la ganadería, en la actividad reproductiva, aumentando días abiertos, servicios por concepción e intervalo entre partos y en la producción, bajos volúmenes y deficiente calidad composicional de la leche, principalmente en contenidos de grasa y proteína, siendo estos de gran importancia en el valor como calidad composicional de la leche para su industrialización.

Finalmente, debido a la baja calidad del suelo, se evidencia menor calidad nutricional de las praderas, lo que conlleva a suplementaciones con alimentos concentrados costosos,

los que generan mayores costos de producción. Igualmente, el deficiente manejo sanitario conduce a disminuir la productividad y competitividad del sistema productivo. Por lo tanto, se deben realizar procesos de investigación integrales, que contemplen las particularidades de la zona, especialmente de suelo, clima, topografía, tipo de animal y praderas establecidas.

El propósito de la actividad ganadera, “se basa en implementar estrategias alimenticias para ofrecer una relación energía:proteína adecuada y optimizar la utilización de nutrientes, siendo necesario utilizar suplementaciones estratégicas ajustadas a los requerimientos de los animales” (Sossa y Barahona, 2015, p. 68)

Galvis et al. (2005) menciona que:

Dado que, durante el periodo de transición, se observa de forma natural un balance energético negativo (BEN), el cual se presenta debido a la producción de leche y el bajo consumo de materia seca, lo que repercute negativamente con los días a la primera ovulación posparto; adicionalmente, las deficientes condiciones nutricionales y la alta producción de leche, ocasionan que el BEN tome magnitudes críticas, conduciendo a una exagerada movilización de reservas energéticas que produce cambios en la concentración de metabolitos y hormonas del metabolismo intermediario, las cuales interactúan con el eje hipotálamo-hipófisis-ovario y causan un retraso en la reactivación fisiológica de la reproducción; además de la pérdida homeostática por parte del animal y con ello la presencia de desórdenes metabólicos (p. 229).

Por otra parte, la producción láctea depende en gran medida del desempeño reproductivo de cada hembra, debido a que el ciclo de lactación es reiniciado o renovado por la gestación. “El reto para la industria lechera, es el sostener altos niveles de producción sin afectar los parámetros reproductivos, aunque las deficiencias sobre esta medida son multifactoriales, como por ejemplo los cambios fisiológicos, mala alimentación, alta genética, factores biológicos como sanidad y manejo en general” (Córdova y Pérez, 2005, p. 4). Adicionalmente, durante el inicio de la lactancia, “la producción de leche posee la prioridad más alta en disponibilidad de nutrientes y en consecuencia, además de los nutrientes que se encuentran en la dieta, las hembras tienden a movilizar sus reservas corporales (principalmente energía) para soportar la producción” (Galvis et al., 2005, p. 230), ya que en esta fase la vaca aún tiene el

consumo de materia seca deprimido, lo cual genera un estado de deficiencia energética donde el animal pierde peso y su habilidad para concebir se encuentra drásticamente reducida, adicional a las pérdidas en el volumen y calidad de la leche. Por lo tanto, es importante buscar alternativas nutricionales, que de una forma económica y mediante bajo suministro puedan solventar en esta fase fisiológica los requerimientos energéticos demandados por la vaca.

En las ganaderías, como alternativa de sostenibilidad y productividad, es necesario estudiar ofertas tecnológicas que suplan las necesidades energéticas de las vacas en etapa de transición y al inicio de su lactancia, logrando mejorar la calidad y volumen de la producción; para ello, las grasas sobrepasantes se convierten en una estrategia alimenticia debido a que son inertes a nivel ruminal y no comprometen la actividad celulolítica de las bacterias, generando un aporte energético importante para cubrir los requerimientos de dicho nutriente. Adicionalmente, Hernández y Díaz, (2011) indican que el suministro de grasa sobrepasante elaborada con fuentes ricas en ácidos grasos poliinsaturados, podría permitir la incorporación de ácidos grasos esenciales de gran importancia para la producción de leche, la reproducción y hasta efectos nutraceuticos que podrían verse reflejados en el producto final y con ello ayudar a mejorar la salud de los consumidores (p. 333).

Dadas las razones expuestas con anterioridad, el proyecto evaluó la incorporación de grasas sobrepasantes en las dietas de vacas de alta producción en el trópico alto de Nariño e identificó la incidencia sobre la concentración lipídica de la leche y la actividad reproductiva de las vacas, además analizó el comportamiento metabólico de las vacas en las condiciones de la región, con el fin de comprender los factores de vital importancia en los sistemas especializados de leche de la zona y de esta manera contribuir con el mejoramiento de la competitividad de los productores y la economía del sector ganadero.

Planteamiento del problema

Las ganaderías especializadas de leche del altiplano nariñense, presentan problemas nutricionales especialmente al inicio de la lactancia, a causa del desbalance energético provocado por la disminución del consumo, gracias al estado fisiológico en el cual se encuentran las vacas en esta fase y la baja calidad del alimento; lo cual conlleva a una partición de la energía reservada, con el fin de solventar las necesidades energéticas requeridas para el inicio de la producción lechera y la actividad reproductiva; todo ello obedece al bajo aporte de la dieta forrajera base y la baja o inadecuada suplementación que se realiza en los hatos. En consecuencia se evidencian mermas en la producción lechera, baja calidad en sólidos totales y al mismo tiempo un inadecuado desarrollo sobre una nueva gestación; siendo estos aspectos lo que conlleva a investigar alternativas alimentarias, que cubran las necesidades nutritivas de las vacas de alta producción y que garanticen un balance energético apropiado para una producción y actividad reproductiva.

Hipótesis

Durante el periodo de transición las vacas reducen el consumo de alimento, por lo cual podrían enfrentar un balance energético negativo, sin poder satisfacer las necesidades nutricionales de lactancia y actividad reproductiva.

La suplementación de la dieta con grasas sobrepasante, permitiría cubrir los requerimientos energéticos de la vaca para lactancia y su siguiente preñez, sin afectar la fisiología ruminal.

Las grasas de sobrepaso, sin intervenir en la fisiología del rumen, lograrían mejorar la producción y contenido graso de la leche.

El suministro de grasas sobrepasante, conseguirían mejorar el desempeño reproductivo de las vacas.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de dos grasas sobrepasantes sobre los lípidos lácteos y la eficiencia reproductiva en vacas lecheras en trópico alto.

Objetivos Específicos

Determinar el comportamiento energético y proteico, a través de indicadores metabólicos, de las vacas en evaluación.

Generar valores de referencia en los indicadores metabólicos para la zona de Nariño.

Evaluar la producción y calidad de leche, principalmente el perfil de ácidos grasos, después de la suplementación con dos tipos de grasa sobrepasante.

Determinar el comportamiento reproductivo, en cuanto a días abiertos, servicios concepción e intervalo entre partos, de las hembras suplementadas con grasa sobrepasante.

Establecer el costo-beneficio de la suplementación con grasas sobrepasante.

1. Marco referencial

1.1 Producción de Leche en Condiciones de Trópico

1.1.1 Características de la dieta ofrecida en trópico alto

En el altiplano de Nariño, la disponibilidad y la persistencia de los forrajes como fuentes de alimentación frecuentes en las fincas lecheras del trópico son muy variables. Apráez et al. (2014) indican que:

Las producciones de forraje superiores durante las épocas lluviosas, respecto a las encontradas durante la época seca, lo que ha originado la introducción de suplementos y forrajes mejorados en los hatos que los han vuelto económicamente insostenibles. Adicionalmente se ha causado el deterioro y la degradación del suelo y las praderas, que si bien mejoran los parámetros productivos, requieren gran cantidad de insumos, en su mayoría fertilizantes nitrogenados para su establecimiento, lo que afecta la economía de la finca y desgasta los recursos naturales (p. 21).

Por su parte, Apráez y Achicanoy (2015), mencionan que:

El éxito de los sistemas de producción pecuaria que basan su alimentación en pastos o forrajes implica un manejo adecuado, armonioso y racional de cada uno de los componentes suelo, planta y animal; sin embargo, este equilibrio ha sido alterado constantemente por la implementación de paquetes tecnológicos foráneos que han desplazado a los sistemas de producción tradicional, acarreado consigo el deterioro progresivo del suelo, la pérdida de una gran riqueza fito y zoogenética de recursos nativos, mayores costos de producción y empobrecimiento de las condiciones ambientales (p. 69).

Adicionalmente, Eraso et al. (2014) mencionan que otra relación importante en los sistemas productivos es suelo-pasto-clima el cual es un tema poco estudiado en el departamento de Nariño, pero de mucho interés al momento de realizar siembra de forrajes, especialmente para alimentación animal, por lo cual hay una ausencia de conocimiento suficiente acerca del valor nutritivo de las dietas forrajeras ofrecidas a estos.

Entre las especies forrajeras predominantes en las lecherías especializadas en el departamento de Nariño, se encuentra el pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hoschst ex Chiov), que en algunos casos se halla mezclado con tréboles o raigrás (*Lolium spp*). Esta especie se desarrolla bien hasta los 2800 msnm, mientras otras especies forrajeras dominan las pasturas por encima de esta altitud (Carulla y Ortega, 2016).

El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. Ex Chiov), por su parte, durante muchas décadas ha sido la base de la alimentación en los sistemas de producción no solo en Nariño, sino también en muchos sistemas de producción de lechería especializada en Colombia. Esto se debe a que su hábito de crecimiento lo hace sumamente agresivo ante la invasión de otras forrajeras, a que es resistente al pisoteo y a que responde positivamente a la fertilización orgánica y química incrementando tanto la disponibilidad de forraje como su contenido de proteína cruda, sin embargo, en cuanto a su contenido de energía, nutriente limitante dentro de estas producciones, el pasto kikuyo no es la excepción; inclusive es inferior al de los raigrases (Correa, 2011). Partiendo de ello se puede inferir que la dieta ofrecida a las vacas altamente productoras, tiene un grado de desbalance nutricional, siendo la energía, el nutrimento de más impacto. Así mismo, Vera et al. (2013) menciona que:

La disponibilidad y calidad del pasto experimenta fluctuaciones durante el año, debido a las variaciones en la precipitación pluvial. Durante la estación de seca, está disponible el pasto seco, que contiene baja concentración de proteína cruda, alta concentración de fibra detergente neutra (FDN), baja digestibilidad aparente y por tanto, baja concentración de energía metabolizable (EM). En esta etapa, el consumo de materia seca (MS) de los rumiantes se reduce, por lo que no pueden cubrir sus requerimientos de EM para el mantenimiento. Esto se traduce en un balance energético negativo lo cual repercute en bajas producciones de leche por vaca (p. 43).

Por otra parte y complementario a la dieta ofrecida en este tipo de sistemas de alta producción lechera, es evidente la suplementación con materias primas o productos comerciales. Correa (2011) indica que:

La cantidad de suplementos suministrados a las vacas en producción varía entre 1.0 kg por cada 4.5 kg de leche en las vacas de menor nivel productivo hasta 1.0 kg por cada 3.9 kg de leche en las vacas de mayor nivel de producción, sin embargo la manera como se suministra el alimento comercial en estos sistemas de producción también puede causar problemas ya que estos normalmente se ofrecen durante los ordeños y en altas cantidades durante el pico de la lactancia, generando por un lado asincronías en el suministro de los sustratos fermentables en el rumen y por otro lado, un aumento abrupto en la cantidad de carbohidratos de rápida degradación (p. 10).

En el primer caso es de esperarse un uso menos eficiente del nitrógeno de la dieta y un incremento en el nitrógeno ureico con la sangre y la leche; mientras que en el segundo caso es de esperarse un descenso marcado en el pH ruminal (Montoya et al., 2004), y consecuentemente desórdenes metabólicos.

1.1.2 Influencia del clima en la producción de leche

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2016) menciona que, en el trópico colombiano la gran diversidad climática permite la ocurrencia de altas temperaturas ambientales que sobrepasan los topes considerados como máximos, en las llamadas zonas de confort; además, existen rangos de variación en breves lapsos de tiempo, durante un mismo día (p. 1). “No obstante, como animales homeotermos, los bovinos pueden mantener la temperatura corporal dentro de ciertos límites fisiológicos; esta característica les permite cumplir con las distintas funciones fisiológicas, como son su mantenimiento, lactación y reproducción” (DANE, 2016, p. 1).

Para Echeverri y Restrepo (2009), entre los factores climáticos que conforman el medio ambiente, “la temperatura es uno de los que pueden limitar o condicionar una serie de procesos biológicos, que en condiciones tropicales adquieren su máxima importancia, pues el animal se ve obligado a recurrir a determinados mecanismos fisiológicos de regulación térmica, sacrificando su capacidad productiva” (p. 50). De hecho Leño (2009), menciona que:

Todo inicia en la influencia climática sobre el confort del animal, su producción no solo depende del suministro adecuado de alimento o la cantidad de energía consumida, sino de las condiciones de comodidad en la que se encuentre el hato. En este sentido, el clima puede influir en la producción de los bovinos de dos formas interrelacionadas; la primera de manera directa, llamada confort, en donde el animal logra el equilibrio de los procesos fisiológicos con el ambiente, lo que favorece el aprovechamiento de los alimentos; y la segunda, acción indirecta, relacionada con la producción y suministro de alimento, lo cual contribuye en el mayor o menor aprovechamiento del grado de confort.

Cabe indicar algunas adaptaciones evolutivas que muestran diferencias fisiológicas entre las especies *Bos indicus*, *Bos africanus* y *Bos Taurus*, entre las cuales se resaltan el color del pelaje y la capacidad de sudoración. “En cuanto al color de la piel, se considera una adaptación para rechazar o absorber la radiación solar; en el caso de las razas cebuinas el color blanco de la piel rechaza la luz solar, mientras que en las razas taurinas los colores negro o rojo les permiten absorber calor y tolerar el frío” (DANE, 2016, p. 2). Sin embargo, cuando la combinación de los factores ambientales como la temperatura, la humedad y el manejo persiste por períodos prolongados, “se genera un estado de respuestas fisiológicas y de comportamiento conocido como estrés; entendiéndose éste como la interacción de los factores ambientales que afectan el estado normal de bienestar del animal” (Leaño, 2009), y como consecuencia la pérdida del control homeostático del mismo, llevándolo, en las altas temperaturas a la inanición de alimento y en las bajas, a movilizar sus reservas corporales en búsqueda de la energía para su estabilidad y productividad.

1.2 Periodo de Transición y Balance Energético Negativo

“Se considera que el período donde ocurren mayores cambios a nivel metabólico, endocrino y nutricional en la vaca está comprendido entre las tres semanas antes y tres semanas después del parto, este intervalo de tiempo se denomina período de transición” (Block, 2010, p. 75).

La necesidad de una transición exitosa entre los 21 días previos y los 21 días posteriores al parto ha cobrado relevancia en el campo de la medicina de la producción “durante la última década, en la medida que investigadores y especialistas en nutrición de vacas

lecheras de alta producción continúan reconociendo la importancia de este periodo para asegurar el correcto desarrollo de la unidad feto-placenta en el último tercio de gestación” (Goff, 2006, p. 1292), mantener una apropiada condición corporal (Mulligan et al., 2006), preparar la glándula mamaria para la próxima lactancia (LeBlanc et al., 2006) y optimizar la producción de leche (Douglas et al., 2006).

Por su parte Ceballos et al. (2002) a, indican que:

Uno de los cambios fisiológicos que experimenta el animal al final de la gestación y al inicio de la lactancia es el aumento en sus requerimientos energéticos, los que pueden incrementarse hasta un 23% durante el último mes preparto, además, durante este tiempo el consumo de alimentos disminuye hasta un 30%, conduciendo a la vaca a un balance energético negativo que empieza desde un mes preparto, se acentúa en la primera semana postparto y se puede extender hasta la séptima semana postparto (p. 26).

Así mismo se conoce que la energía necesaria para producción de leche y mantenimiento de las funciones de los tejidos del cuerpo “es menor que la energía ingerida, por tal razón se presenta una movilización de los depósitos de grasa y de músculo esquelético con el fin de proporcionar nutrientes a la glándula mamaria y que ésta obtenga los sustratos necesarios para la síntesis de leche” (Reist et al., 2003, p. 1707).

1.2.1 Balance energético negativo

La disminución del consumo de materia seca (CMS) al final del período seco afecta el ingreso de nutrientes y el balance energético posparto, Villa et al. (2011) mencionan que:

Esto se asocia con un incremento de la infiltración grasa hepática. Lo anterior se traduce en un balance energético negativo (BEN) en los primeros 20 días posparto, que en algunos casos puede mantenerse dependiendo de la severidad del desequilibrio energético y el consumo de materia seca. El BEN obedece a una combinación de factores como las variaciones en el ingreso, biotransformación y egreso de los nutrientes y se puede prevenir diseñando estrategias nutricionales basadas en el conocimiento de la cantidad y calidad de los alimentos ofrecidos

para mantener el crecimiento fetal durante el último tercio de la gestación y la síntesis de leche al inicio de la lactancia (p. 353).

Jorritsma et al. (2003) observaron que “el balance energético negativo es ocasionado por una inadecuada biosíntesis hepática de glucosa” (p. 11), como lo confirman García y Montiel (2011), al indicar que “la producción hepática de glucosa es directamente proporcional al ácido propiónico biosintetizado en el rumen a partir del ácido pirúvico o del ácido láctico, del mismo modo observaron que durante el periodo de transición las bacterias ruminales, utilizadoras de dichos ácidos, aún no presentan una tasa de crecimiento adecuada, debido a la depresión del consumo y posteriormente al cambio de la dieta, por lo tanto durante esta etapa las vacas lecheras presentan deficiencias energéticas” (p. 151).

La movilización de reservas corporales durante el periodo de transición está coordinada por la vía de señalización hormona de crecimiento (GH) – Insulina – Factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1) – Glucosa, leptina y otro tipo de señalizadores. Al presentarse una disminución en la concentración de IGF-1, se genera un aumento en la concentración de GH que promueve la lipólisis y la gluconeogénesis en el hígado (Esposito et al., 2014).

En respuesta al balance energético negativo, se incrementa la lipólisis del tejido adiposo aumentando la liberación de ácidos grasos al torrente sanguíneo (Contreras y Sordillo, 2011). Los ácidos grasos son transportados en varias fracciones de lípidos entre las que se encuentran lípidos neutros (conformados por triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos y ésteres de colesterol), fosfolípidos y ácidos grasos no esterificados (NEFA, por su sigla en inglés) (Contreras et al., 2010). Los fosfolípidos y los lípidos neutros son transportados por las lipoproteínas de muy baja, baja y alta densidad (VLDL, LDL y HDL), mientras que los NEFA se movilizan unidos a la albúmina (Contreras y Sordillo, 2011). Los NEFA son los ácidos grasos de más rápida disponibilidad para ser utilizados como fuente de energía, al ser metabolizados por oxidación completa, oxidación parcial a cuerpos cetónicos, reesterificación a triglicéridos en el hígado o constituir la forma principal en la composición de grasa láctea (Contreras et al., 2010).

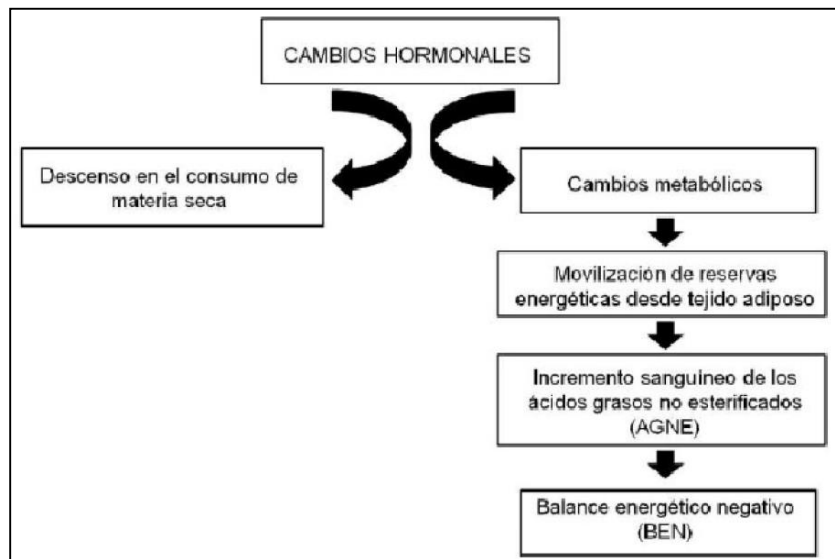
1.2.2 Desencadenamiento de Balance Energético Negativo (BEN)

Meikle et al. (2013) refiere que:

Una depresión del consumo durante el período de transición, implica cambios dramáticos para la vaca, induciendo un estado de balance energético negativo (BEN), considerado éste un mecanismo adaptativo para enfrentar la exigencia metabólica. El aumento de la gluconeogénesis hepática, la menor utilización de glucosa por parte de los tejidos periféricos, el desacople del eje somatotrófico: hormona de crecimiento (GH), factor de crecimiento similar a insulina (IGF-I) y lipomovilización, con aumento de ácidos grasos no esterificados (AGNE), son adaptaciones homeorréticas, para aumentar la disponibilidad de sustratos energéticos. Adicionalmente, finalizándose la gestación se incrementa el requerimiento de nutrientes para soportar el máximo crecimiento fetal y el inicio de la síntesis láctea, llegándose a elevar la demanda energética (p. 141).

En la figura 1-1, se esquematiza la interacción entre la reducción del consumo y los cambios hormonales, durante el período de transición, lo cual finalmente, desencadena en BEN.

Figura 1-1. Interacción entre la reducción del consumo y los cambios hormonales, durante el período de transición.



Fuente: Tomado de Hernández y Díaz (2011).

Por su parte, Fernández (2014), menciona que:

En la regulación de todas las adaptaciones fisiológicas y hormonales, participan dos mecanismos estrechamente relacionados: homeostasis y homeorresis. La regulación homeostática implica el funcionamiento de distintos mecanismos con el fin de mantener el equilibrio fisiológico. A lo largo del periodo de transición, se produce una alteración de la respuesta de los tejidos a los agentes que regulan la homeostasis metabólica como la insulina y los agentes adrenérgicos. Todos estos cambios están regulados por mecanismos homeorréticos, describiendo tres características, producidas durante el cambio metabólico que supone el periodo de transición:

- Una regulación a largo plazo, debido a que los cambios metabólicos se inician al final de la gestación y continúan hasta la lactación temprana.
- Actúa simultáneamente sobre tejidos que aparentemente no están relacionados. En la transición, las adaptaciones afectan al tejido adiposo, al músculo esquelético y al hígado.
- Actúa mediante la alteración de la respuesta a las señales homeostáticas. Ejercen influencia sobre las respuestas a la insulina y agentes adrenérgicos (p. 80).

Por lo tanto, “la producción hepática de glucosa es directamente proporcional al ácido propionico biosintetizado en el rumen a partir del ácido pirúvico o de ácido láctico” (Fernández, 2014, p. 81), por lo cual una inadecuada biosíntesis de éstos puede generar balance energético negativo.

1.2.3 Inicio de la lactancia

Para Ceballos et al. (2002)a, “todas las alteraciones de la homeostasis en el animal con el fin de aumentar la producción de leche, conllevan a un aumento en la incidencia de enfermedades metabólicas, lo que se ve agravado por la disminución en el consumo de materia seca (CMS) al inicio de la lactancia” (p. 26).

Meikle et al. (2013) manifiestan que:

Los cambios en el metabolismo de los tejidos y órganos necesarios para apoyar una función fisiológica específica, aseguran la uniformidad del flujo de nutrientes en apoyo de la lactancia. En ese estado fisiológico las vacas lecheras de alta producción tienen una utilización de nutrientes por parte de la glándula mamaria superior a la del resto del cuerpo, a tal extremo que la vaca debe ser concebida como un apéndice de la ubre y no viceversa. Este tiempo de sub-alimentación experimentado por los animales al inicio de la lactancia no solo afecta la magnitud de la respuesta residual de producción en toda la lactancia, sino que agrava el desempeño reproductivo (p.142).

García y Montiel (2011), señalan que “en condiciones de hipoglucemia, los mecanismos de regulación homeorrética le dan prioridad a la producción láctea sobre las funciones del organismo y movilizan sus reservas corporales con el fin de salvaguardar la producción y asegurar la nutrición de la cría” (p. 152).

Por otro lado, Duque et al. (2011) indican que:

El balance energético negativo en la lactancia temprana se hace más marcado cuando las condiciones nutricionales son deficientes, provocando una exagerada movilización y oxidación lipídica, denotadas en la acelerada pérdida de la condición corporal, produciéndose procesos catabólicos y provocando cambios tanto en las concentraciones de glucosa como de las hormonas relacionadas con el metabolismo intermediario de la energía. Finalmente la acelerada pérdida de condición corporal afecta el desempeño reproductivo debido a los efectos de la excesiva tasa de movilización de tejidos sobre la salud del útero y su motilidad, además de otros efectos sobre la concentración de metabolitos que influyen el balance hormonal (p. 74).

1.3 Metabolismo Lipídico y Lactancia

Durante el periodo de transición se observa una movilización de reservas corporales presente en diferentes tejidos, en especial en el tejido adiposo (Weber et al., 2013).

La alta tasa de movilización de reservas corporales conlleva al aumento en la concentración de ácidos grasos en el plasma. Estos ácidos grasos son transportados en el torrente sanguíneo por varias fracciones de lípidos, entre los que se encuentran lípidos neutros, fosfolípidos y NEFA (Gross et al., 2013).

Los ácidos grasos libres que llegan al hígado son convertidos en Acetil-CoA en la mitocondria del hepatocito por medio del proceso de β -oxidación (Wathes et al., 2009). El acetil-CoA puede ser incorporado al ciclo de Krebs para la obtención de energía en forma de ATP; sin embargo, para esto es necesario el oxalacetato, el cual proviene de precursores glucogénicos como el propionato, acetato, glicerol o determinados aminoácidos. Durante el periodo de transición el oxalacetato es insuficiente por la falta de precursores glucogénicos, y por tanto el Acetil CoA no puede ingresar al ciclo de Krebs y sufre una oxidación incompleta formando los tres cuerpos cetónicos, acetona, acetoacetato y betahidroxiacetato (Duque et al., 2011).

La lipólisis de los tejidos periféricos en el periodo de transición es una importante fuente de energía para la glándula mamaria. Una cantidad de NEFA van directamente a este tejido mientras que una proporción de estos ácidos grasos van al hígado para ser metabolizados a cetonas (acetoacetato y betahidroxiacetato), y en esta forma también pueden direccionarse a la glándula mamaria como apoyo energético para la producción de leche, adicionalmente estos lípidos pueden ser destinados a la formación de la grasa láctea convirtiéndose en precursores de los ácidos grasos que aparecerán posteriormente en la leche (Castillo et al., 2013).

1.3.1 Metabolismo lipídico ruminal

“La hidrólisis de los galactolípidos, los fosfolípidos, los sulfolípidos y los triglicéridos es el primer paso en el metabolismo de lípidos en el rumen, liberando ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados” (Castillo *et al.*, 2013, p. 459). “La digestión de las grasas a nivel ruminal inicia con el proceso de hidrólisis realizado por las lipasas, galactosidasas y fosfolipasas bacterianas, de donde se obtiene la liberación de los ácidos

grasos y el glicerol, sumados a alcoholes aminados derivados de los fosfolípidos y galactosa de los galactolípidos” (Relling y Mattioli, 2003, p. 23).

“Una alta proporción de ácidos grasos son parcial o totalmente biohidrogenados, mientras el glicerol y los otros derivados de la hidrólisis de las grasas se fermentan para ser convertidos en ácidos grasos volátiles que se absorben por la pared ruminal” (Williams y Stanko, 2000, p. 1).

“Los microorganismos no poseen la habilidad de almacenar lípidos y por lo tanto sintetizan una amplia gama de ácidos grasos de cadena impar y de cadena ramificada para la formación de sus membranas plasmáticas, utilizando como sustrato los ácidos grasos de cadena par, impar y ramificada que toman del rumen” (Van Lier y Regueiro, 2008, p. 23).

1.3.2 Proceso de biohidrogenación ruminal

Para Castillo et al. (2013):

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), particularmente, el ácido linoléico (C18:2 cis-9, cis-12, ALi) y el ácido alfa-linolénico (C18:3 cis-9, cis-12, cis-15, ALn), se encuentran en altas proporciones en los lípidos de los forrajes y de algunos suplementos. Estos ácidos forman parte de la dieta de los rumiantes y dependiendo de su concentración en la dieta, modifican el perfil de ácidos grasos de la leche y la carne. La composición de ácidos grasos en la leche y en la carne de los rumiantes, se caracteriza por la presencia de una mayor concentración de ácidos grasos saturados que insaturados, debido al proceso de biohidrogenación (BH) en el rumen. Es por esto, que el conocimiento del proceso de BH, se considera un punto crítico para modificar la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados, en la leche y en la carne (p. 461).

El síndrome de depresión de grasa en la leche, se puede atribuir al proceso de BH y a la dieta suministrada, a causa de una inhibición de la lipogénesis en la glándula mamaria por intermediarios de ácidos grasos específicos formados en el rumen con ciertas dietas ricas en almidones, alterando las vías de BH ruminal. Así mismo, la BH incluye papeles en los cambios y disponibilidad de ácidos grasos de cadena larga preformados en la glándula mamaria. Toral et al. (2015), sugieren que una escasez de 18:0 favorece la

síntesis endógena de cis-9 18: 1 en la glándula mamaria, junto con un aumento en el suministro de ácidos grasos trans formados en el rumen y que el fenómeno de depresión grasa en la leche en rumiantes, se presenta cuando hay suplementos ricos en aceite de pescado o algas marinas, mientras que dietas altas en almidón, como aceite vegetal y semillas de oleaginosas no alteran el contenido de grasa.

1.3.3 Bioquímica del proceso de lipólisis

Hassim et al. (2010) refieren que:

En rumiantes, el proceso de lipólisis ruminal lo realiza, principalmente, la especie bacteriana *Anaerovibrio lipolítica*, por la acción de las lipasas asociadas a sus estructuras membranosas externas, presentándose así un mecanismo lipolítico, estrictamente extracelular. Aunque, también se atribuye el proceso a otros microorganismos con actividad lipolítica, como lo son las especies bacteriales *Butirivibrio fibrisolvens* y *Butirivibrio LM8/1B*, esta especie se considera como la más relevante en la lipólisis, mientras que, el papel de los protozoos es reducido y con resultados muy variables y los hongos no intervienen en este proceso (p. 155).

Por su parte, Toral et al. (2013) menciona que:

En la lipólisis, los galactoacilgliceroles se hidrolizan a glicerol, ácidos grasos y galactosa; los fosfolípidos, a ácidos grasos libres, fosfato y glicerol y los triacilgliceroles, a ácidos grasos y glicerol. En seguida, el glicerol, se incorpora rápidamente a la glicólisis para la producción de piruvato, el cual, es posteriormente transformado en propionato, mediante el proceso de fermentación anaerobia. La galactosa es rápidamente fermentada y transformada en ácidos grasos volátiles y los ácidos grasos mono y poliinsaturados se biohidrogenan, todo esto ocurre a nivel de rumen (p. 48).

1.3.4 Bioquímica del proceso de biohidrogenación

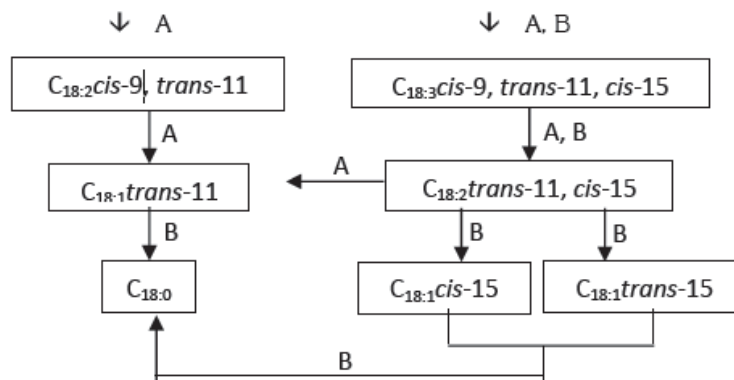
La lipólisis constituye un paso obligado antes de la BH y las bacterias son las principales responsables del proceso.

“La identificación de los intermediarios producidos y de los diferentes microorganismos ruminales que participan en el proceso de BH ruminal, ha permitido establecer su mecanismo. El proceso de BH involucra varios pasos bioquímicos, con velocidades, intermediarios y especies de bacterias características” (Castillo et al., 2013, p. 465).

Para los pasos principales de la BH, Kemp y Lander (1984), citados por Castillo et al. (2013), infieren que:

Fue necesario dividir las bacterias en dos grupos, considerando las reacciones químicas en que intervenían y los productos de la BH. El grupo A es el responsable de transformar el ácido linoléico (ALi) hasta el ácido trans-vaccénico (ATV); por su parte, el grupo B transforma el ATV en C18:0. Para el ácido alfa-linolénico (ALn), la BH es más compleja e involucra los dos grupos de bacterias en todos los pasos (Figura 1-2). Ambos mecanismos presentan, como paso inicial, la isomerización del enlace cis-12, de lo cual, resulta la formación de un intermediario químico con un sistema conjugado con isomería geométrica cis-9, trans-11 (p.466).

Figura 1-2. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y alfa-linolénico en el rumen, junto con los grupos de microorganismos implicados. Las letras A y B indican los dos grupos de bacterias implicadas en el proceso.



Fuente: Tomado de Castillo *et al.*, (2013)

“Las rutas metabólicas de la BH del ácido alfa-linolénico son más extensas, lo que sugiere que este ácido produce un mayor número de compuestos que pueden aparecer en la biohidrogenación de los ácidos grasos, como el CLA y el ATV. Por el contrario, el ácido linoléico presenta un menor número de vías de biohidrogenación, lo que indicaría que ocurre por la ruta principal y las secundarias” (Castillo et al., 2013, p. 466).

1.3.5 Composición lipídica de la leche

Para Toral et al. (2013):

La grasa de la leche está compuesta por aproximadamente un 98% de triglicéridos, de los cuales el 95% son ácidos grasos (AG). Estos AG tienen dos orígenes: la síntesis de novo en la glándula mamaria y la captación de la circulación sanguínea; esta grasa se sintetiza en su inmensa mayoría en las células secretoras de la glándula mamaria y constituye cerca del 3% del porcentaje total de sólidos de la leche. La síntesis de novo da lugar a los AG de cadena corta y media (C4:0 a C14:0 y aproximadamente un 50% del C16:0), que representan en torno al 40-50% del total secretado en la leche (p. 48).

“Adicionalmente, la grasa se encuentra en forma de partículas emulsionadas o suspendidas en pequeños glóbulos microscópicos, cuyos diámetros pueden variar de 0.1 a 0.22 micrones que se encuentran rodeados de una capa de fosfolípidos que evitan que la grasa se aglutine y pueda separarse de la parte acuosa” (Agudelo y Bedoya 2005, p.38). En la Tabla 1-1 se presenta la composición de lípidos de la leche de vaca.

Tabla 1-1. Composición de lípidos en la leche de vaca.

Lípidos	%
Triglicéridos	97.0 – 98.0
Diglicéridos	0.3-0.6
Monoglicéridos	0.2-0.4
Ácidos grasos libres	0.1 – 0.4
Fosfolípidos	0.2 – 1.0*
Colesterol	0.3-0.4
Hidrocarburos	Trazas
Ésteres de esteroides	0.02

* Incluye esfingolípidos

Fuente: Jensen (2002)

Por su parte, Angulo et al. (2009) indica que:

La composición de ácidos grasos varía entre los tipos de lípidos. Los ácidos grasos insaturados (AGI) predominan en los fosfoglicéridos (70% insaturados, 30% saturados), mientras que los saturados predominan en los triglicéridos (30% insaturados, 70% saturados), esfingolípidos (20% insaturados, 80% saturados) y glucolípidos (20% insaturados, 80% saturados). En términos generales podría decirse que la grasa de la leche bovina está compuesta por 70% AGS, 25% monoinsaturados y 5% poliinsaturados (PUFA). Sin embargo, a través del manejo y suministro de la dieta, esta composición puede ser mejorada, logrando disminuir la relación de AGS con respecto a los AGI (p. 1856).

Dentro de los ácidos grasos más encontrados se encuentran en gran proporción los saturados de cadena larga C14 a C18 componiendo alrededor de 75g / 100g de grasa en la leche, luego se encuentran los monoinsaturados, siendo el más común el C18:1 encontrándose valores de 21g/100g y en menor proporción los poliinsaturados C18:2 y C18:3 con 4g/100g de grasa. En la glándula mamaria los AG provenientes de la dieta sufren pequeños cambios como la desaturación de los ácidos C18 a C18:1 (Angulo *et al.*, 2009). En la Tabla 1-2 se observa la composición de la grasa de la leche bovina.

Tabla 1-2. Composición de la grasa láctea (g de ácido graso/100g de grasa).

Ácido graso	Denominación abreviada	Promedio	Rango
Butírico	C4:0	1.60	0.72 – 3.33
Caprónico	C6:0	1.20	0.98 – 1.71
Caprílico	C8:0	0.69	0.53 – 0.83
Cáprico	C10:0	1.56	1.29 – 1.70
Láurico	C12:0	1.95	1.67 – 2.26
Mirístico	C14:0	8.93	8.17 – 9.92
Pentadecílico	C15:0	1.16	0.99 – 1.41
Palmítico	C16:0	26.56	24.9 – 27.33
Palmitoléico	C16:1 c9	1.18	0.08 – 1.6
Esteárico	C18:0	15.62	13.53 – 17.05
Oléico	C18:1 c9 (n-9)	31.29	30.50 – 33.15
Linoléico	C18:2 c9, c12 (n-6)	1.31	1.15 – 1.57
alfa-linolénico	C18:3 c9, c12, c15 (n-3)	0.29	0.07 – 0.51
Ruménico	C18:2 c9, t11 (n-7)	1.36	0.63 – 1.95

Fuente: Tomado de Angulo et al. (2009)

1.3.6 Síntesis de lípidos en la leche

Jump (2011) menciona que:

A nivel celular, la lipogénesis requiere de una fuente de carbono para obtener adenosín trifosfato (ATP), del bicarbonato (HCO_3^-) como fuente de dióxido de carbono (CO_2), y de la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato en su forma reducida ($\text{NADPH}+\text{H}^+$) como donadora de electrones (p. 115).

Así mismo, Wakil y Abu-Elheiga (2009) indican que la síntesis de ácidos grasos inicia dentro de la mitocondria, con la producción de acetil-CoA. Por su parte, Nunes-Nesi et al. (2013) infiere que:

En las vacas lecheras este intermediario de dos carbonos, se obtiene a partir de la oxidación de los ácidos acético y butírico. No obstante, debido a que la membrana mitocondrial es impermeable al paso de la acetil-CoA, se requiere del sistema de transporte del tricarboxilato y de la acción enzimática de la citrato sintasa para convertirla en citrato y permitir su paso al citoplasma celular. Una vez dentro del citoplasma, el citrato es transformado nuevamente en acetil-CoA por la ATP-citrato liasa, obteniéndose además oxaloacetato y adenosín difosfato (p. 335).

Como el proceso para la síntesis de ácidos grasos es endergónico, “la acetil-CoA debe ser activada mediante carboxilación a través de su unión con el HCO_3^- sanguíneo en una reacción que consume ATP, y que está catalizada por la acetil-CoA carboxilasa y la biotina; como resultado de este proceso, la acetil-CoA se convierte en malonil-CoA” (Saggerson, 2008, p. 253). Por su parte, “el oxaloacetato es reducido por la malato deshidrogenasa a malato, y este a su vez, es convertido en piruvato por medio de la enzima málica, produciendo a la donadora de electrones $\text{NADPH}+\text{H}^+$ requerida para la síntesis de ácidos grasos” (Dashty, 2013, p. 1339). “A partir de la malonil-CoA, la síntesis de ácidos grasos se realiza por elongación, mediante el complejo proteico de la ácido graso sintasa” (Saggerson, 2008, p. 253). “Este complejo proteico efectúa síntesis, reducción, deshidratación, y nuevamente reducción condensando grupos de malonil-CoA con acetil-CoA” (Hiltunen et al., 2010, p. 27). Las dos reducciones mencionadas en este proceso, requieren de $\text{NADPH}+\text{H}^+$ (Dashty, 2013). “Durante la elongación se van añadiendo grupos de dos carbonos al ácido graso, obteniendo siempre como producto

final palmítico C16:0. Posteriormente, este ácido graso saturado es liberado del complejo proteico del ácido graso sintetasa, y puede ser desaturado y/o elongado para producir otras moléculas de ácidos grasos” (García et al., 2014, p. 85).

“La desaturación se lleva a cabo por enzimas como la $\Delta 9$ -estearoil-CoA desaturasa, mediante la introducción de enlaces dobles cis entre los carbonos” (Jacobs et al., 2013, p. 1508). En la fracción lipídica de la leche de vaca (Figura 1-3), Harvatine et al. (2009), indican que los ácidos grasos de C4 a C10 son sintetizados de novo en la glándula mamaria. Los AGV acético y butírico producidos por la fermentación ruminal de los carbohidratos suministrados en la dieta, “sirven como precursores, y los grupos de dos carbonos adicionados durante la elongación, provienen de los cuerpos cetónicos acetoacetato (AcAc) y β -hidroxibutirato (β -HBA) producidos en el hígado por β -oxidación mitocondrial” (Houten y Wanders, 2010, p. 469).

Los ácidos grasos de C12 a C16 son sintetizados tanto de novo en la glándula mamaria, como transportados en la sangre mediante una unión no covalente con la albúmina sérica. “En la glándula mamaria bovina, no es posible la elongación o condensación sucesiva de malonil-CoA con acil-CoA para alargar la forma del ácido graso a cadenas de más de C16, debido a que no existen las enzimas elongasas necesarias” (Harvatine et al., 2009, p. 1). Por lo que, los ácidos grasos C16 y C18 preformados, utilizados para la síntesis de la grasa láctea en la glándula mamaria tienen dos orígenes: “1) triglicéridos transportados en quilomicrones y en lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) de origen mayoritariamente intestinal, y 2) ácidos grasos no esterificados principalmente: palmítico C16:0, esteárico C18:0, y oleico C18:1 cis-9, movilizados desde el tejido adiposo” (García et al., 2014, p. 86).

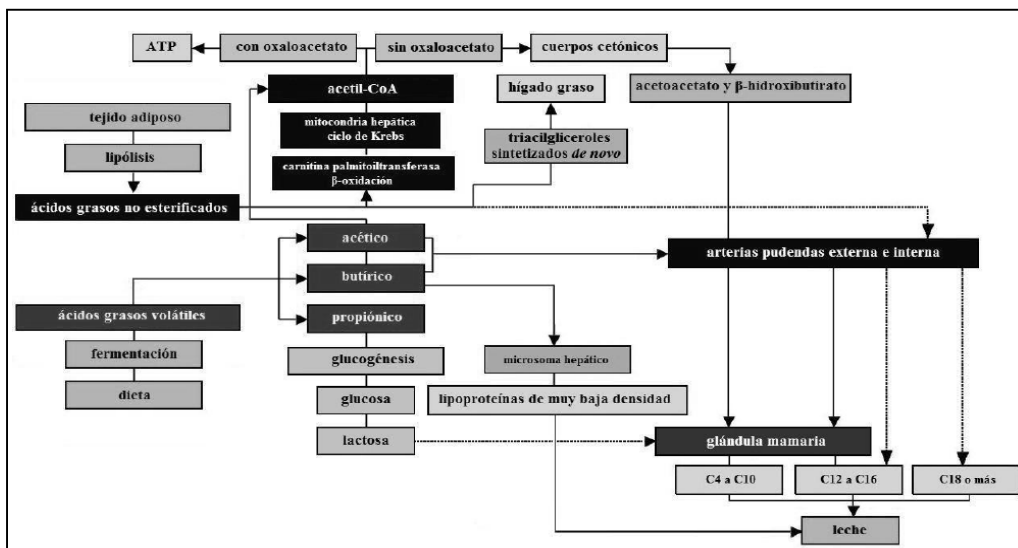
Por su parte, Bastin et al. (2011) refiere que:

Del total de ácidos grasos absorbidos en el intestino delgado, del 50 al 60 % son transferidos a la leche, donde los ácidos grasos de C16 y C18 tienden a reducir la síntesis de novo de los ácidos grasos de C4 a C10. Mientras que una cantidad elevada de ácidos grasos C18 trans inhibe la síntesis de novo y la actividad de la $\Delta 9$ -estearoil-CoA desaturasa, limitando la conversión de ácidos grasos saturados a monoinsaturados (p. 4152).

“Dentro de la leche, los ácidos grasos están presentes en forma de gotas citosólicas llamadas glóbulos grasos, con diámetros que oscilan entre 1 y 200 μm , a una concentración de alrededor de 15000 millones/mL” (El-Loly, 2011, p. 7). Así mismo Contarini y Povo (2013) indica que:

La síntesis de la grasa láctea inicia con la esterificación de ácidos grasos a una molécula de glicerol para formar triglicéridos dentro del retículo endoplasmático, seguido por una incorporación de monoacilgliceroles, diacilgliceroles, colesterol esterificado a un ácido graso, carotenoides, y vitaminas liposolubles, lo que conforma el núcleo del glóbulo graso. A continuación este núcleo es revestido por una monocapa de fosfolípidos con propiedades anfipáticas, que proyectan las colas apolares hacia los glicéridos y las cabezas polares hacia el agua (p. 2808).

Figura 1-3. Metabolismo de ácidos grasos en la vaca lechera.



Fuente: Tomado de García *et al.* (2014)

1.3.7 Depresión grasa en la leche

La concentración de grasa en la leche es muy variable y sensible a muchos factores, entre ellos la genética, la estación del año, y el estado fisiológico del animal, pero la principal fuente de variación es la dieta. La síntesis de grasa en la leche, no solo es un proceso exigente de energía, sino que también representa una parte importante del valor económico y nutricional de los productos lácteos.

La depresión de grasa de leche inducida por la dieta (MFD) es caracterizada por una disminución en el rendimiento de grasa en la leche hasta el 50% sin cambio en el volumen de leche o rendimiento de otros componentes de ésta, se observa clásicamente en los rumiantes alimentados con dietas altamente fermentables o ricas en aceites vegetales, indicando una fermentación ruminal modificada que puede asociarse a una acidosis ruminal y en consecuencia, una menor eficiencia en el trabajo ejercido por parte de las bacterias existentes a nivel de rumen. Aunque pueden influir muchos factores para que se presente MFD, los estudios se enfocan hacia el comportamiento de los animales, debido a los altos requerimientos de energía para los estados fisiológicos de la propia vaca (mantenimiento, reproducción, gestación) y el deseo de mantener una producción óptima de leche (Harvatine, 2015); adicionalmente el problema empeora debido al inadecuado manejo en la formulación de las dietas y el suministro de las mismas en las ganaderías.

Entre las teorías que postulan la causa de MFD, están las limitaciones en el suministro de nutrientes para la síntesis de grasa en la leche, en general, sobre la base de los cambios en los metabolitos absorbidos como consecuencia de alteraciones en la fermentación ruminal. Por ejemplo, las alteraciones en el medio ambiente ruminal típicamente incluyen disminución de pH y de la relación molar de acetato a propionato (Harvatine, 2015).

Por otra parte, se sugiere que la formación de ácidos grasos trans, se origina a partir de biohidrogenación ruminal incompleta de ácidos grasos insaturados, contribuyendo a desarrollar MFD. De este modo, se puede observar la relación entre ácidos grasos trans y MFD, infiriendo que MFD inducida por la dieta, se asocia con la producción de ácidos grasos en rumen, a partir del metabolismo ruminal de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de la dieta. A esto le han llamado "teoría de biohidrogenación" refiriéndose a una inhibición en la síntesis de lípidos en glándula mamaria, mediante ácidos grasos específicos, que son productos de la biohidrogenación de PUFA en la dieta, y sólo se producen en determinadas condiciones de la fermentación ruminal alterada. Trans-10, cis-12 ácido linoléico conjugado (CLA) fue el primero de ellos en ser reconocido y se ha investigado extensamente a nivel molecular (Bauman et al., 2011).

Por su parte, bajo ciertas condiciones de la dieta tales como altas raciones en concentrado y bajas en fibra, "el perfil de CLA puede ser alterado de forma que las

concentraciones del isómero 10-trans, 12-cis se incrementan en la grasa de la leche. Este isómero se aumenta cuando existe un cambio en el medio ambiente ruminal y provoca disminución en la cantidad de grasa de la leche” (Sossa et al., 2009, p. 2). No obstante, al suministrarse grasa sobrepasante en la dieta de bovinos, por ser inerte al rumen, no se percibe síndrome de MDF; ya que su función metabólica actuará a partir del intestino delgado mediante su absorción, siendo de vital importancia para suplir requerimientos energéticos del animal.

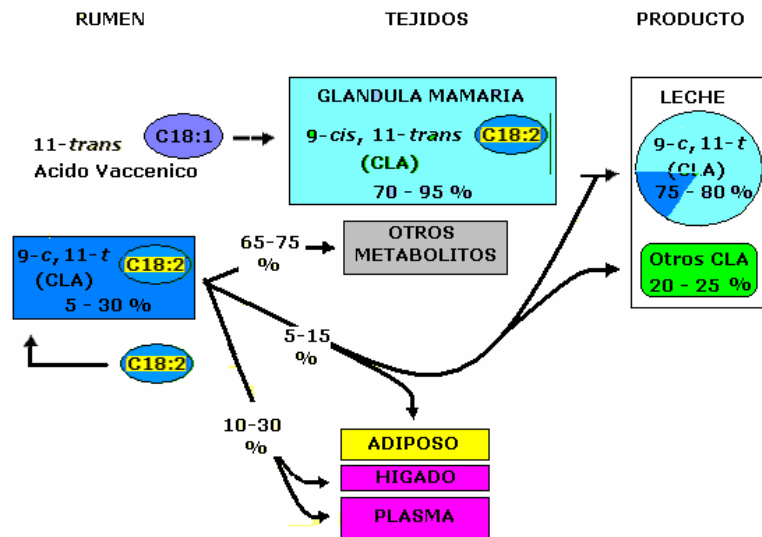
1.3.8 Síntesis de CLA

“Los isómeros del ácido linoléico se sintetizan por medio de enzimas microbianas e intratisulares en animales, como sucede en forma natural en los rumiantes” (Sossa et al., 2009, p. 2).

Para Martínez et al. (2010):

Hasta hace pocos años se pensaba que el CLA, que se encuentran en la grasa de leche y la carne de rumiantes, sólo se producía por la biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen, catalizada por la enzima linoleato isomerasa de la bacteria *Butirivibrio fibrisolvens*. Actualmente se sabe que el CLA presente en la grasa láctea tiene dos orígenes; una fracción procede de la biohidrogenación de ácido linoléico en el rumen y la otra se sintetiza de manera endógena en la glándula mamaria por acción de la enzima delta 9-desaturasa. Ésta, sintetiza el CLA a partir de ácido vaccénico, el cual es otro intermediario de la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados como linoleico y linoléico en su ruta hacia su conversión en ácido esteárico en el rumen (p. 221).

Figura 1-4. Porcentaje de la síntesis del isómero 9-cis, 11-trans del ácido linoléico en glándula mamaria.



Fuente: Tomado de Sossa et al. (2009)

Por otra parte Sossa et al. (2009) indica que:

Los CLA y algunos conjugados del dihomoy-linolénico son elementos que se incorporan al tejido adiposo y mamario por sus altos niveles de grasas neutras. El isómero de CLA 9-cis, 11-trans, llamado ácido ruménico, constituye del 80 al 90% del total de CLA. Por su parte, el isómero 9-cis, 11-trans implica un 75 a 80% del total de CLA de la grasa de la leche, del cual el 70 al 95% es sintetizado en la glándula mamaria vía C18:1 11-trans (Figura 1-4). Este isómero es un intermediario de la BH del ácido linoléico y el CLA 9-cis, 11-trans es el principal isómero detectado en tejidos animales en la fracción fosfolipídica de la membrana celular (p. 3).

Así mismo, Sossa et al. (2009) manifiesta que:

El segundo isómero de CLA que prevalece en la leche es el C18:2 7-trans, 9-cis, su origen es generalmente endógeno; en su síntesis interviene el C18:1 7-trans producido en el rumen; otros CLA en la grasa de la leche están presentes en muy pocas cantidades, son originados en rumen por medio de la BH. El 10-trans, 12-cis se sintetiza también en el rumen en condiciones alimenticias cambiantes, involucrando al C18:1 11-trans (p.4).

Es importante tener en cuenta que la producción de grasa de la leche depende del equilibrio entre el aumento en la transferencia de los AG de la dieta a la glándula mamaria y la disminución de la síntesis de novo. Una disminución en la síntesis de AG dentro de la glándula mamaria, se observa a menudo, cuando se añaden fuentes suplementarias de AG a la dieta de vacas lecheras en lactación (Prieto et al., 2016)

1.3.9 Relación de CLA y calidad de la leche

Gutiérrez et al. (2010) manifiesta que:

El CLA es un término genérico que describe los isómeros geométricos y posicionales del ácido linoléico (C18:2), uno de los ácidos grasos esenciales. De los 28 isómeros del CLA identificados, los ácidos cis-9,trans-11,octadecadienoico (C18:2 c9 t11) y trans-10,cis-12,octadecadienoico (C18:2t10c12) han demostrado tener efectos protectores contra varias enfermedades comunes como la obesidad, la arteriosclerosis, la diabetes, ciertas enfermedades inflamatorias crónicas y el cáncer, así mismo se han realizado diversos estudios con el ánimo de evaluar los factores que afectan el contenido de CLA en la leche y los derivados lácteos, dada la creciente popularidad que han alcanzado los alimentos funcionales en los últimos años; sugiriendo que la concentración de CLA en los productos lácteos, depende principalmente de la concentración de estos isómeros en la leche desde su ordeño, y de las reacciones que se puedan suceder durante los procesos de transformación (p. 5685).

Por otra parte, Sosa et al. (2009) indica varios estudios, en los cuales citan a diferentes investigadores y trabajos en los que relacionan los efectos funcionales del CLA, entre ellos:

El efecto anticarcinogénico y como un posible nutraceutico, al estudiar el desarrollo de tumores en ratas alimentadas con CLA, sugiriendo que el consumo permitió que en el 1%, desarrollaran tumores mucho más pequeños y en algunos casos ocurrió necrosis de la masa tumoral. En cuanto a un efecto antiarterioesclerosis, en investigaciones con hámsteres alimentados con dietas altas en colesterol, al ser suplementados con 0.05% (del peso vivo) de CLA, indicaron una reducción significativa de los niveles de colesterol sérico (-26%), LDL-colesterol (-27%) y triacilglicéridos (-28%), y ningún efecto sobre el HDL-

colesterol. Por su parte, en el efecto como promotor de desarrollo muscular, estudiado en ratas que fueron alimentadas con CLA durante la etapa de gestación y lactancia, se observaron mayores valores de ganancia de peso corporal postnatal en sus crías en comparación con los animales testigo (sin adición de CLA). Otro efecto, es la actuación en la deposición de grasa corporal, evaluado en lechones alimentados con una dieta con contenido de CLA, presentando menos grasa corporal y más masa muscular magra comparados con el lote testigo. Los animales tratados con CLA muestran una reducción en la acumulación de la grasa en el cuerpo en varias especies, tanto con dietas altas como en dietas bajas en grasa; el isómero responsable de este efecto es el 10-trans, 12-cis aún con dosis de 0.15% son efectivas (p. 5).

1.3.10 Relación de CLA y la actividad reproductiva

Últimamente, los investigadores se han centrado principalmente en los isómeros cis-9, trans-11 y el trans-10, cis-12. Estos isómeros suplementados en la alimentación, en una forma protegida a la digestión en el rumen, de vacas lecheras en transición, reduce el balance energético negativo y la concentración de NEFA y BHB en la sangre; Además, aumenta proteínas de fase aguda negativas como lo es la albúmina, así mismo el colesterol y como algo externo, aumenta el consumo de materia seca (Esposito et al., 2013).

En cuanto a la actividad reproductiva, López et al. (2013) indica que, la suplementación de CLA tiene efectos benéficos sobre los índices de fertilidad, incluyendo la reducción del intervalo a la primera ovulación, elevados niveles de progesterona en plasma durante la fase lútea temprana, incremento de IGF-1 en plasma y el incremento en la tasa de preñez (p. 339).

Por su parte Esposito et al. (2014) menciona que:

La adición de AG de cadena larga y CLA también tienen eventos moduladores de la producción de progesterona (P4) por medio del incremento en la disponibilidad del colesterol, la reducción en la síntesis de prostaglandinas (PGF2 α) en el útero, y posiblemente la alteración de la secreción GH e IGF. El hecho de que las vacas lecheras complementadas con grasa frecuentemente tengan incrementos en la concentración plasmática de P4, indica que la disponibilidad de colesterol

promueve su mayor secreción en las células luteotrópicas del ovario. La función principal del cuerpo lúteo es la producción y secreción de P4. Además, P4 prepara al útero para la implantación del embrión y el mantenimiento de la gestación. También, el incremento en las concentraciones plasmáticas de P4 ha sido asociado con el mejoramiento de la tasa de concepción en las vacas lecheras (p. 62).

Otros ácidos grasos de vital importancia en la suplementación del ganado, son los PUFA omega-3 (n-3), el cual tiene una amplia gama de funciones fisiológicas, a través de receptores, sensores o composición de ácidos grasos de la membrana celular. Entre las funciones fisiológicas de PUFA n-3, hay un efecto en las variables reproductivas, encontrándose mayores tasas de preñez debido a una disminución de la mortalidad embrionaria. Además, el n-3 puede conducir a un aumento en el tamaño y número de los folículos preovulatorios (Sebastien et al., 2016).

La alimentación con dietas suplementadas con PUFA n-3 también tienen una tendencia hacia el aumento de las tasas de concepción, debido a que disminuye la concentración de prostaglandina F2-alfa (PGF2) en el útero, por lo tanto potencialmente facilita la implantación del embrión y la reducción de la mortalidad embrionaria (Dirandeh et al., 2013).

1.4 Relación Entre Balance Energético Y Actividad Reproductiva

Galvis y Correa (2002), mencionan que:

Después del parto y durante el periodo de alta producción lechera y déficit energético, el útero, los ovarios y el eje hipotálamo-hipófisis deben restablecer su actividad. En este periodo se espera la maduración hormonal del eje hipotálamo-hipófisis, cambios morfológicos e histológicos en el útero y el establecimiento de la nueva población folicular en el ovario que conducirá a la primera ovulación. Todo esto puede ser afectado por el BEN. Una combinación de efectos asociados con BEN incluye cambios en la concentración de hormonas y metabolitos circulantes que pueden interactuar con los centros superiores del cerebro, hipotálamo e hipófisis (p. 230).

La relación entre balance energético negativo y función ovárica puede deberse en parte a la secreción del LH. “Los centros cerebrales superiores donde se estimula la secreción de LH son sensibles a los niveles de hormonas secretadas en ovarios y también al balance energético. El balance energético negativo ocasiona bajos niveles de progesterona, los cuales se asocian con baja fertilidad. Es posible que la baja producción de progesterona ocasione una alteración en la capacidad esteroidogénica del cuerpo lúteo” (Galvis y Correa, 2002, p. 231).

Por su parte, Hernández y Díaz (2011), indican que:

Las vacas que durante el postparto tengan un mayor BEN, presentarán mayores fallas reproductivas. Un BEN durante el principio de la lactación, puede afectar negativamente el desarrollo folicular ovárico. Al parecer, este efecto ocurre debido a que el estrés derivado del BEN, genera disminución en la secreción de la hormona luteinizante (LH) y por lo tanto los folículos antrales, que dependen de la concentración y secreción pulsátil de la hormona folículo estimulante (FSH), no pueden crecer y madurar y terminan en atresia. Además, el BEN experimentado por la vaca durante el postparto temprano, disminuye la secreción pulsátil de LH, lo cual genera un retraso en el reinicio de la actividad cíclica ovárica. Se asume que esta disminución en LH, es consecuencia directa de baja secreción de la hormona estimuladora de las gonadotrofinas (GnRH) a nivel hipotalámico (p. 334).

Adicionalmente, en una revisión bibliográfica realizada por Hernández y Díaz (2011), muestran que:

La disminución de los niveles de GnRH durante el período en el cual existe BEN, parece estar relacionada con la leptina, hormona secretada por el tejido adiposo que regula varias funciones metabólicas, entre las cuales destacan el consumo y la reproducción. La leptina participa en la regulación de la reproducción, mediante la modulación de la cantidad de energía presente en las reservas corporales que se dirigen a las funciones reproductivas y a través de la estimulación de la secreción de GnRH. Se piensa, que al ser la leptina una hormona secretada por el tejido adiposo, la concentración de ésta en sangre, es mayor cuanto mayor sea la proporción y movilización de grasa corporal (p. 335).

En general, se puede decir que el balance energético de la vaca alrededor del parto y la condición corporal al momento del mismo, pueden influenciar el desempeño reproductivo, Hernández y Díaz (2011) expresan que, se ve afectado el ciclo estral, siendo la vaca de primer parto el animal más susceptible a desbalances en los niveles de energía, por sus altos requerimientos nutricionales. Al parecer, este efecto se debe a modificaciones en el patrón de secreción de las gonadotropinas (particularmente LH). Así mismo, se han descrito efectos directos, a nivel ovárico, que pueden modificar el crecimiento y desarrollo folicular, relacionados con hormonas metabólicas (insulina, leptina, IGF-I, GH). Adicionalmente, el estatus energético puede determinar la calidad y viabilidad del óvulo y la actividad esteroidogénica del cuerpo lúteo (p. 337).

1.5 Las grasas sobrepasantes como opción en el manejo del BEN

El manejo de las vacas durante el período de transición debe estar orientado a reducir el balance energético negativo o suministrar dietas especialmente formuladas para mejorar las condiciones inmunológicas, dado que las vacas durante el periodo de transición suelen experimentar una ingesta reducida de alimento, baja condición corporal, problemas metabólicos e infecciosos y de inflamación a nivel del útero.

1.5.1 Grasa sobrepasante

Para Hernández y Díaz (2011):

Las grasas son importantes en la alimentación de los rumiantes por su alto contenido energético. Así, la combustión completa de un gramo de grasa produce alrededor de 9,45 Kcal de energía neta, mientras que un carbohidrato típico genera alrededor de 4,4 Kcal. Por lo que, los lípidos en general aportan 2,25 veces más energía que las fuentes tradicionales de la misma. Pero no solo es importante considerar el aporte energético de las grasas en la dieta, sino también por las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales que aportan (p. 338).

Jenkins (2004) citado por Hernández y Díaz (2011) define que:

Las nuevas tecnologías han generado grasas modificadas químicamente, que permiten su utilización en mayores niveles y con una menor interacción a nivel

ruminal, reduciendo los efectos deletéreos de los lípidos sobre la actividad del rumen (inhibición de la acción enzimática de los microorganismos, como bacterias celulíticas, sobre la composición fibrosa del alimento). Este tipo de grasas son conocidas como “grasas sobrepasantes”, grasas inertes, by-pass, o grasas protegidas. Al respecto, las grasas inertes como aquellas que han sido diseñadas específicamente para tener muy poco, o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad de los alimentos en rumiantes. A menudo, las grasas sobrepasantes son sales de calcio carboxiladas (jabones cálcicos), ácidos grasos saturados o grasas hidrogenadas (p. 340).

Básicamente, las grasas protegidas consisten en una fuente de ácidos grasos insaturados, así Gagliostro y Schroeder (2007) indican que:

Normalmente son los ácidos grasos linolénico y linoléico protegidos, o sea, al ser ingeridos por el rumiante no son utilizados por los microorganismos del rumen, teniendo un aprovechamiento total por el animal. Los ácidos grasos insaturados, presentes en la dieta, principalmente en los productos oleaginosos, por ejemplo, en la soya y en la capa de algodón, son convertidos en el rumen en ácido esteárico, que no son bien digeridos por el animal. El perfil lipídico de la grasa protegida no afecta los parámetros del ambiente ruminal ni la degradación ruminal del forraje, estos pasan intactos por el rumen y llegan para ser metabolizados en el intestino, gracias a que estos compuestos presentan un punto de fusión alto y su solubilidad se presenta en pH inferior a 5.5, y por lo tanto no se disocian en el rumen, ni se disuelven en el líquido ruminal, por su parte, en el abomaso, al presentarse un pH de 2 a 2.5 se realiza una disociación, liberando las moléculas de ácidos grasos y el Ca para que sean digeridos en el intestino donde tiene mejor aprovechamiento por sus características particulares (Salvador et al., 2009). De esta manera se menciona que la suplementación de rumiantes con grasas sobrepasantes genera un incremento en la disponibilidad de ácidos grasos insaturados a nivel intestinal, y por lo tanto, se puede incrementar la absorción de los mismos y su incorporación a los tejidos (p. 89).

1.5.2 Uso de grasas en la alimentación de bovinos

Inicialmente el valor energético de los lípidos depende del origen de la grasa añadida. Zarate et al. (2011) refieren que:

Los ácidos grasos poliinsaturados tienen un efecto negativo sobre el metabolismo de las bacterias celulolíticas en relación con los ácidos grasos saturados y por lo tanto reducen el valor energético de la fracción no lipídica de la dieta. En contraste, se piensa que estos mismos ácidos grasos poliinsaturados tienen una mayor digestibilidad intestinal que los ácidos grasos saturados. Por otro lado, existen evidencias de que la energía metabolizable (EM) de los ácidos grasos de cadena larga es utilizada de manera más eficiente para propósitos de producción, que la EM proveniente de los ácidos grasos de cadena corta (p. 360).

Por su parte, las vacas con altos niveles de producción “utilizan de manera más eficiente la energía en comparación con las vacas de baja producción, y a su vez la respuesta a la energía de la ración es más alta en la lactancia temprana que a finales de la lactación” (Duske et al., 2009, p. 1670). Al respecto Duque et al. (2011) menciona que:

Las vacas en lactancia temprana utilizan la mayor parte de la energía suministrada en la dieta para la producción de leche, mientras que en la lactancia tardía utilizan menos energía para producción, almacenando la que no se consume en forma de grasa corporal, por esta razón el uso de grasa sobrepasante se recomienda en animales con niveles considerables de producción de leche y durante el inicio de la lactancia, donde la demanda de energía es más alta (p. 75).

Por otra parte, Zarate et al. (2011) indica que:

Entre los beneficios de la inclusión de grasa adicional protegida en la dieta están: 1) incremento en la densidad calórica sin comprometer digestión de la fibra, 2) incremento en el consumo de energía durante la lactación temprana cuando las vacas no consumen el suficiente alimento, 3) incremento en la eficiencia de utilización de la energía, 4) aumentó el cociente lipogénico/glucogénico, 5) mayor número de folículos de las diferentes clases, así como el tamaño medio de los folículos grandes y de los subordinados y, 6) aumento el porcentaje de la

superficie de células lúteas pequeñas y grandes así como el área total ocupada por los lípidos (p. 362).

1.5.3 Tipos de grasa sobrepasante

“En la producción ganadera son conocidos cuatro tipos de grasas inertes: las recubiertas con proteínas y enfriadas mediante pulverización, grasa endurecidas hidrogenadas, las semillas intactas y las sales de calcio de los ácidos grasos” (Cabrera y del Carpio Ramos, 2007, p. 161).

Por su parte Salvador et al. (2009) indican que:

Las sales de calcio de los ácidos grasos se obtienen por medio de un proceso de saponificación donde los ácidos grasos libres se unen con iones de Ca formando una sal o jabón, razón por la cual son también llamados jabones de Ca, estos compuestos presentan un punto de fusión alto y su solubilidad se presenta en pH inferior a 5.5, y por lo tanto no se disocian en el rumen, ni se disuelven en el líquido ruminal, el abomaso presenta un pH de 2 a 2.5 el cual le permite a esta sal disociarse liberando las moléculas de ácidos grasos y el Ca para que sean digeridos en el intestino (p. 286).

Así mismo, Obregón y Valenzuela (2009) infieren que:

Entre los ácidos grasos libres de mayor importancia, se puede mencionar el ácido linoléico conjugado (ALC), el cual se define como una mezcla de ácidos grasos de cadena larga, derivados del ácido linoléico (C18:2, c9c12, omega-6), donde el término “conjugado” se utiliza para describir un grupo de isómeros posicionales y geométricos cuyos dobles enlaces no están separados por un grupo metílico. Así, el ALC está constituido por una mezcla de isómeros posicionales, conjugados, y con isomería cis-trans del ácido linoléico. Los ácidos grasos que constituyen el ALC se producen naturalmente en los rumiantes como intermediarios de la biohidrogenación del ácido linoléico producida por la bacteria *Butyrivibrio fibrisolvens* en el rumen de estos animales, y que finalmente lleva a la generación de una mezcla de ácidos grasos monoinsaturados y saturados (p. 259).

1.5.4 Respuesta de la suplementación lipídica sobre la reproducción

Salas et al. (2011) indican que:

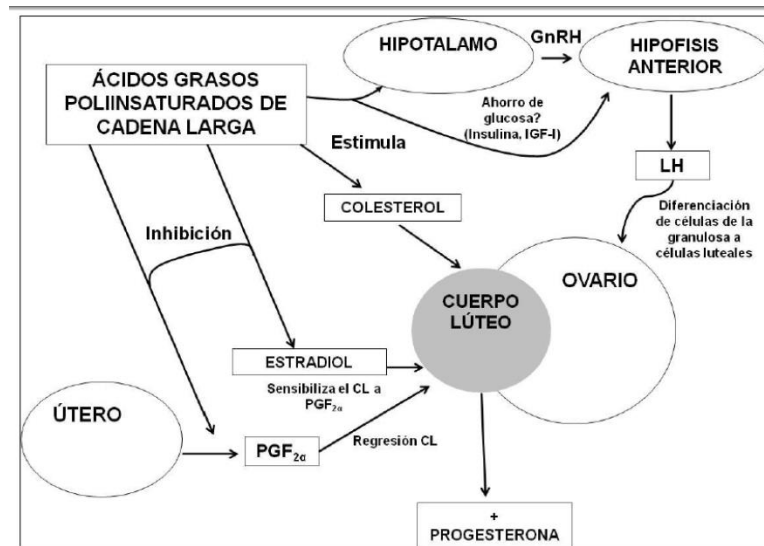
La suplementación grasa, con alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados, contribuye en el posparto a la recuperación de aspectos reproductivos específicos como el crecimiento folicular y el restablecimiento de la función lútea, reduciendo el intervalo entre el parto y la primera ovulación, así como el número de días abiertos, mejorando el comportamiento reproductivo del ganado bovino. Además, la cantidad de lípidos consumidos en la dieta pueden estar relacionados con cambios en la modificación plasmática de metabolitos de lípidos, incremento en la secreción de esteroides ováricos y otras hormonas involucradas de manera indirecta en los procesos reproductivos de los animales (p. 386).

Por su parte Martínez (2012), señala que la incorporación de grasas en la ración de vacas en postparto no modifica su estatus energético y sugiere que el efecto sobre la respuesta reproductiva tiene más que ver con el aporte de ácidos grasos de cadena larga (AGCL) que alteran la disponibilidad del sustrato, que el simple aporte energético. Así mismo, Hernández (2010), indica que:

Los efectos no energéticos están asociados al tipo de AG presentes en la grasa suministrada, estos efectos tienen que ver con el incremento de los niveles de colesterol (particularmente la fracción HDL), efectos directos a nivel ovárico y uterino, incrementando los niveles de progesterona (P4) y modulando la producción de prostaglandinas (en particular PGF₂α), respectivamente. Además, se describen efectos directos sobre hormonas y factores de crecimiento involucrados con la actividad reproductiva y productiva (insulina, IGF-I, entre otros). La mayoría de estos efectos no energéticos se ven favorecidos cuando se utilizan AGPI. La suplementación de las raciones para vacas en lactación con grasas ricas en AGPI de la serie omega-6 (n-6), mejoran el crecimiento del folículo, la secreción uterina de prostaglandinas, la calidad del embrión y el desarrollo de la gestación. Del mismo modo, la alimentación durante la lactación con grasas ricas en AGPI de la familia n-3 inhibe la secreción uterina de prostaglandinas, mejora la calidad del embrión y ayuda a mantener la gestación.

En la Figura 1-5, se muestran diversos mecanismos propuestos, no energéticos, que pueden generar este tipo de AG (p. 97).

Figura 1-5. Mecanismos de acción propuestos a través de los cuales la suplementación con ácidos grasos poli-insaturados puede afectar la función reproductiva.



Fuente: Tomado de Hernández y Díaz (2011)

Para Quintero et al. (2011):

La adición de grasa a la dieta ha sido propuesta como una forma posible de disminuir la concentración de AGL y ayudar a prevenir la incidencia de cetosis. Los ácidos grasos de cadena larga son absorbidos dentro del sistema linfático y no es necesario que pasen primero por el hígado. Esta grasa puede proporcionar energía para los tejidos y la glándula mamaria. Por tanto el aumento en la disponibilidad de energía disminuiría la concentración de AGL (p. 75).

1.6 Indicadores Metabólicos Y Reproductivos En Vacas Lecheras

1.6.1 Indicadores metabólicos

Debido a los cambios fisiológicos que presentan las vacas durante sus diferentes etapas productivas, con frecuencia muestran trastornos metabólicos y ruminales; lo cual puede

llevar a afectar su potencial productivo e incidir sobre su actividad reproductiva; aunque en apariencia pueden mostrar buen estado de salud; por esta razón se habla de indicadores metabólicos, los cuales se refieren “al estudio de algunos componentes hematobioquímicos específicos que sirven para evaluar, diagnosticar y prevenir trastornos metabólicos, ofreciendo información valiosa con relación al estado nutricional de los animales” (González et al., 2000, p. 106)

“Los indicadores metabólicos que generalmente se asocian al metabolismo energético del bovino están representados por la glucosa y los lípidos. Dentro de los lípidos tiene especial importancia los triglicéridos, los AGNE, colesterol y cuerpos cetónicos, principalmente β -hidroxibutirato (BHB)” (Duque et al., 2011, p. 77).

“La glucosa es el primer representante del metabolismo energético. En el organismo animal todos los tejidos requieren de un mínimo de glucosa, pero para otros ésta es imprescindible como el cerebro, eritrocitos y glándula mamaria” (Duque et al., 2011, p. 77). Por su parte Grande y Tadeu (2008) mencionan que:

La glicemia es regulada por un complejo control endocrino que el organismo mantiene sobre su concentración, lo que permite que se mantenga siempre muy constante, independiente de factores asociados a la dieta. Sin embargo, se pueden encontrar animales hipoglicémicos principalmente en el inicio de la lactancia porque los animales pueden no estar aptos para enfrentar el déficit energético que ocurre en este periodo (p. 11).

En cuanto a la concentración sérica de NEFA, Hernández y Díaz (2011) indican que:

Ésta, refleja la magnitud de la movilización de las reservas de grasa corporal y el BHB la intensidad de la oxidación de los triglicéridos en el hígado y el aporte de sustratos energéticos producidos en la beta-oxidación de las grasas. Los cuerpos cetónicos (BHB, acetoacetato y acetona) son intermediarios metabólicos de oxidación de los ácidos grasos. El BHB es importante en rumiantes como indicador de cetosis subclínica, patología derivada de la movilización de grasa en respuesta a BEN, siendo esta patología uno de los principales riesgos del periodo de transición (p. 339).

“Otros metabolitos de importancia en la evaluación homeostática del postparto son el colesterol por su papel en la síntesis de hormonas esteroideas básicas para el reinicio de la actividad ovárica y los triglicéridos, metabolitos asociados con lípidos de membrana, reservas grasa en el adipocito” (McNamara et al., 2003, p. 196).

Por otra parte, la valoración del metabolismo nitrogenado es un poco más difícil que el balance energético. Se necesitan varios parámetros para evaluar el estado de la proteína incluyendo los niveles de urea, proteínas totales, albúmina y globulinas.

Las concentraciones de urea están influenciadas por una amplia variedad de parámetros, incluyendo: la ingesta de proteínas y su degradabilidad ruminal, la composición de aminoácidos dentro de la dieta, la función hepática y renal, ruptura del tejido muscular y la cantidad de hidratos de carbono y su degradabilidad (Van Saun, 2008). Por su parte, Bradford (2010) expresa que:

Las proteínas plasmáticas actúan así mismo como portadores de otros componentes del plasma, y la albúmina proporciona la presión oncótica que ayuda a mantener un adecuado volumen intravascular y a prevenir el edema. Debido al papel destacado que desempeñan las proteínas en la homeostasis corporal y a la estrecha relación entre proteínas plasmáticas y tisulares, la medida de las proteínas y de sus fracciones: albúmina, globulinas y fibrinógeno, las cuales aportan una gran cantidad de información sobre la respuesta del organismo ante la enfermedad (p. 1813).

En cuanto a las globulinas, estas tienen un papel en el transporte de metales, lípidos y bilirrubina. Son indicadores limitados del metabolismo proteico, sin embargo, tienen una función importante en el proceso inflamatorio. Altos niveles de globulinas están asociados con enfermedades infecciosas o vacunas recientes. Existe una correlación negativa entre la concentración de albúmina y globulina, así que un aumento de globulinas debido a estados infecciosos, inhibe la síntesis de albúminas en el hígado, como un mecanismo de compensación para mantener constante el nivel de proteínas totales y, por ende, la presión oncótica de la sangre (Trujillo, 2014).

1.6.2 Condición corporal

Uno de los parámetros más utilizado para estimar el estado nutricional en los bovinos es la condición corporal (CC), la cual consta de una “evaluación subjetiva de la grasa subcutánea que el animal posee. En el momento del parto, la condición corporal es de suma importancia, ya que determina el período que permanecerá el animal en anestro, ella afecta de forma significativa el intervalo entre partos” (Montaño y Cortés, 2016, p. 128).

La evaluación de la CC en bovinos se realiza por medio de la asignación de un índice en una escala de 1-5, “donde 1 es un animal flaco y 5 es una animal obeso, con el fin de estimar las reservas de grasa corporal mediante la observación y palpación de costillas, columna vertebral, huesos de la cadera e inserción de la cola” (Fernández, 2014, p. 64).

Para López (2006):

Durante la fase de transición, la condición corporal que presenta el animal, que a menudo es un aspecto poco tenido en cuenta, va a ser esencial para la aparición de dismetabolías como pueda ser la cetosis. En este contexto podemos tener tres posibles escenarios:

1. Cuando la condición corporal es la adecuada (próxima a 3,5 puntos) y tanto las raciones como el manejo son los apropiados; ocurre un desequilibrio fisiológico propio del animal, sin embargo, esté es controlable.
2. Cuando la condición corporal es menor de lo deseado (< 3 puntos), en este caso las vacas no son capaces de recurrir a sus propias reservas y obtener la energía necesaria, favoreciendo la aparición de un BEN e incrementando el riesgo de la aparición de cetosis.
3. En el caso contrario, estarían los animales con una condición corporal mayor (>4 puntos). Igualmente son animales con problemas reproductivos y retraso en su preñez, por lo que están demasiado tiempo en cola de lactación, dando poca leche e ingiriendo más de lo que realmente necesitan. Estaríamos ante animales que tendrían una elevada movilización de ácidos grasos no esterificados y esteatosis hepática (p. 78).

1.6.3 Indicadores Reproductivos

Para lograr el mayor aprovechamiento del potencial productivo y genético de la hembra lechera es necesario que las vacas queden preñadas lo más pronto posible y que tengan un ternero por año; para esto, “la vaca que pare, debe preñarse en los primeros tres meses luego del parto. Por lo tanto reducir el intervalo entre partos significa incrementar los ingresos por vaca y por año justificando la aplicación de técnicas de manejo reproductivo para llegar a ese fin” (Morales y Cavestany, 2012, p. 20).

Una buena eficiencia reproductiva implica lograr el mayor número de animales preñados en el menor tiempo posible. Sin embargo, “el incremento en la producción de leche dado en los últimos años ha provocado cambios tanto fisiológicos como de manejo en las vacas lecheras; dichos cambios han llevado a una reducción en la fertilidad del rodeo en general, provocando que la eficiencia reproductiva sea cada vez más baja” (García, 2008, p. 134; Walsh et al., 2011, p. 128).

Por su parte Peter et al. (2009) indican que:

Para medir la eficiencia reproductiva se han desarrollado diferentes índices: los intervalos parto a primer servicio (IPS) y a concepción (IPC), intervalo entre partos (IEP), número de servicios por concepción (SC), porcentaje de detección de celos (%DC), porcentaje de concepción (%C) y porcentaje de preñez (%P) (Lemaire et al., 2012). La duración del anestro posparto puede afectar los índices reproductivos mencionados y por lo tanto estar determinando la eficiencia reproductiva de un hato (p. 1334).

Por su parte, investigaciones en la región nariñense indican un intervalo entre partos (IEP) para la raza Holstein de 444.52 ± 96.28 días, para los días abiertos (DA) de 166.34 ± 94.51 días y para la variable servicios por concepción (SC) los hatos de trópico alto requieren en promedio 2.72 servicios para lograr una preñez; mientras que para el cruce Holstein x Simmental, se reporta un IEP de 410.96 ± 83.31 días, para DA 134.76 ± 82.77 y 2.14 ± 1.34 servicios por concepción (Programa de Mejoramiento Genético, 2009).

2. Metodología

La fase de campo experimental se realizó entre el mes de julio y diciembre del año 2016, y contó con la licencia para experimentación animal otorgada por el Comité de Ética en investigación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

2.1 Localización

La investigación se realizó en la cuenca lechera del municipio de Guachucal, departamento de Nariño; ubicada geográficamente a: 0° 54' 52" (límite con Cuaspud) 1° 01' 53" (límite con Piedrancha y Sapuyes) Latitud norte, y 77° 35' 57" (páramo paja blanca) 77° 48' 55" (laguna de la bolsa) Longitud oeste. El hato seleccionado se encuentra a 3125 m.s.n.m, con una temperatura media de 10°C, humedad relativa entre 82 y 86% y precipitación pluvial de 1017mm por año. De acuerdo con Holdridge, corresponde a la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

2.2 Manejo nutricional de los animales

Los animales seleccionados no cambiaron la dieta base de la ganadería, la cual estaba constituida por forrajes en mezcla de especies neozelandeses como raigrases (*Lolium perenne*) y/o kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov). El pastoreo de los animales consistió en un sistema rotacional durante todo el día, donde los animales consumían el alimento ad libitum. Los potreros donde pastoreaban las vacas iniciaban con una franja de 10 metros cuadrados, posteriormente se les asigna de un metro más, moviendo la cinta, de 20 a 25 veces durante el día dependiendo de la disponibilidad de forraje en cada lote y el consumo de las vacas; mientras que, en la noche se asigna un área de 30 metros cuadrados permanentes. La rotación entre potreros se realiza teniendo en cuenta la producción de forraje y el área de los mismos; con un promedio aproximado de cuatro a siete días de periodo de ocupación por lote. Adicionalmente se adicionaba un suplemento comercial el cual fue suministrado durante el ordeño de la

mañana y de la tarde, así: para las vacas parto (21 días antes del parto) se suministraban tres kilogramos de concentrado prelactancia y para vacas en producción, un kilogramo de concentrado por cada cinco kilogramos de leche producidos. A continuación, en la Tabla 2-1, 2-1 y 2-3 se presentan los análisis bromatológicos de la mezcla forrajera y de los suplementos comerciales suministrados.

Tabla 2-1. Composición nutricional de la mezcla forrajera.

VARIABLE	%
Materia Seca	22.9
Cenizas	8.87
Proteína	17.66
Extracto etéreo	2.42
FDN	60.61
FDA	33.86
LDA	9.4
Hemicelulosa	26.75
Celulosa	24.46
ELN	10.44
Energía (Kcal/100 g)	430

Fuente: Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia-sede Palmira

Tabla 2-2. Composición nutricional porcentual del suplemento comercial parto.

NUTRIENTE	NIVEL	%
Humedad	Máximo	13
Proteína	Mínimo	14
Grasa	Mínimo	2,5
Fibra	Máximo	12
Cenizas	Máximo	10
Energía (Kcal/100 g)		225

Fuente: Ficha técnica producto Comercial

Tabla 2-3. Composición nutricional porcentual del suplemento comercial lactancia.

NUTRIENTE	NIVEL	%
Humedad	Máximo	13
Proteína	Mínimo	16
Grasa	Mínimo	3
Fibra	Máximo	12
Cenizas	Máximo	10
Energía (Kcal/100 g)		270

Fuente: Ficha técnica producto Comercial

El consumo de materia seca se determinó, teniendo en cuenta lo planteado por Mertens (2002), quien menciona que debido a que el alimento de los bovinos es mayormente forraje, la concentración de la fibra detergente neutra (FDN) es el factor que regula predominantemente el consumo, ya que afecta el llenado del estómago, el tiempo de pasaje del alimento y la digestibilidad de la materia seca. Por lo tanto, se adoptó la fórmula propuesta por el mismo autor ($120/\text{FDN}$), adicionalmente se calculó lo consumido del alimento balanceado. Obteniendo una aproximación de 14,95 kilogramos de MS/vaca/día, es decir, 2,67% del peso vivo (PV) por animal, con un peso promedio de 560 kg.

2.3 Selección de unidades experimentales y tratamientos

La selección de los animales se realizó, teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales: la producción de leche individual y los registros reproductivos eligiendo animales cuya fecha esperada de parto se encontraba en los 15 días antes de iniciarse el experimento.

Cumplidas las condiciones exigidas, fueron seleccionados 21 hembras de composición racial Simmental x Holstein, de segundo o tercer parto, con una producción promedio de 22 litros/vaca/día y un peso medio de 560 kilos; éstas fueron distribuidas en forma aleatoria en 3 grupos experimentales, comprendidos en grupos de 7 vacas cada uno. Los tratamientos fueron:

Tratamiento control (T1): se suministró la dieta base, sin adición de suplemento graso.

Tratamiento 2 (T2): se proporcionó la dieta base más 250 g/día de grasa sobrepasante comercial no enriquecida.

Tratamiento 3 (T3): se estableció la dieta base más 250 g/día de grasa sobrepasante enriquecida con omega 3 (adicionando el contenido de dos cápsulas correspondientes a 2.400 mg de omega 3).

En la Tabla 2-4, se indica la composición de la grasa sobrepasante utilizada en la investigación.

Tabla 2-4. Composición grasa sobrepasante.

NUTRIENTE	% MINIMO	% MAXIMO
Grasa (Como ácidos grasos)	73	
Calcio	7	
Humedad		7
INGREDIENTES		
Ácidos grasos de palma y soya		
Hidróxido de calcio		
Antioxidantes		
PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS		
ÁCIDO GRASO	UNIDADES	
Palmitico	44.533%	
Estearico	4.201%	
Oleico	31.042%	
Linoléico	18.286%	
Linolénico	0.672%	
Mirístico	1.266%	

Fuente: Ficha técnica producto Comercial

El periodo experimental fue de 120 días con un intervalo entre colecta de muestras de 15 días. Los muestreos se distribuyeron de la siguiente forma: uno en el parto (15 días antes del parto) y siete muestreos posteriores al parto, hasta llegar al día 105 posparto de las vacas, para un total de ocho muestras por animal y un total de 168 muestras.

De los tres grupos experimentales, se obtuvieron muestras de sangre, aproximadamente 10 ml por animal, a partir de venipunción coccígea utilizando tubos al vacío sin anticoagulante, de ellos se extrajo suero sanguíneo para su respectivo análisis de perfil metabólico, Igualmente, se colectaron muestras de leche para análisis composicional y de perfil lipídico. Así mismo, en cada muestreo se evaluó el pesaje a través de cinta métrica para ganado de leche y se evaluó la condición corporal, siempre por la misma persona.

Las muestras de leche fueron tomadas (100 ml) en frascos estériles plásticos, directamente del medidor de la maquina ordeñadora después del paso de cada animal, para su posterior análisis composicional. Estos muestreos se realizaron cada 15 días después del parto hasta el día 105 de lactancia, para un total de siete muestras por vaca. Así mismo se tomaron muestras de leche para el análisis de perfil de ácidos de grasos, las cuales se extrajeron en frascos de vidrio oscuro, por cada tratamiento (500 ml), en dos periodos durante la investigación (45 y 90 días, teniendo en cuenta el pico, la persistencia de la curva de lactancia, y el total del tiempo experimental), para un total de dos muestras por cada tratamiento. Todas las muestras fueron transportadas a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, en cajas de icopor manteniendo la cadena de refrigeración para una adecuada conservación.

2.4 Caracterización Reproductiva

Los parámetros reproductivos se obtuvieron de los registros sistematizados y actualizados que se encuentran en la ganadería seleccionada, enfocándose en los principales parámetros, tales como servicios por concepción (SC) contando las inseminaciones realizadas hasta la concepción efectiva, días abiertos (DA) tomando los días, desde el parto hasta la siguiente preñez e intervalo entre partos (IEP), teniendo en cuenta el parto anterior al ensayo y estimando el próximo, partiendo de la fecha de inseminación efectiva y la confirmación de preñez realizada por el médico veterinario que visita el hato. En cuanto a la detección de celos, la ganadería cuenta con trabajadores que observan el comportamiento de los animales durante todo el día.

2.5 Análisis de muestras

Las muestras de leche se transportaron refrigeradas a 4°C hasta el laboratorio de Tecnología de Leche de la Universidad de Nariño. El análisis composicional de la leche se realizó por ultrasonido mediante un analizador de leche, marca Funke Gerber modelo lacto star, Ekomilk, Berlín-Alm. El cual midió grasa, proteína y sólidos totales. En cuanto a la identificación de perfil de ácidos grasos de cadena corta, media y larga, y sus principales isómeros, se determinaron por cromatografía de gases, con un cromatógrafo de gases SHIMADZU GC17A, en columna DB-WAX (Agilent Scientific. 30m x 0,25mm x

0,25µm), detector FID (Flamed Ionization Detection) a 280°C, inyector split/splitless a 250°C. Inyección split 1:10, fase móvil Helio AP a flujo de 1,0 mL/min.

Las muestras de sangre almacenadas en tubos vacutainer sin anticoagulante fueron centrifugadas a 2500 r.p.m. por 15 minutos, después de su obtención en cada muestreo. Dicho proceso se realizó con el fin de obtener el suero sanguíneo, el cual se almacenó en alícuotas a -20°C, en el Laboratorio de la Universidad de Nariño. Posteriormente, se transportaron debidamente refrigeradas hacia el Laboratorio de Reproducción de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira, donde se realizaron los análisis respectivos.

En suero sanguíneo se determinaron las concentraciones de los metabolitos: NEFA, BHB, proteínas totales, urea, colesterol, glucosa, albumina y triglicéridos, cuyos principios analíticos se describen en la Tabla 2-5. Dichas pruebas se realizaron, mediante pruebas enzimáticas colorimétricas, con reactivos comerciales utilizando el equipo analizador de química semiautomático de lectura óptica marca RAYTO® (Shenzhen, China). Para el control de calidad intraensayo se utilizó una muestra de control bovino nivel 2 (valores fisiológicos) cada 15 muestras, en cada una de las pruebas.

Tabla 2-5. Metabolitos analizados.

METABOLITO	TECNICA	REFERENCIA COMERCIAL	MARCA COMERCIAL
Betahidroxibutirato (BHB)	NAD+/ 3-hidroxibutirato deshidrogenasa	(RB1007)	Randox
Ácidos grasos no esterificados (NEFA)	Acil Coenzima A Sintetasa/Ascorbato Oxidasa	NEFA (FA115)	Randox
Glucosa	Glucosa Oxidasa / 4-Aminofenazona	GLUC-PAP (GL2623)	Randox
Albumina	Verde de Bromocresol	ALB (AB362)	Randox
Proteínas totales	Iones cúpricos / Enlaces peptídicos	TP (245)	Randox
Urea	Ureasa / Glutamato deshidrogenasa	UR (457)	Randox
Colesterol	Colesterol oxidasa	CH (201)	Randox
Triglicéridos	Lipasas / Peroxidasa	TR (213)	Randox

Fuente: Ficha técnica kits de reactivos comerciales

2.6 Análisis Estadístico

Los datos fueron almacenados en una base de datos de Excel para ser procesados en el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 9.0. Se empleó un diseño mixto de medidas repetidas en el tiempo (utilizando el procedimiento de Modelos Lineales Generales y Mixtos). Los tratamientos, los periodos y la interacción entre estos constituyeron los efectos fijos, el animal representó el efecto aleatorio, y la covariable fue la producción de leche estimada para la lactancia. Las variables fueron evaluadas por normalidad y heterocedasticidad. Cinco estructuras de covarianza se evaluaron en su capacidad de ajuste, simetría compuesta, simetría no estructurada, autorregresiva, autorregresiva con efecto aleatorio y Toeplitz. El menor valor de criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC) fueron utilizados como métodos para determinar la mejor estructura de covarianza. Las comparaciones entre medias con diferencias estadísticas significativas se realizaron por medio de la prueba DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves). Además se realizó un análisis descriptivo exploratorio de tipo unidimensional, incluyendo medias y desviación estándar.

3. Resultados y Discusión

3.1 Metabolismo energético

En la Tabla 3-1 se pueden apreciar los niveles séricos medios por tratamiento y su significancia estadística entre tratamientos, periodos, tratamiento*periodo y la covarianza para condición corporal (CC) y los metabolitos asociados al comportamiento energético de las vacas del experimento. Se observaron diferencias altamente significativas en colesterol para los tratamientos y el periodo. Para el caso de glucosa, NEFA y triglicéridos solo se evidencian diferencias significativas entre los periodos de muestreo, sin ninguna variación entre los tratamientos. Por su parte betahidroxibutirato (BHB) y condición corporal, son variables en las que no se evidencian diferencias para tratamientos, ni para tiempos de muestreo. En cuanto a la interacción entre tratamiento y periodo, se evidencian diferencias para glucosa, colesterol y BHB.

Tabla 3-1. Niveles séricos medios para los metabolitos asociados al comportamiento energético, condición corporal y su significancia estadística.

VARIABLE (mmol/L)	TRATAMIENTOS			EFECTO ESTADISTICO			
	1	2	3	Tratamiento	Periodo	TTO*PER	COV
Glucosa	3,6	3,7	3,8	0,1834	0,0109	0,0002	*NS
NEFA	0,39	0,41	0,42	0,8859	<0,0001	0,7228	*NS
BHB	0,5	0,51	0,5	0,8918	0,3224	0,0125	0,0293
Colesterol	4,5	4,8	5,17	0,0215	<0,0001	0,0045	0,0095
Triglicéridos	0,2	0,24	0,23	0,0906	<0,0001	0,5629	0,0216
C.C**	3.5	3.25	3.25	0,5989	0,3571	0,6776	0,0101

Cuando $p < 0,05$ se considera que existen diferencias estadísticas, *NS indica que en el primer ensayo estadístico realizado la covarianza no fue significativa y por tanto fue retirada del modelo para ese metabolito, ** variable medida por puntaje (escala 1 a 5).

Duque et al. (2011) indica que, la glicemia es regulada por un complejo y creciente control endocrino que el organismo mantiene sobre su concentración, lo que permite que se mantenga un estrecho intervalo fisiológico, independiente de los factores asociados a

la dieta. Sin embargo, se pueden encontrar animales hipoglicémicos principalmente en el inicio de la lactancia, debido a que los animales pueden no estar aptos para enfrentar el déficit energético que ocurre en este periodo (p. 77). Para Kaneko et al. (2008) las concentraciones séricas normales de glucosa en bovinos están entre 2,5 y 4,16 mmol/L; mientras que Ceballos et al. (2002) informan concentraciones promedio de glucosa de $3,8 \pm 1,0$ y $3,7 \pm 1,0$ mmol/L para los periodos preparto y postparto, respectivamente; lo cual indica que los resultados de este estudio se encuentran dentro de los rangos informado por los autores citados. Adicionalmente cabe resaltar, que las medias obtenidas para esta evaluación, no evidencian diferencias entre los tratamientos propuestos (Tabla 3-1). Ahora bien, es importante mencionar que según lo manifestado por Aschenbach et al. (2010) quienes señalan que en la mayoría de mamíferos no rumiantes, estos obtienen una cantidad significativa de glucosa, a partir de la absorción directa, sin embargo en rumiantes la cantidad de glucosa absorbida desde la digestión intestinal de almidón, es limitada ya que depende de la cantidad de ácidos grasos volátiles absorbidos desde el rumen o de los procesos gluconeogénicos y por lo tanto no se observan fluctuaciones de este metabolito, con o sin la suplementación.

Al evaluar el comportamiento de este metabolito a través del tiempo de muestreos, se observaron diferencias estadísticamente significativas (Gráfica 3-1-A); encontrándose los mayores valores en el día 15 antes del parto con un promedio de $3,9 \pm 0,07$ mmol/L, seguido del día 15 (postparto) con $3,8 \pm 0,07$ mmol/L, lo cual muestra que las vacas mantuvieron su homeostasis y una condición corporal adecuada para enfrentar el periodo de transición y la lactancia temprana. Por su parte el valor más bajo fue de $3,61 \pm 0,07$ mmol/L, el cual se presentó en el día 45 de lactancia, en los tres grupos experimentales; lo que podría explicarse por el tiempo simultáneo con el inicio del pico de producción. Preynat et al. (2009), mencionan que en vacas lecheras, la glucosa garantiza la síntesis de lactosa para la alta producción de leche, además de cubrir los requerimientos energéticos. Durante el balance energético negativo, “la producción hepática de glucosa es directamente proporcional al ácido propiónico biosintetizado en el rumen, a partir del ácido pirúvico o del ácido láctico” (García y Montiel, 2011, p. 152).

Por su parte, los niveles séricos de NEFA, Contreras y Sordillo (2011), revelan que al final de la lactancia y en el inicio del periodo seco se pueden encontrar valores menores a 0,2 mmol/L, mientras que en las dos semanas anteriores al parto los niveles de NEFA en sangre comienzan a aumentar hasta llegar a su punto máximo entre los días 0 y 10

posparto con concentraciones cercanas a 0,75 mmol/L dependiendo del grado de movilización de lípidos; igualmente Djokovic et al. (2013) mencionan rangos de $0,27 \pm 0,14$ mmol/L en preparto y $0,54 \pm 0,26$ mmol/L para el momento del parto, mientras que García et al. (2016), reportan valores de 0,4 mmol/L en el momento del parto y hasta 15 días después del mismo. Dado que la concentración de NEFA en plasma es utilizado como una herramienta de diagnóstico para evaluar el grado de BEN en las vacas lecheras en el posparto temprano, además este metabolito es considerado como un indicador de movilización de reservas lipídicas en el organismo; en los resultados obtenidos en este estudio (Tabla 3-1), se evidencia una mínima movilización lipídica, al estar al límite de las concentraciones reportadas por Quiroz et al., (2009), quienes plantean que valores de NEFA hasta 0,25 mmol/L indican una estabilización en el balance energético, mientras rangos superiores a 0,4 mmol/L exhiben lipomovilización.

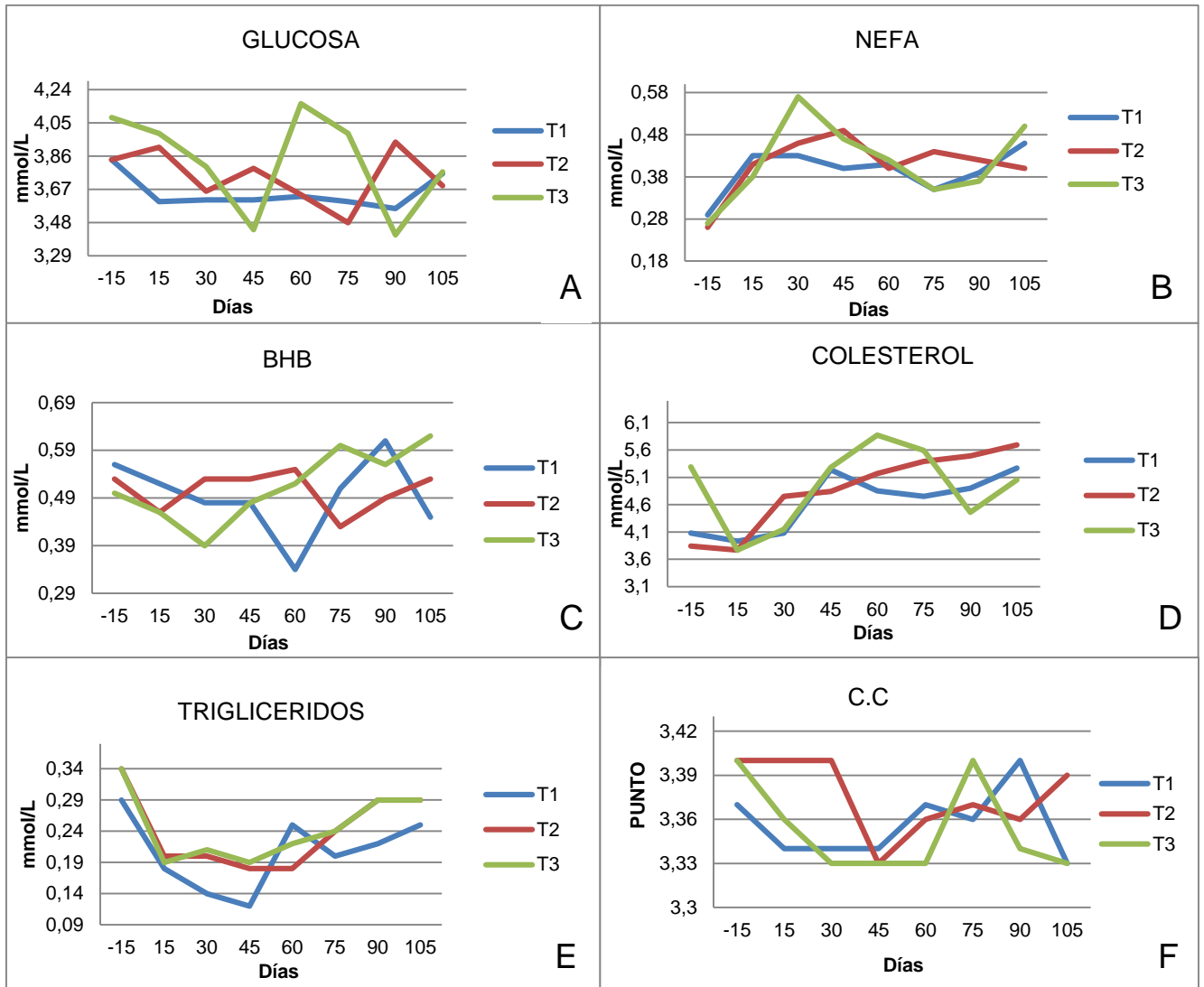
Por otra parte, al evaluar el comportamiento del mismo metabolito en los diferentes periodos de muestreos se evidencia diferencias, encontrándose el valor más alto de NEFA en el periodo tres correspondiente al día 30 de lactancia, seguido del periodo ocho (día 105), mientras que el valor más bajo se presentó en el periodo uno (preparto); esto concuerda con lo reportado por Ceballos et al. (2002)a, quien encontró una concentración baja durante el preparto, y fue aumentando, hasta alcanzar su máximo valor en la segunda semana postparto, indicando que en los últimos días preparto, debido a una depresión del consumo de materia seca, se acelera la lipólisis y la movilización grasa al inicio de la lactancia, lo que conlleva a un aumento en los ácidos grasos no esterificados. Igualmente, los cambios endocrinos pueden explicar el aumento agudo en la concentración de éstos durante este período (p. 28).

En cuanto a B-hidroxibutirato (BHB), siendo este un cuerpo cetónico producto de la oxidación fisiológica de glúcidos y lípidos y un indicador de la presencia o no de cetosis subclínica o clínica, dependiendo de la concentración en que se encuentre (Duque et al., 2011). Los valores encontrados en este estudio, indican que las vacas del estudio no tuvieron cetosis de ningún grado, en ninguno de los periodos del ensayo, estos valores mostraron niveles bajos, como lo referencian Suthar et al. (2013) quienes indican que, animales con valores de BHB mayores a 1,00 mmol/L y hasta 1,40 mmol/L presentan cetosis subclínica; aunque, es común encontrar estos valores entre la primera y la tercera semana posparto, como consecuencia de la alta movilización de lípidos que se presenta para suplir los requerimientos del inicio de la producción de leche, mientras que,

concentraciones de BHB mayores a 1,40 mmol/L en la mayoría de casos están acompañadas de síntomas clínicos de cetosis. Por su parte, los resultados de este ensayo manifiestan estar dentro de rangos normales al ser comparados con los reportados por algunos autores como Campos et al. (2007) indicando un rango de 0,35 – 0,65 mmol/L en condiciones experimentales de trópico bajo, animales con un promedio de producción de 19 l/día, diferentes grupos raciales y en diferentes etapas fisiológicas; Kaneko et al. (2008) reportan 0,38 – 0,44 mmol/L y Djokovic et al. (2013) indican valores de 0,36 – 1,36 mmol/L. Igualmente, cuando son comparados con los valores reportados por Remppis et al. (2011), quienes mencionan que en vacas sanas la concentración de BHB debe estar por debajo de 1,00 mmol/L en la lactancia temprana y por debajo de 0,60 mmol/L en la gestación tardía.

Cabe resaltar que el análisis de cada tratamiento respecto al periodo de muestreo, aunque estadísticamente no se evidenciaron diferencias significativas; como se observa en la Gráfica 3-1-C, el T2 manifiesta fluctuaciones marcadas sobre los periodos 5 y 7, con una disminución y un aumento, respectivamente para la concentración de BHB, lo que indica una pérdida homeostática por parte del grupo de animales de este tratamiento. Por su parte, el T3 tiende a elevar sus niveles progresivamente, lo que muestra una mayor movilización lipídica para suplir las necesidades energéticas requeridas por el animal para mantener su nivel productivo, considerando que este grupo de animales tuvo una mayor producción, respecto al control. Kaneko et al. (2008) y Cunningham y Klein (2009), mencionan que los incrementos en los valores de BHB están asociados a factores como: la energía requerida para el inicio de un nuevo ciclo reproductivo, más los factores que generan estrés en los animales. Finalmente, para el T2 se observó un comportamiento más constante; lo cual sugiere que la suplementación con grasas sobrepasante sola, mejora la disponibilidad de energía.

Grafica 3-1 Comportamiento de los metabolitos energéticos: Glucosa (A), Ácidos grasos no esterificados-NEFA (B), betahidroxiutarato-BHB (C), Colesterol (D), Triglicéridos (E) y Condición corporal-CC (F); para los tres tratamientos, entre el día 15 preparto y el día 105 post-parto.



Los valores séricos de colesterol para este estudio, reportados en la Tabla 3-1; indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, evidenciándose los mayores niveles para el T3; así mismo se encontraron diferencias en el comportamiento, durante los periodos experimentales, partiendo de valores medios en el día -15 (preparto), bajando significativamente en la segunda semana postparto (correspondiente al día 15 de lactancia) y subiendo gradualmente, hasta encontrarse el valor más alto en

el día 105 de lactancia. Este comportamiento se puede comparar con los resultados de Moyano y Rodríguez et al. (2014), en un ensayo donde se suministró diferentes raciones de grasa sobrepasante, obteniendo niveles séricos de colesterol de 1,58, 1,71 y 2,01 mmol/L, siendo el mayor valor asociado al tratamiento con mayor cantidad de grasa suministrada.

Por otra parte, evaluaciones reportadas por Kaneko et al. (2008) indican concentraciones normales entre 1,50 y 2,28 mmol/L, mientras que en estudios realizados por Campos et al. (2007) se encontraron valores de $2,1 \pm 1,2$ mmol/L para vacas holstein y $1,4 \pm 0,9$ mmol/L en vacas Simmental, así mismo, Ceballos et al. (2002)a, indica valores de $2,8 \pm 0,6$ mmol/L en el parto y $3,5 \pm 1,1$ mmol/L en el postparto. Los resultados en esta evaluación son superiores a los reportados por los autores citados, éstas diferencias podrían deberse a las condiciones geográficas, ambientales y de manejo establecidas por cada sistema productivo; para el caso de la ganadería de éste estudio se presentan condiciones de altura de más de 3125 m.s.n.m y una temperatura media de 10°C, con fluctuaciones durante el periodo experimental, donde se puede presentar hasta -2 °C, poniendo en evidencia la importancia del papel calorigénico y el consumo de oxígeno por parte de los animales expuestos a grandes alturas (Campos y Rodas, 1999). Además, éstas condiciones pueden aumentar los requerimientos energéticos que las vacas necesitan para su mantenimiento, producción de leche y el inicio de su actividad reproductiva; donde los dos últimos factores son los de mayor influencia por este metabolito. Por su parte, Ceballos et al. (2002)b mencionan que las variaciones se deben al estado fisiológico del animal, ya que en la medida que avanza la lactancia los requerimientos nutricionales son menores por causa de la menor producción de leche observada al final de la lactancia, pudiendo presentarse un balance positivo para algunos nutrientes, como energía, entre otros, dando lugar a una mayor concentración de colesterol en sangre. Adicionalmente, la ventaja del tratamiento donde se adicionó grasa sobrepasante más omega 3 (T3), posiblemente podría mejorar la síntesis de hormonas esteroidales, mejorando la actividad reproductiva del animal.

En cuanto a los niveles séricos de triglicéridos obtenidos en esta evaluación no reportan diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3-1). Kaneko et al. (2008), indican concentraciones séricas normales entre 0 y 0,77 mmol/L; mientras que Moyano y Rodríguez (2014) señalan valores de 0,19 – 0,25 mmol/L; lo cual muestra que los animales de este ensayo, en cuanto a sus niveles séricos de triglicéridos estuvieron en

rangos normales sin verse afectados o favorecidos por la dieta suplementada o las condiciones asociadas a su producción.

En cuanto a la evaluación realizada entre los diferentes periodos de muestreo, se encuentran diferencias significativas. Como se observa en la Gráfica 3-1-E, el mayor valor reportado se da en el día -15 (preparto) con $0,32 \pm 0,015$ mmol/L, seguido de esto una caída hasta el día 45 de lactancia ($0,16 \pm 0,015$ mmol/L), donde empieza a subir gradualmente, hasta obtener nuevamente un valor superior de $0,27 \pm 0,015$ mmol/L en el día 105 de lactancia. Este comportamiento concuerda con lo descrito por Moyano y Rodríguez (2014), al encontrar en sus resultados que los valores más altos de triglicéridos se hallaron en periodo seco y que una tendencia al incremento de estos se da conforme aumentan los días de lactancia. Tales variaciones pueden atribuirse, en el periodo preparto, a un alto nivel de reservas corporales y ausencia de síntesis de leche, lo que permite al animal enfrentar el parto y el inicio de la producción; no obstante, la disminución del nivel sérico de triglicéridos que surge posteriormente, refleja el déficit energético al cual está expuesta la vaca y como un proceso normal, toma la energía necesaria de la oxidación de los triglicéridos que ha reservado en el tejido adiposo, ya que éste tiene en su conformación estructural, glicerol y triglicéridos. A partir del día 45 postparto, se observa como los niveles empiezan a subir, pues la vaca estabiliza su estado energético y ahora los triglicéridos aumentan debido a las necesidades por parte de la glándula mamaria para sintetizar la grasa de la leche. Esto concuerda con las hipótesis de Duque et al. (2011), quienes expresan que la concentración de triglicéridos en sangre disminuye en la medida que se produce un déficit energético, al producirse la movilización de grasas y alcanzar el hígado, los AGNE son reesterificados a triglicéridos y enviados de nuevo a los tejidos extrahepáticos a través de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL); además la concentración de estos varían con la etapa de la lactancia debido a su utilización por la glándula mamaria (p. 78). Además, Moyano y Rodríguez (2014) mencionan que las concentraciones de triglicéridos en sangre se ven alteradas cuando ocurren cambios severos en el estado fisiológico o en la dieta, lo cual se reflejó en esta evaluación, como se describió con anterioridad.

Respecto a la evaluación de la condición corporal, no se presentaron diferencias significativas para los tratamientos ni para los periodos de muestreo. Se encontraron medias de 3.5 para T1 y 3.25 para T2 y T3. Lo anterior muestra una reducida movilización de reservas corporales, indicando que los animales mantuvieron un estatus

energético, sin presentar excesivos cambios durante el periodo de muestreo. Esto concuerda con otros trabajos realizados por Aguilar et al. (2009)b y Tyagi et al. (2010) evaluando el suministro de grasa sobrepasante, donde no se presentaron diferencias en la condición corporal ente los animales con y sin suplemento graso.

Inmediatamente después del parto la CC disminuye notablemente, asociándose a balance energético negativo, e indicando cambios en los perfiles metabólico y hormonal de los animales (Wathes et al., 2009). Para vacas Holstein, se ha establecido que la puntuación de CC antes del parto debe encontrarse entre 3,0 y 3,5 y no se debe perder más de un punto después del parto hasta el pico de producción, teniendo en cuenta que para ganado lechero la escala va de 1 a 5 puntos (Adrien et al., 2012). Por lo tanto, al no encontrarse diferencias entre el grupo de animales suplementados con los no suplementados, puede suponerse que la dieta base de la ganadería aportó la energía necesaria para que los animales no se vean obligados a movilizar sus reservas corporales durante esta evaluación. Adicionalmente el cruzamiento del grupo racial (Holstein x Simmental) podría estar influenciando, este parámetro, ya que la raza Simmental proporciona mayor capacidad, en cuanto a la estabilidad de las reservas lipídicas después del momento del parto, como se observó durante el tiempo experimental (Asociación Simmental Simbrah Mexicana, 2017).

3.2 Metabolismo asociado a nitrógeno

Para evaluar el comportamiento del metabolismo nitrogenado se tuvieron en cuenta las variables presentadas en la Tabla 3-2, reportándose los niveles medios en sangre de cada metabolito por tratamiento y la significancia estadística entre tratamientos, periodos, tratamiento*periodos y la covarianza. En el análisis se observó que el metabolito urea presenta diferencias significativas y altamente significativas, cuanto se analizó por tratamiento y periodo respectivamente, mientras que para albúmina y globulinas se muestran diferencias solo entre los periodos y en proteínas totales no hubo diferencias ni para tratamientos, ni en periodos de muestreo. Igualmente la interacción entre tratamientos y periodos no tuvieron diferencias para ninguno de los metabolitos evaluados, por lo cual no se discuten.

Tabla 3-2. Niveles séricos medios de los metabolitos asociados al comportamiento de nitrógeno y su significancia estadística.

VARIABLE (mg/L)	TRATAMIENTOS			EFECTO ESTADISTICO			
	1	2	3	Tratamiento	Periodo	TTO*PER	COV
Proteínas totales	7,66	7,65	7,68	0,9406	0,4674	0,2684	*NS
Albúmina	3,46	3,54	3,47	0,2471	0,003	0,0408	*NS
Globulinas	4,19	4,1	4,21	0,5993	0,0153	0,3037	*NS
Urea**	11,69	12,26	11,18	0,0175	<0,0001	0,1202	*NS

Cuando $p < 0,05$ se considera que existen diferencias estadísticas, *NS indica que en el primer ensayo estadístico realizado la covarianza no fue significativa y por tanto fue retirada del modelo para ese metabolito, ** variable medida en mmol/L.

Los valores de proteínas totales (Tabla 3-2) no evidencian diferencias significativas entre tratamientos. Los niveles de en sangre esperados para vacas sanas oscilan entre 6,74 y 7,46 mg/L (Kaneko et al., 2008; Brandford, 2010); 6,68 y 8,42 mg/L (Tóthová et al., 2008).

Los promedios de éste estudio, se encuentran dentro de los rangos establecidos por Brandford (2010), lo cual indica que las vacas manifestaron un comportamiento adecuado sobre el metabolismo proteico. Por su parte, durante los diferentes periodos de muestreo, igual que entre tratamientos, no se evidenciaron diferencias significativas. No obstante, como se observa en la Gráfica 3-2-A; a partir del día 15 postparto los niveles séricos de proteína empiezan a aumentar gradualmente; lo cual se puede atribuir a la mayor disponibilidad de proteína contenida en el suplemento consumido al iniciar la lactancia, con respecto al consumido en preparto (Tablas 2-2 y 2-3) y al incremento del consumo de materia seca, como lo menciona Meikle et al. (2013), quienes afirman que “el aumento de proteína plasmática después del parto está correlacionado positivamente con el consumo de MS que gradualmente se incrementa durante el posparto” (p. 143). Por su parte Tóthová et al. (2008) mencionan que concentraciones altas de proteínas en suero sanguíneo de animales sanos pueden ser el resultado de una mejor síntesis de proteína o de una dieta con alto contenido en proteínas, así mismo es referente tener en cuenta que las condiciones de altura, aumentan los niveles de ciertas proteínas sanguíneas, como lo es la hemoglobina, esto se debe como respuesta a la menor concentración de oxígeno (Campos y Rodas, 1999).

Para la albúmina, el valor medio de los tratamientos 1, 2 y 3 no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre estos (Tabla 3-2). Durante los periodos de muestreo, la concentración más alta se encontró en los días 15 preparto y los días 30 y 75 postparto, difiriendo estadísticamente de los periodos restantes (Gráfica 3-2-B), lo cual puede atribuirse a un aumento del catabolismo de la albúmina, necesario para aportar los aminoácidos necesarios para la producción de inmunoglobulinas, requeridas por la presencia de la cría, en el preparto y el inicio del aumento de la producción lechera, así como su persistencia, en los periodos postparto. Por su parte, el menor valor se encontró en el periodo 2 (día 15 de lactancia), explicándose a un suministro inadecuado de aminoácidos hacia el hígado para la síntesis de esta proteína, dado al bajo consumo de materia seca que tiene la vaca, como proceso fisiológico normal presente en los días pre y postparto. Así mismo, la menor concentración de albúmina puede atribuirse a la menor habilidad hepática en algunos animales para la captación de éstos aminoácidos (Campos et al., 2012). En cuanto a los valores medios de albúmina para bovinos se sitúan en el rango de 3,03-3,55 mg/L, según lo descrito por Kaneko et al. (2008); 3,0-4,3 mg/L por Bradford (2010), mientras que Campos et al. (2007), mencionan valores de $2,58 \pm 0,44$ mg/L y $2,27 \pm 0,44$ mg/L para vacas Holstein y Simmental, respectivamente. Los valores para ésta evaluación se encuentran dentro de los promedios descritos por Kaneko et al. (2008) y Bradford (2010); no obstante están por encima de los niveles reportados por Campos et al. (2007).

La literatura menciona que, una baja concentración sanguínea de albúmina se puede presentar por pérdida excesiva de este metabolito o por su producción insuficiente en el hígado, lo cual puede ocurrir en animales con enfermedad hepática grave o crónica, y puede darse como resultado de la ingesta, digestión o absorción inadecuada de proteína, mientras que en casos de enfermedad aguda o subaguda, la hipoalbuminemia se atribuye a la pérdida de albúmina a través del riñón, del tracto gastrointestinal o en casos de hemorragia y exudación (Russell y Roussel, 2007). Lo cual no se presentó para este estudio, y los niveles de albúmina no fueron excesivamente fluctuantes y las vacas no presentaron sintomatología patológica.

Los niveles séricos para globulinas, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, tal como se observa en la Tabla 3-2. Sin embargo durante los periodos de muestreo se evidencia que el menor valor fue de $3,9 \pm 0,09$ mg/L, el cual se presentó en el día 75 de lactancia (Gráfica 3-2-C). Usualmente, se realiza la medición sanguínea de

proteínas totales y de albúmina, mientras que la fracción de globulinas es obtenida, mediante la diferencia entre la concentración de albúmina de las proteínas totales (Russell y Roussel, 2007). Debido a lo anterior se puede afirmar que, para el periodo (día 75) la albúmina presenta el mayor nivel sérico; esto puede atribuirse a lo explicado por Bradford (2010), quien menciona que:

El cociente albumina(A)/globulinas(G) se altera, si predomina una alteración en alguna de las fracciones, como puede ser: la reducción del cociente A/G por proteinuria de origen renal y/o producción de inmunoglobulinas por estimulación antigénica o el incremento en el cociente A/G por una falta de producción de inmunoglobulinas en animales adultos (p. 1813).

Sin embargo, al comparar los resultados de esta investigación con los informados por algunos autores como: Kaneko et al. (2008), indicando valores de referencia entre 3,0 y 3,4 mg/L, y Bradford (2010) reportando un rango de 3,0 – 3,5 mg/L, los valores hallados en la presente investigación son superiores. No obstante, otros trabajos presentan mayores concentraciones de este metabolito, como es el caso de Campos et al. (2007) quienes informan valores de $4,03 \pm 0,41$ mg/L para vacas Holstein y $4,4 \pm 0,35$ mg/L para vacas Simmental al inicio de la lactancia, en condiciones de trópico colombiano.

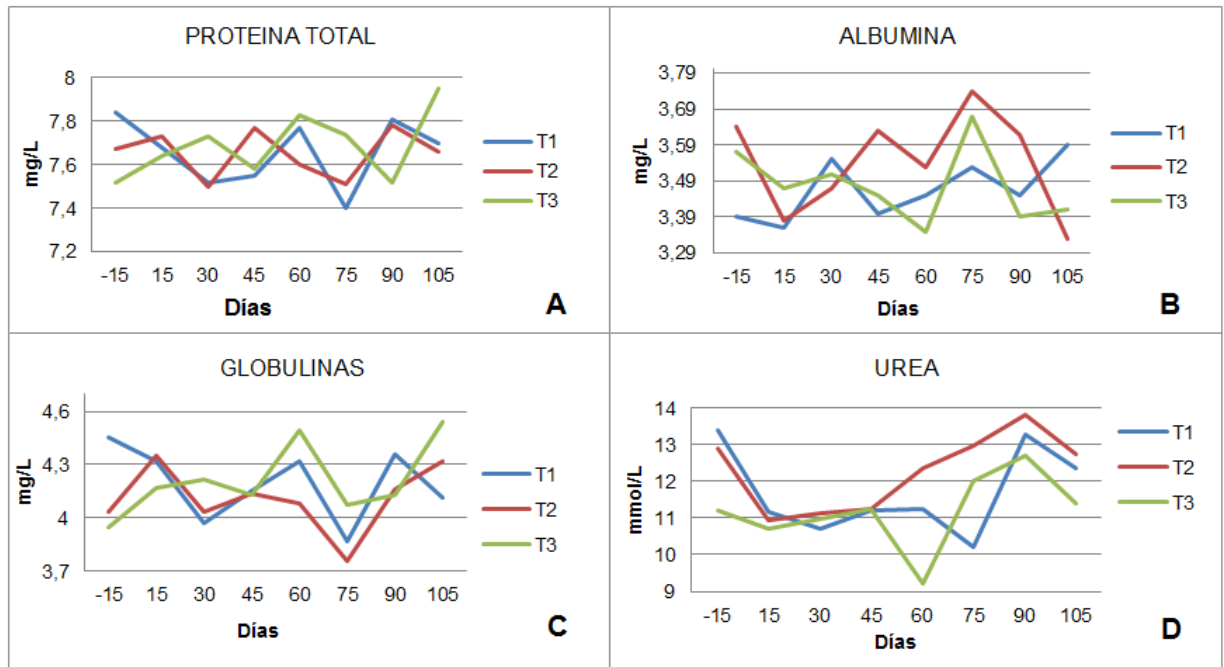
Al analizar los niveles séricos de urea en esta evaluación (Tabla 3-2), presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y durante los diferentes días de muestreo. Las fluctuaciones manifiestas en los diferentes periodos se presentan en la Gráfica 3-2-D; observándose los menores valores en los días 15 preparto y 15 lactancia, justo cuando tiende a presentarse BEN, lo cual pone en evidencia un desbalance entre la relación proteína:energía a nivel ruminal, incidiendo sobre el ciclo de la urea; lo cual coincide con lo reportado por Mac Loughlin (2005), al mencionar que el bovino tiene la capacidad de compensar los desbalances entre la proteína degradable y la energía en el rumen, ocasionados a partir de la asincronía entre la degradación de la proteína y los carbohidratos. Observándose que con dietas ricas en grano, la lenta disponibilidad de la proteína degradable en rumen, en relación a la energía característica de estos cereales, es compensada con el fin de mantener el balance P:E.

A partir del día 60 postparto, los valores incrementaron puntualmente, hasta alcanzar el valor máximo de $13,27 \pm 0,4$ mmol/L el día 90. Éste aumento puede atribuirse a una

ingesta elevada de proteína degradable suministrada a través de la suplementación del alimento balanceado, sobre todo en el cambio de pre y post-lactancia, además de la escasa energía a nivel de rumen; lo cual concuerda con lo planteado por Zarate et al. (2016) al mencionar que “un incremento de urea puede producirse porque la cantidad de proteína degradable en el rumen es demasiado alta, o porque la relación proteína soluble/carbohidratos no fibrosos, degradables en el rumen, también es alta” (p. 36). Así mismo, los valores altos de urea sanguínea se pueden atribuir a la hora establecida para el muestreo, en esta investigación a.m, lo cual concuerda con Vilariño (2011), al indicar que las variaciones de urea en sangre, fluctúan dependiendo del ritmo circadiano, observándose una medición más indicativa por la mañana que por la tarde, debido al mayor espacio de tiempo que transcurre entre la comida nocturna y la de la mañana.

Algunos autores indican valores normales de urea entre 7,14 y 10,7 mmol/L (Kaneko et al., 2008); 3,8 – 11,8 mmol/L en preparto y 2,5 – 12,3 mmol/L en el inicio de la lactancia, en condiciones de trópico alto (Ceballos et al., 2002)a; 12,18 mmol/L en vacas con más de dos partos (Pedraza et al., 2006 y López et al., 2011) y 13,56 mmol/L en vacas suplementadas energéticamente (Álvarez et al., 2006). Estos rangos indican que los resultados de esta evaluación se encuentran dentro de los valores establecidos por los diferentes autores en mención. Sin embargo, las diferencias presentes entre tratamientos, teniendo en cuenta que la diferencia en las dietas establecidas fue la adición de la suplementación lipídica y que a su vez, ésta fue inerte al rumen; se puede atribuir a la capacidad hepática de cada animal para formar urea a partir de los aminoácidos no utilizados; por su parte Burgos et al. (2010), indican que la urea es considerada como indicador de metabolismo de nitrógeno, y la concentración de este metabolito se encuentra asociada a la relación energía:proteína en la dieta y a la capacidad del hígado de convertir el amoniaco en urea.

Grafica 3-2. Comportamiento de los metabolitos nitrogenados: Proteína total (A), Albumina (B), Globulinas (C) y Urea (D); para los tres tratamientos, entre el día 15 preparto y el día 105 post-parto.



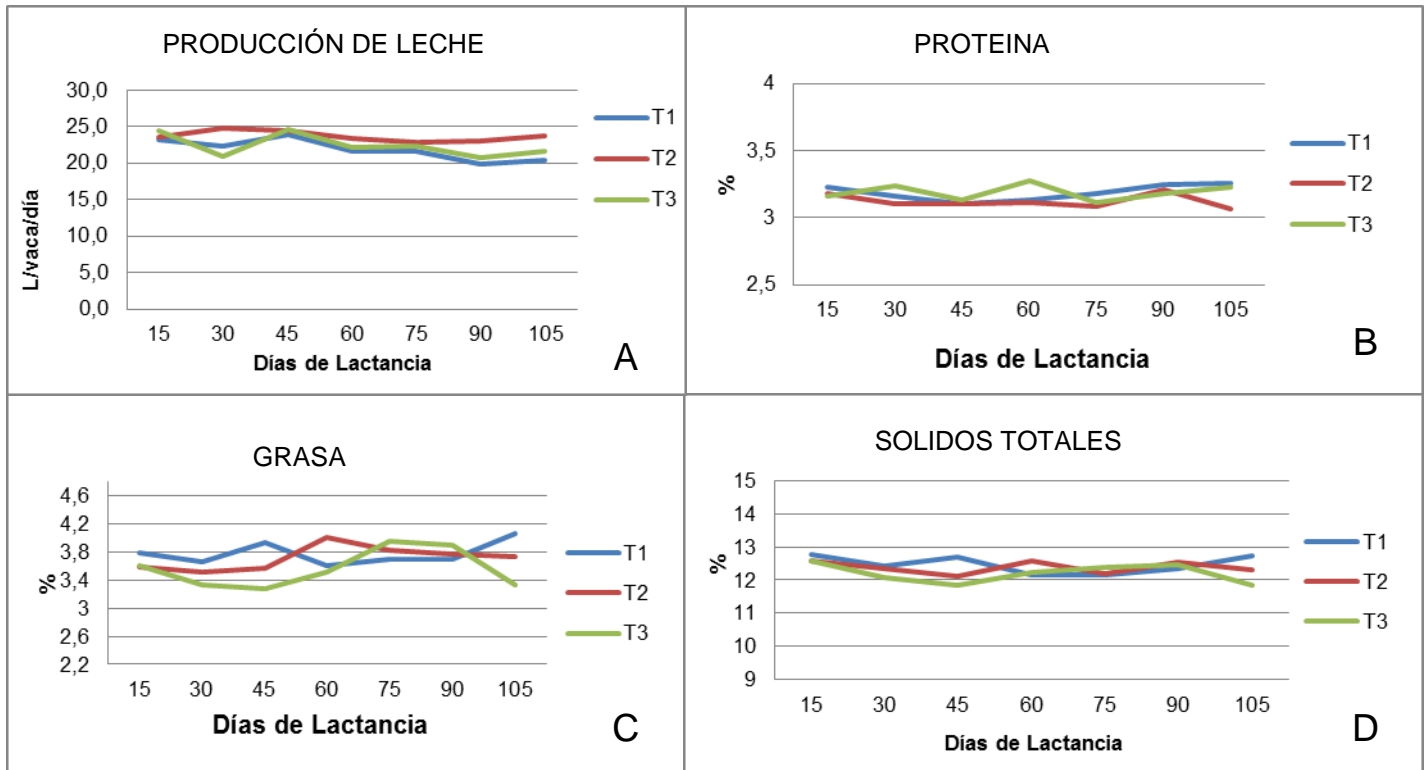
3.3 Producción y composición de leche

En la Tabla 3-3, se describe el nivel de producción de leche y el porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales, para cada tratamiento y la significancia estadística entre tratamientos, periodos, tratamiento*periodo y covarianza. El análisis indicó que no existen diferencias significativas para los tratamientos en ninguna de las variables; mientras que la evaluación realizada entre los periodos, indica diferencias altamente significativas para la producción de leche, observándose la mayor producción en el día 45 de lactancia, difiriendo de los demás periodos; así mismo, se evidencian diferencias significativas en el porcentaje de sólidos totales, encontrándose la mayor concentración de sólidos en el día 15 de lactancia. Por su parte en la interacción entre tratamiento y periodo, se observan diferencias en las variables: grasa y sólidos totales.

Tabla 3-3. Variables asociadas a producción y composición de leche y su significancia estadística.

VARIABLE	TRATAMIENTOS			EFECTO ESTADISTICO			
	1	2	3	Tratamiento	Periodo	TTO*PER	COV
Producción Leche (Litros/vaca/día)	21,8	23,7	22,4	0,0892	0,009	0,704	<0,0001
Grasa (%)	3,8	3,7	3,6	0,3849	0,1756	0,0209	*NS
Proteína (%)	3,18	3,12	3,18	0,4653	0,0892	0,1432	*NS
Sólidos totales (%)	12,46	12,37	12,21	0,4907	0,0439	0,0172	*NS

Cuando $p < 0,05$ se considera que existen diferencias estadísticas, *NS indica que en el primer ensayo estadístico realizado, la covarianza no fue significativa y por tanto fue retirada del modelo para esta variable.

Grafica 3-3. Comportamiento de la producción de leche (A), y su composición, proteína (B), grasa (C) y sólidos totales (D) para los tres tratamientos, entre los días 15 y 105 de lactancia.

La producción de leche, es una variable que es influenciada por varios factores asociados al animal y al ambiente (Cañas et al., 2012). En los resultados de la Tabla 3-3, se evidencian los promedios de producción de leche para cada tratamiento, sin evidenciar diferencias entre ellos; esto coincide con los resultados reportados por Crespi

et al. (2014), Prieto et al. (2016) y Duque et al. (2013)b, quienes manifiestan que, tanto la producción de leche como su composición (grasa y proteína) no se ven influenciados, cuando las vacas fueron alimentadas con cualquier tipo de suplementación lipídica. No obstante, cuando se realiza un ajuste del promedio de producción diario, al total de la producción en la lactancia (305 días), es evidente observar que T2 y T3 tienen ventajas sobre T1; lo cual podría atribuirse a un mejoramiento en la eficiencia y utilización de la energía, esto muestra lo benéfico de la suplementación lipídica a las vacas en producción, permitiéndoles tener estable su mecanismo homeorrético y mantener su rendimiento productivo a largo plazo.

Durante los diferentes periodos, se encontraron diferencias altamente significativas, observándose en el periodo 4 (correspondiente al día 45 de lactancia), la mayor producción (Gráfica 3-3-A). Calvache y Navas (2012) mencionan que entre los factores que influyen en la producción lechera, se puede mencionar el número de partos, la edad de la vaca y la composición genética del animal; mientras que durante el pico de lactancia el principal factor es la época de parto; donde animales que tienen sus crías en épocas lluviosas alcanzan una mayor producción de leche en menor tiempo que animales que paren en época seca, priorizando con ello, la disponibilidad y calidad de alimento ofrecido a los animales. Esto coincide con lo hallado en éste estudio, ya que los animales siempre tuvieron disponibilidad de alimento, tanto de la dieta base (forraje) como de la suplementación (concentrado). En cuanto a la raza, la intervención de la raza Holstein en el cruzamiento racial establecido por la ganadería, tiene ventaja sobre el periodo para alcanzar el pico de producción, lo cual concuerda con los datos informados para ganado Holstein en Colombia, donde la mayor producción de leche se da alrededor del día 44 posparto (Cañas et al., 2012), como se evidencio en ésta evaluación.

En cuanto a la composición química de la leche obtenida (grasa, proteína y sólidos totales), se encontraron los valores porcentuales de la Tabla 3-3, sin evidenciar diferencias entre tratamientos, lo cual se puede explicar con lo planteado por Crespi et al., (2014), quienes sugieren que, “en la medida que no se supere el 6% de extracto etéreo en la dieta completa, no se esperaría observar diferencias en los niveles de grasa en leche” (p. 4). Sin embargo al representar los valores de grasa, en kilogramos para la producción de leche estimada en el total de la lactancia, se evidencian cantidades de 252,6, 267,4 y 245,9 kilogramos en los tratamientos 1, 2 y 3, en su orden, lo cual indica

que, a pesar de que la grasa se mantiene o es similar para los tratamientos descritos, el mayor nivel productivo refleja una mayor obtención de este nutriente.

En cuanto a los valores de proteína, coinciden con lo reportado por Prieto et al. (2016), indicando los resultados de varios estudios con vacas bajo pastoreo y sugiriendo que la concentración de proteína generalmente no es afectada por la suplementación con grasa. Así mismo, los sólidos totales presentaron valores de $12,46 \pm 0,14$, $12,37 \pm 0,14$ y $12,21 \pm 0,14$ en los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente.

Al observar los diferentes periodos de muestreo, se encuentra una persistencia sobre el promedio, sin evidenciar diferencias significativas para grasa y proteína; mientras que el porcentaje de sólidos totales presenta diferencias, evidenciándose el mayor valor en el día 15 de lactancia, lo cual puede atribuirse al inicio de la producción y la síntesis de los nutrientes contenidos en la leche. Sin embargo, los valores porcentuales de éstos (grasa, proteína y sólidos totales) no se vieron afectados por la suplementación grasa suministrada a los animales, lo cual fue un resultado esperado debido a que no se modificó la base alimenticia de los animales (pastoreo y suplementación al ordeño), y por tanto no se intervino en el metabolismo ruminal.

El hecho de no haber encontrado diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la producción de leche, el porcentaje de grasa y proteína láctea, indica que la dieta establecida en la ganadería aportó al rumen una cantidad suficiente de nutrientes para una actividad fermentativa ruminal normal, y que la inclusión de grasas protegidas no intervino en la síntesis láctea. Además, la falta de efectos en los tratamientos con grasa sobrepasante y grasa sobrepasante más omega 3 sobre el porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales entre los tratamientos, pudo deberse a que la suplementación con grasa fue utilizada para producir energía y enfrentar los procesos fisiológicos del periodo de transición; disminuyendo la movilización de grasa en el animal, lo que se vio reflejado en una mejor condición corporal durante el pre y postparto.

Al analizar la composición lipídica de la leche, en cuanto a su perfil de ácidos grasos, en los dos periodos muestrales (45 y 90 días de lactancia) para cada tratamiento, se encontró los resultados expuestos en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Perfil de ácidos grasos en el componente lipídico de la leche.

45 Días de lactancia					
Ácido Graso	Nomenclatura	T1	T2	T3	p-valor
Isobutírico		0,50 ± 0,04 ^a	0,5 ± 0,04 ^a	1 ± 0,04 ^b	<0,0001
Butírico	C4:0	0,30 ± 0,04 ^a	2,30 ± 0,04 ^b	1,70 ± 0,04 ^c	<0,0001
Caproico	C6:0	-	0,5 ± 0,02 ^b	-	<0,0001
Caprílico	C8:0	0,50 ± 0,04 ^a	0,90 ± 0,04 ^b	2,40 ± 0,04 ^c	<0,0001
Capríco	C10:0	3,5 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,03 ^b	0,70 ± 0,03 ^c	<0,0001
Laurico	C12:0	3,80 ± 0,02 ^a	3,90 ± 0,02 ^b	3,5 ± 0,02 ^c	<0,0001
Mirístico	C14:0	16,7 ± 0,02 ^a	19,2 ± 0,02 ^b	15,3 ± 0,02 ^c	<0,0001
Pentadecanoico	C15:0	-	-	-	
Palmítico	C16:0	39,1 ± 0,02 ^a	42,1 ± 0,02 ^b	34,5 ± 0,02 ^c	<0,0001
Esteárico	C18:0	9,2 ± 0,02 ^a	14,9 ± 0,02 ^b	15,10 ± 0,02 ^c	<0,0001
Oléico	C18:1	23,6 ± 0,02 ^a	15,20 ± 0,02 ^b	25,9 ± 0,02 ^c	<0,0001
Linoléico	C18:2	2,7 ± 0,01 ^b	-	-	<0,0001
90 Días de lactancia					
Ácido Graso	Nomenclatura	T1	T2	T3	p-valor
Isobutírico		1 ± 0,05 ^a	0,80 ± 0,05 ^b	1 ± 0,05 ^a	0,0103
Butírico	C4:0	1,70 ± 0,04 ^a	1,10 ± 0,04 ^b	1,70 ± 0,04 ^a	<0,0001
Caproico	C6:0	1,60 ± 0,03 ^a	1,10 ± 0,03 ^b	1,10 ± 0,03 ^b	<0,0001
Caprílico	C8:0	1,70 ± 0,03 ^a	1,10 ± 0,03 ^b	1,10 ± 0,03 ^b	<0,0001
Capríco	C10:0	3 ± 0,03 ^a	2,3 ± 0,03 ^b	1,8 ± 0,03 ^c	<0,0001
Laurico	C12:0	4 ± 0,03 ^a	3,3 ± 0,03 ^b	3 ± 0,03 ^c	<0,0001
Mirístico	C14:0	14 ± 0,02 ^a	12,5 ± 0,02 ^b	12,2 ± 0,02 ^c	<0,0001
Pentadecanoico	C15:0	2 ± 0,13 ^a	1,6 ± 0,13 ^a	1,7 ± 0,13 ^a	0,1037
Palmítico	C16:0	40 ± 0,18 ^a	39,2 ± 0,18 ^b	39 ± 0,18 ^b	0,0027
Esteárico	C18:0	9 ± 0,13 ^a	9,5 ± 0,13 ^b	9,3 ± 0,13 ^{ab}	0,0443
Oléico	C18:1	22 ± 0,13 ^a	26,2 ± 0,13 ^b	27,3 ± 0,13 ^c	<0,0001
Linoléico	C18:2	-	1,2 ± 0,13 ^a	2 ± 0,13 ^b	<0,0001

Cuando $p < 0,05$ se considera que existen diferencias estadísticas. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos. (-) Ausencia del ácido grasos para determinado tratamiento.

Los ácidos grasos predominantes en la leche son los ácidos grasos de cadena corta y media los cuales representan el 50% del total de ácidos grasos y los de cadena larga

representando el 45% del total de ácidos grasos, e incluyendo pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados (2-3% de C18:2 y C18:3) (Fuentes, 2009). Al agrupar los ácidos grasos como el anterior autor en mención, en la presente investigación, se obtuvieron los resultados de la Tabla 3-5, teniendo en cuenta los dos periodos de muestreo en los diferentes tratamientos.

Tabla 3-5. Porcentaje de ácidos grasos de la leche.

Ácidos Grasos (%)	45 Días de lactancia			90 Días de lactancia		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Saturados	64,5	69,9	59,1	69	62,9	62,8
Monoinsaturados	32,8	30,1	41	31	35,8	36,6
Poliinsaturados	2,7	0	0	0	1,2	2

Al evaluar el comportamiento de cada tratamiento, en T1 se evidencia la presencia de altas cantidades de los tres grupos de ácidos grasos descritos con anterioridad, para el primer periodo muestral (45 días), no obstante en la segunda muestra (90 días), se percibe un aumento en el porcentaje de ácidos grasos saturados, disminución de ácidos grasos monoinsaturados y nula producción de ácidos poliinsaturados. Esto se puede explicar al aporte de dieta consumida, atribuida básicamente a los forrajes de tipo raigrás, los cuales predominaron en la dieta de este ensayo, esto coincide con lo reportado por Aguilar et al. (2009)a, quienes estudiaron el perfil lipídico de la leche después del consumo de gramíneas como raigrás y kikuyo, indicando que “los animales que consumieron kikuyo presentaron una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados y de CLA (Cis 9, trans 11) en la grasa de la leche que aquellos que consumían raigrás; además afirman que la menor producción de grasa y específicamente de ácidos grasos de cadena larga, se deben a un menor consumo de fibra y por ende una reducción en el pH ruminal, ocasionando una reducción en el porcentaje de grasa y una disminución en la isomerización y biohidrogenación y por tanto una menor producción de C18:0” (p. 2).

Por su parte, en el tratamiento con adición de grasa sobrepasante (T2), se observa una reducción en el porcentaje de ácidos grasos saturados, mientras que el grupo de ácidos grasos mono y poliinsaturados aumentan en la segunda muestra, respecto a la primera. Esto puede atribuirse a la composición lipídica, teniendo en cuenta el nivel y tipo de ácido graso que conforma la grasa sobrepasante suministrada (Tabla 2-4), la cual indica un

gran aporte en ácidos grasos de cadena larga. Esto concuerda con García et al. (2014) quienes mencionan que los ácidos grasos preformados (C:16 y C:18) utilizados para la síntesis de grasa en la glándula mamaria provenientes de triglicéridos de origen intestinal o de ácidos grasos no esterificados movilizados desde el tejido adiposo, del total de estos, el 50% son transferidos a la leche y estos a su vez son capaces de reducir la síntesis de novo de los ácidos grasos de cadena corta. No obstante, “una cantidad elevada de ácidos grasos C:18 trans inhiben la síntesis de novo y la actividad de la Δ^9 -estearoil-CoA desaturasa, limitando la conversión de ácidos grasos saturados y aumentando tanto los mono como poliinsaturados” (Moioli et al., 2007, p. 3554), esto podría explicar lo sucedido en el tratamiento tres, donde se incorporó a la dieta, grasa sobrepasante mas omega 3, evidenciándose en la muestra tomada a los 90 días de lactancia, una disminución en el porcentaje de ácidos grasos saturados, mientras que el grupo de ácidos monoinsaturados aumento; así mismo, en este tratamiento se evidencia un aumento en los ácidos grasos oleico (C18:1) y linoléico (C18:2) como se observa en la Tabla 3-4. Al respecto, Glasser et al. (2013) mencionan que, en la medida que la disponibilidad en ácidos grasos de 18 átomos de carbono aumenta como consecuencia de un aporte alimentario incrementado, se observa una disminución de la secreción y sobre todo de la concentración en ácidos grasos de cadena media (de C8:0 a C14:0 o C16:0), además la secreción de C18:0 en la leche puede ser aumentada o bien por un aporte de C18:0 contenido en el alimento, o por el aporte de ácidos grasos insaturados de 18 átomos de carbono como consecuencia de su hidrogenación total o parcial en el rumen, para el caso del está evaluación se podría atribuir al aporte de la dieta forrajera, ya que la grasa implementada fue inerte al rumen y no se percibió gran movilización de tejido adiposo. En raciones no suplementadas con lípidos, la proporción de C18:2 en los ácidos grasos de la leche está generalmente comprendida entre 2 y 3%; no obstante en la medida que las raciones son enriquecidas en granos o en aceites ricos en 18:2, ese porcentaje podría aumentar 0,5 a 1,5% (p. 198). Por su parte Stoffel et al. (2015) indican que el efecto de la suplementación con ácidos grasos (AG) insaturados sobre la composición de (AG) de la leche, aumentan el porcentaje de AG C:18 en la leche y disminuyen los AG de cadena corta y media, lo que puede ser debido a una inhibición en la síntesis de novo por los AG de cadena larga, o por sustitución de AG de cadena corta y media por AG de cadena larga sobre los triglicéridos de la leche.

La importancia de manipular la dieta en las vacas, con respecto a la calidad de la leche está en incorporar una adecuada relación de ácidos grasos saturados e insaturados, debido al beneficio que pueden proporcionar estos, a la salud de los consumidores. Prieto et al. (2016) indican que, en Colombia la producción de leche se realiza con animales bajo pastoreo de gramínea sola o en mezcla con leguminosas, dentro de los que se encuentran los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), con o sin suplementación con alimentos concentrados; por lo tanto la aplicación de estrategias nutricionales, como la suplementación lipídica, para producir leche más saludable, conlleva a que se desarrollen estudios sobre las características de la leche en relación con la composición de la grasa (proporción de nutrientes funcionales y AG insaturados) y la variación que se desprende de los sistemas de producción con su alimentación característica; evaluar diferentes fuentes de AG insaturados para incrementar la presencia de nutrientes funcionales.

Como resultado del T3, se evidencia la presencia de ácido linoléico (C18:2) ó en su término genérico: CLA, uno de los ácidos grasos esenciales. A pesar de que en este estudio se encontraron valores bajos de C18:2; la presencia de este isómero en respuesta al tratamiento con inclusión de grasa sobrepasante más omega 3, indica que es positiva la implementación de esta dieta con el fin de obtener un producto con características mejoradas hacia un alimento nutracéutico, que podría contribuir con la salud de los consumidores; así como lo indica Lehnen et al. (2015), quienes han mostrado los efectos protectores contra varias enfermedades comunes como la obesidad, la arteriosclerosis, la diabetes, ciertas enfermedades inflamatorias crónicas y el cáncer, así mismo se han realizado diversos estudios con el ánimo de evaluar los factores que afectan el contenido de CLA en la leche y los derivados lácteos, dada la creciente popularidad que han alcanzado los alimentos funcionales en los últimos años; sugiriendo que la concentración de CLA en los productos lácteos, depende principalmente de la concentración de estos isómeros en la leche desde su ordeño, y de las reacciones que se puedan suceder durante los procesos de transformación (p. 36). Sin embargo, la baja concentración de omega 3 que se suministró, pudo haber sido la causa de no generarse un valor más alto esperado, “teniendo en cuenta que el nivel de lípidos en la dieta no debe exceder los 0,45 Kg/día, incluyendo los lípidos presentes en la alimentación base de los animales (forrajes), siendo el nivel óptimo de utilización de lípidos el 5%” (Duque et al. 2013, p. 3813)b, sin embargo la inclusión realizada en ésta

investigación solo fue de 1,53% de grasa sobrepasante y tan solo 0,02% de omega 3. Por su parte, algunas investigaciones donde el objetivo fue determinar si suplementos con omega 3 eran capaces de modificar el perfil lipídico de la leche en vacas Holstein, encontraron una modificación significativa en los ácidos de cadena larga, incrementando el porcentaje de ácidos grasos de interés en salud humana; esto se logró bajo un suministro de 280g del ácido graso en mención, pudiendo ser está una cantidad recomendable para encontrar mejores resultados. En esta investigación no se suministró la cantidad indicada, debido al costo comercial del producto.

3.4 Actividad reproductiva

Los parámetros reproductivos evaluados en este estudio fueron intervalo entre partos (IEP), servicios por concepción (SC) y días abiertos (DA). No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos propuestos ($p > 0,05$), para ninguna de las variables. El promedio de IEP fue de 363, 357 y 375 días y de DA 85, 79 y 90 días para los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente; mientras que para los SC se encontró valores medios de 1,6 para los tratamientos 1 y 3 y 1,5 para el tratamiento 2. Estos resultados evidencian ventajas sobre el tratamiento 2, obteniendo hembras con mejor eficiencia que permite retomar su actividad reproductiva en menos días y obtener una mayor ciclicidad, fertilidad y preñez; lo cual sugiere que el tratamiento favorece el balance energético requerido por la vaca, para cumplir con la demandante producción y el retorno a una nueva gestación. Esto concuerda con los resultados de Tyagi et al. (2010) en vacas mestizas de alta producción suplementadas con grasa sobrepasante; quienes encontraron que la suplementación permitió reducir el tiempo para el reinicio del ciclo estral e intervalo parto primer servicio; así mismo, Duarte et al. (2016), referenciando varios trabajos con suplementación a base de materias primas de origen lipídico sobrepasante, indican disminución en los días de intervalo entre partos en vacas suplementadas en relación a las vacas del tratamiento control.

Igualmente, algunos autores señalan que el consumo de energía durante el período posparto se relaciona con el desarrollo folicular, la duración del intervalo entre partos y la primera ovulación, al respecto, Galvis et al. (2005) mencionan que, “mientras menor sea el intervalo de tiempo en que los animales pasen de un balance energético negativo a un balance energético positivo, se iniciara más temprano la función y competencia del

folículo dominante, favoreciendo la culminación del desarrollo folicular y la ovulación” (p. 230).

El Programa de Mejoramiento Genético (2009) en Nariño reportó para el cruce Holstein×Simmental un IEP de $410,96 \pm 83,31$ días, para DA $134,76 \pm 82,77$ días y SC de $2,14 \pm 1,34$. Los valores de este estudio son mejores a los reportados para la zona; tanto el tratamiento control como los dos tratamientos suplementados, lo cual rescata el manejo general de la explotación, en lo referente a nutrición, sanidad del hato, detección de celos y efectividad en la inseminación artificial. Adicionalmente, “la suplementación con grasa sobrepasante permite mejorar el estado energético de las vacas permitiéndoles reanudar la función reproductiva después del parto, además de presentar una mejor síntesis de hormonas esteroideas asociadas a la fertilidad de estos animales” (Galvis et al., 2005, p. 231), ya que se favorece el manejo de la ganadería, en cuanto a la detección de celos e inseminación artificial.

3.5 Relación costo-beneficio

La grasa sobrepasante suministrada en este estudio tuvo un costo de \$4680 pesos el kilogramo, lo que equivale a \$4,68 pesos por gramo del producto, este fue proporcionado a razón de 250 gramos por animal al día. El omega tres suministrado tuvo un valor de \$220 pesos por cápsula, con una concentración de 1200 mg del ácido graso. Los animales recibieron dos capsulas por vaca día.

Para el suministro de la suplementación se necesitó de una persona, en este caso del personal de ordeño, el cual ocupa aproximadamente siete minutos de tiempo de trabajo suplementando cada animal, lo que corresponde a \$350 pesos por animal suplementado al día. Los costos totales de la suplementación implementada en este estudio, para los tratamientos 2 y 3 se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. Costos de suplementación.

Tratamiento	Suplemento	Costo Suplemento/día	Días de suplementación	Costo total de la suplementación /días de aplicación	Costo de mano de obra/días de aplicación	Costo total de suplementación y mano de obra
T2	Grasa sobrepasante	1170	120	140400	42000	182400
T3	Grasa sobrepasante	1170	120	140400	42000	235200
	Omega 3	440	120	52800		

Producir un litro de leche en el municipio de Guachucal con condiciones de trópico alto, aproximadamente cuesta \$748 pesos. Suplementar una vaca con grasa sobrepasante tuvo un costo de \$64,13 pesos litro/vaca/día, correspondiente a un monto total de producción de \$812,13 pesos litro/vaca/día, lo cual incrementa 8,5% los costos de producción para el hato. No obstante, los animales suplementados con la grasa produjeron en promedio 579 litros más de leche con relación al grupo control, para el total de la lactancia, proporcionando un incremento de la producción de 8,7%; evidenciándose una relación beneficio-costos de 0,2%. Además, teniendo en cuenta que el precio del litro de leche producido en promedio es de \$1.082,7 pesos, los 579 litros excedentes en éste tratamiento representarían un ingreso de \$626.883 pesos, evidenciando un beneficio neto de \$444.483 para el tratamiento dos.

Por su parte la suplementación con grasa sobrepasante más omega tres logra un valor de \$87,5 pesos litro/vaca/día, lo que indica un monto final de producción de \$835,5 pesos litro/vaca/día, lo cual incrementa en un 11,6% los costos de producción para el hato y aumenta en un 2,75% la producción equivalente a 183 litros más de leche, en comparación al control, los cuales representan \$198.134 pesos, indicando un margen

negativo de \$-37.066 respecto al costo de producción, lo cual muestra que, en costos directos la suplementación no se paga.

Finalmente, al analizar la respuesta de las suplementaciones frente a costos, producción y los diferentes efectos metabólicos y reproductivos en el animal, se puede observar que el T2 (suministro de grasa sobrepasante) tuvo mejor respuesta, ya que ésta suplementación tiene un costo más bajo, un mejor efecto sobre la reproducción y manifiesta una producción más alta, con ganancias que compensan lo suplementado. Por su parte, en el T3 es importante resaltar que las propiedades mejoradas en el perfil lipídico de la leche, gracias a la presencia del ácido graso linoléico (C18:2), podría contemplar un valor agregado para el producto. Esto indica que, a pesar del incremento en los costos de producción para el sistema ganadero, el suministro de las suplementaciones manifiesta respuestas positivas las cuales se pueden evidenciar de forma directa (aumento de la producción lechera) o indirecta (mejoramiento en el metabolismo energético y la actividad reproductiva).

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El estudio permitió identificar los indicadores metabólicos asociados al comportamiento energético y proteico y el perfil lipídico de la leche con y sin suplementación, siendo valores importantes como referencia, en producciones especializadas de leche con este grupo racial; en condiciones de trópico alto.

Los animales en evaluación no presentaron excesiva movilización lipídica, lo cual se evidenció en una ligera disminución de la condición corporal. Adicionalmente los indicadores metabólicos energéticos, no sufrieron cambios drásticos, lo cual indica que la dieta ofrecida en la ganadería más la suplementación suministrada, cumple con los requerimientos de energía para las vacas evaluadas.

El tratamiento dos, relacionado a la adición con grasa sobrepasante, reveló ventajas sobre el comportamiento energético, el metabolismo asociado a nitrógeno en la dieta y la producción de leche estimada por lactancia. Esto manifiesta un balance energético positivo, proporcionado a partir de la energía suministrada por suplementación ofrecida; lo cual se ve reflejado en el mejor comportamiento reproductivo.

La producción de leche y la composición nutricional, fue influenciada por la suplementación suministrada, tanto para el T2 y T3. Igualmente la adición de omega 3, mejoró el perfil de ácidos grasos, que se ve reflejados en los resultados obtenidos, principalmente de C18:2, que se considera con propiedades nutraceuticas

En cuanto a la actividad reproductiva, se evidenciaron ventajas en el tratamiento dos, el cual permitió observar superioridad en la eficiencia, al retomar su actividad reproductiva en menos días y así obtener una mejor ciclicidad, fertilidad y preñez; aunque no fue representativo frente a los otros dos tratamientos en evaluación.

Al evaluar el costo-beneficio de las suplementaciones analizadas, la adición única de grasa sobrepasante, manifiesta mayores beneficios, ya que el aumento del costo de producción se ve compensado con el volumen de leche producido; sin embargo en el tratamiento tres, al adicionar grasa sobrepasante más omega 3; se obtiene un producto con una composición mejorada, que puede ser un valor agregado a la leche, al contener propiedades benéficas a la salud de los consumidores, como lo es la presencia de C18:2.

4.2 Recomendaciones

Los mayores cambios fisiológicos y que podrían exponer al animal a desequilibrar su homeostasis, se presentan en el periodo de transición; por lo cual es importante seguir estudiando todos los fenómenos ocurridos durante este lapso de tiempo e implementar las estrategias necesarias, donde se tenga en cuenta los diferentes nutrientes de importancia en los procesos bioquímicos que podrían verse afectados en este periodo, como consecuencia de la reducción del consumo y el aumento de los requerimientos nutricionales.

Es necesario fomentar estrategias nutricionales en las ganaderías especializadas de leche, con el fin de modificar la composición nutricional de la misma, para obtener un alimento que contenga propiedades benéficas al consumidor, lo cual incrementaría el nivel competitivo de los productores en el mercado y se potencializaría el objetivo de la producción lechera de mayor valor nutricional como se espera sea exigido en el futuro.

Se sugiere realizar investigaciones, a partir de la metodología planteada en este estudio, pero con un mayor número de animales para tener un efecto estadístico más confiable. Teniendo en cuenta que el número de animales se dificulta por el tipo de manejo y tamaño de los rebaños de la región, se recomienda realizar el trabajo con varias ganaderías en conjunto, que representen condiciones lo más homogéneas posibles entre ellas.

Para comprender de mejor manera el comportamiento reproductivo, se sugiere realizar estudios que contemplen parámetros que evalúen la actividad ovárica, con la implementación de ecografía y/o medición de hormonas relacionadas.

Es importante continuar desarrollando estudios, que permitan ampliar el conocimiento sobre los procesos involucrados en el metabolismo y homeostasis de las vacas de alta

producción de leche durante el periodo de transición, teniendo en cuenta las particularidades de la región, especialmente de suelo, altura, clima, topografía, tipo de animal y praderas establecidas; con la finalidad de optimizar el manejo nutricional de los animales y asegurar el éxito de la lactancia.

Bibliografía

Adrien, M. L.; Mattiauda, D. A.; Artegoitia, V.; Carriquiry, M.; Motta, G.; Bentancur, O.; y Meikle, A. (2012). Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal*, 6 (2): 292–299.

Agudelo, D. y Bedoya, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lassallista Inv*, vol. 2 No. 1. pp. 38-42.

Aguilar, O., Moreno, B., Pabón, M., y Carulla, J. (2009)^a. Efecto del consumo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o raigrás (*Lolium hybridum*) sobre la concentración de ácido linoléico conjugado y el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea. *Livestock research for rural development*, 21(4). p. 1-21.

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

Álvarez, H., Dichio, L., Pece, M., Cangiano, C., y Galli, J. (2006). Producción de leche bovina con distintos niveles de asignación de pastura y suplementación energética. *Ciencia e Inv. Agraria*, 33, 99-107.

Angulo, J., Machecha, L. y Olivera, M. (2009). Síntesis, composición y Modificación de la grasa de la leche bovina: Un nutriente valioso para la salud humana. *Rev. MVZ Córdoba*. Vol. 14. No. 3. pp. 1856-1866.

Apráez, E. y Achicanoy, F. (2015). Efecto de las características edafoclimáticas en la calidad nutritiva del pasto brasilero (*Phalaris sp.*) en el altiplano de Nariño. *Revista Ciencia Animal*, (9), 69-82.

Apráez, E., Alvear, C., y Díaz, N. (2014). Valoración productiva de algunas asociaciones de gramíneas y leguminosas en el trópico alto andino de Nariño. *Revista Ciencia Animal*, (8), 21-40.

Aschenbach, J.; kristensen, N.; Donkin, S.; Hammon, H.; y Penner, G. (2010). Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour Dough. *IUBMB Life*, 62 (12): 869 – 877.

Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Simmental y Simbrah. 2017. Disponible en: http://www.simmentalsimbrah.com.mx/historia_simmental.html.

Bauman, D., Harvatine, K. and Lock, A. (2011). Nutrigenomics, rumen-derived bioactive fatty acids, and the regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 31:299-319.

Bastin, C.; Gengler, N. y Soyeurt, H. (2011). Phenotypic and genetic variability of production traits and milk fatty acid contents across days in milk for Walloon Holstein first-parity cows. *J Dairy Sci*, 94: 4152-4163.

Block, E. (2010). Transition Cow Research – What Makes Sense Today?. *High Plains Dairy Conference, Arm & Hammer Animal Nutrition*. p. 75-98

Bradford, P. (2010). *Medicina interna de grandes animales*. Ed. Elsevier, Barcelona, España. p. 1813.

Burgos, S. A.; Embertson, N. M., Zhao, Y.; Mitloehner, F. M.; DePeters, E.J.; y Fadel, J. G. (2010). Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure base on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. *J. Dairy Sci.*, 93 (6): 2377 – 2386.

Cabrera, O. y del Carpio, R. (2007). Rendimiento de vacas Holstein en lactación alimentadas con grasa sobrepasante en las dietas. Disponible en: <http://www.engormix.com/MAGanaderia-leche/sanidad/articulos/rendimiento-vacas-holstein-lactaciont1875/165-p0.htm>.

Calvache, I.; y Navas, A. (2012). Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Rev. Cienc. Anim.* 5: 73 - 85.

Campos, R., García, K., Hernández, E. y Giraldo, L. (2012). Protein and mineral metabolites for dairy cows during the transition period under tropical conditions. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(2), 6719-6728.

Campos, R.; Cubillos, C.; y Rodas, A. (2007). Indicadores metabólicos en razas lecheras especializadas en condiciones tropicales en Colombia. *Acta Agronómica*, 56 (2): 85 – 92.

Campos, R. y Rodas A. (1999). Evaluación de la triyodotironina (T3), tiroxina (T4) y colesterol (CHO), en cuatro grupos de bovinos Holstein ubicados en sistemas de producción en trópico alto y bajo. *Acta agronómica*, V. 49, n. 1 y 2, p. 67-71.

Cañas, J.; Cerón, M.; y Corrales, J. (2012). Modelación y parámetros genéticos de curvas de lactancia en bovinos Holstein en Colombia. *Rev. MVZ Córdoba*, 17 (2): 2998 - 3003.

Carulla, J. y Ortega, E. (2016). Dairy production systems of Colombia: challenges and opportunities. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2).

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

Ceballos, A., Villa, N. A., Bohórquez, A., Quiceno, J., Jaramillo, M., y Giraldo, G. (2002)^a. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 26-35.

Ceballos, A., Gómez, P., Vélez, M., Villa, N. y López, L. (2002)^b. Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 13-25.

Contarini, G. y Povolò, M. (2013). Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *Int J Mol Sci*, 14: 2808-2831.

Contreras, G.; O'Boyle, N.; Herdt, T.; y Sordillo, L. (2010). Lipomobilization in periparturient dairy cows influences the composition of plasma nonesterified fatty acids and leukocyte phospholipid fatty acids. *J Dairy Sci*, 93 (6): 2508 – 2516.

Contreras, G.; y Sordillo, L. (2011). Lipid mobilization and inflammatory responses during the transition period of dairy cows. *Com Immunol Microbiol Infect Dis*, 34 (3); 281 – 289.

Cunningham, J.G.; Klein, B.G. (2009). *Fisiología Veterinaria*. Elsevier, Barcelona, España.

Córdova, A. y Pérez, J. (2005). Relación reproducción-producción en vacas Holstein. *Rev Elec Vet*, Vol. VI, No. 2. p. 1-4.

Correa, H. (2011). Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche. Tesis doctoral Universidad Nacional de Colombia. p. 1-243.

Crespi, D., Mendoza, A. y Cavestany, D. (2014). Efecto de la suplementación con concentrados conteniendo granos de girasol o soja sobre las variables productivas y reproductivas y el metabolismo en vacas Holando primíparas durante el posparto temprano. *Artículos científicos*, 50, 4.

Dashty, M. (2013). A quick look at biochemistry: Carbohydrate metabolism. *Clin Biochem*, 46: 1339-1352.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2016). Boletín mensual de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria en Colombia. p. 1-102.

Dirandeh, E., Towhidi, A., Zeinoaldini, S., Ganjkhanlou, M., AnsariPirsaraei, Z., Fouladi-Nashta, A. (2013). Effects of different polyunsaturated fatty acid supplementations during the postpartum periods of early lactating dairy cows on milk yield, metabolic responses, and reproductive performances. *J. Anim. Sci.* 91, 713–721.

Djokovic, R., Samanc, H., Jovanovic, M., Fratric, N., Doskovic, V., & Stanimirovic, Z. (2013). Relationship among blood indicators of hepatic function and lipid content in the liver during transitional period in high-yielding dairy cows. *Acta Scientiae Veterinariae*, 41(1128), 1-2.

Duarte, J., Ramírez, G. y Castañeda, R. (2016). Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 8(2), 228-242.

Douglas, G., Overton, T., Bateman, H., Dann, H. y Drackley, J. (2006). Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. *Journal of dairy science*, 89(6), 2141-2157.

Duque, M., Noguera, R., Gallo, J. y Olivera, M. (2013). Efecto de la suplementación con grasa protegida conteniendo ácidos omega 6 y 3 sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vaca Holstein. *Livestock Research for Rural of Development*, 25(4), 12-28.

Duque, Q., Rosero, N., Gallo, J. y Olivera, A. (2013). Efecto de la suplementación con grasas protegidas sobre parámetros productivos y reproductivos en vacas lactantes. *Revista MVZ Córdoba*, 18(3), 3812-3821.

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

Duske, K., Hammon, H., Langhof, A., Bellmann, O., Losand, B., Nürnberg, K. y Metges, C. (2009). Metabolism and lactation performance in dairy cows fed a diet containing rumen-protected fat during the last twelve weeks of gestation. *Journal of dairy science*, 92(4), 1670-1684.

Echeverri, J. y Restrepo, L. (2009). Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos municipios de Antioquia, Colombia. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 6, núm. 1, 2009, pp. 50-57.

El-Loly, M. (2011). Composition, properties and nutritional aspects of milk fat globule membrane. *Pol J Food Nutr Sci*, 61: 7-32.

Eraso, M., Zambrano, G., Tobar, F. y Ojeda, H. (2014). Evaluación agronómica del pasto brasilero phalaris sp., en tres municipios del departamento de Nariño, empleando fertilización orgánica. *Rev agron*. 22(1): 58 – 65.

Esposito, G.; Irons, P.; Webb, E. y Chapwanya, A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Anim Reprod Sci*, 144 (3-4): 60 – 71.

Esposito, G., Schneider, A., Absalón M., Pelton, S. y Butler, W. (2013). Effect of dietary conjugated linoleic acid on reproduction and tissue responses in dairy cows. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 43 (1), 33–37.

FEDEGAN. (2015). Estructura de costos de la ganadería bovina en Colombia. En: III Foro Internacional Lácteo Alpina - Cámara de Comercio de Bogotá. Mayo 2015.

Fernández G. (2014). Cambios metabólicos asociados al sistema de explotación del vacuno lechero. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. España. p. 1-264.

Fuentes M. (2009). Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

Gagliostro G. y Schroeder G. (2007). Efectos de la suplementación con sales cálcicas de ácidos grasos insaturados sobre la digestión ruminal en vacas lecheras en pastoreo. *Arch Latinoamer Prod Anim.* 15:88-99.

Galvis, R.; Munera, E. y Marín, A. (2005). Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Rev Col Cienc Pec*, 18 (3): 228-239.

Galvis, R., y Correa, H. (2002). Interacciones entre el metabolismo y la reproducción en la vaca lechera: es la actividad gluconeogénica el eslabón perdido?. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 36-50.

García, K., Campos, R., y Giraldo, L. (2016). Suplementación vitamínica y mineral como estrategia para reducir la incidencia de cetosis bovina en el trópico bajo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 8(2), 204-213.

García, C., Montiel, R., y Borderas, T. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), 85-105.

García, C. y Montiel, R. (2011). El periodo de transición de la vaca lechera. Artículo de Revisión, Sociedades rurales, producción y medio ambiente. Vol. 11 No. 22. p. 151-172.

García, B. (2008). Los costos ocultos de la ineficiencia reproductiva. XXXVI Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú, Uruguay, pp.133-135.

Glasser, F., Enjalbert, F., Ferlay, A., Bocquier, F. y Schmidely, P. (2013). Resultados recientes sobre los efectos de la alimentación en la composición en ácidos grasos de la leche de vaca, cabra y oveja. Revista Argentina de Producción Animal, 27(3), 197-213.

Goff, J. (2006). Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. J Dairy Sci 89(4): 1292-1301.

González, F., Barcellos, J., Patiño, H. y Ribeiro, L. (2000). Perfil metabólico em ruminantes. Seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre: Editora UFRGS, 106.

Grande, P. y Tadeu, G. (2008). O uso do perfil metabólico na nutrição de vacas leiteras. Núcleo Pluridisciplinar de Pesquisa e Estudo da cadeia Produtiva do Leite; Universidad estatal de Maringá. p. 1-26.

Gross, J.; Schwarz, F.; Eder, K.; Van Dorland, H. y Bruckmaier, R. (2013). Liver fat content and lipid metabolism in dairy cows during early lactation and during a mid-lactation feed restriction. J Dairy Sci, 96 (8): 5008 – 5017.

Gutiérrez, A., Martínez, J. y Barón R. (2010). Contenido de ácido linoleico conjugado (cla) y composición de ácidos grasos en algunos yogures comerciales de Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2), 5685.

Harvatine, K. (2015). Fatty acid nutrition and milk fat depression. Department of Animal Science. The Pennsylvania State University. p. 1-10.

Harvatine, K.; Boisclair, Y. y Bauman, D. (2009). Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. Animal, 3: 40-54.

Hassim, H.; Lourenço, M.; Goel, G.; Vlaeminck, B.; 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. *Anim Feed Sci. Technol.* 162:155-158.

Hernández, R. y Díaz, T. (2011). Las grasas sobrepasantes y su efecto sobre la actividad productiva y reproductiva en rumiantes. *Innovación y Tecnología en la Ganadería Doble Propósito*, de la Fundación GIRARZ. 333-343.

Hernández, R. (2010). Efectos de la suplementación con grasa sobrepasante sobre parámetros productivos y reproductivos en vacas Brahman de primer parto a pastoreo. Trabajo de ascenso. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela. pp. 97.

Hiltunen, J.; Chen, Z.; Haapalainen, A.; Wierenga, R. y Kastaniotis, A. (2010). Mitochondrial fatty acid synthesis-an adopted set of enzymes making a pathway of major importance for the cellular metabolism. *Prog Lipid Res*, 49: 27-45.

Houten, S. y Wanders, R. (2010). A general introduction to the biochemistry of mitochondrial fatty acid beta-oxidation. *J Inherit Metab Dis*, 33: 469-477.

Jacobs, A.; Dijkstra, J.; Liesman, J.; Vandehaar, M.; Lock, A.; van Vuuren, A.; Hendriks, W. y Van Baal, J. (2013). Effects of short-and long-chain fatty acids on the expression of stearoyl-CoA desaturase and other lipogenic genes in bovine mammary epithelial cells. *Animal*, 7: 1508-1516.

Jump, D. (2011). Fatty acid regulation of hepatic lipid metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 14: 115-120.

Jorritsma, R., Wensing, T., Kruij, T., Vos, P. y Noordhuizen, J. (2003). Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows. *Veterinary Research*, 34(1), 11-26.

Kaneko J.; Harvey J. y Bruss M. (2008). *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6th ed., Academic Press, Inc. San Diego.

Leaño L. (2009). Influencia climática sobre la producción bovina. Tesis doctoral. Universidad de Sucre.

LeBlanc, S., Lissemore, K., Kelton, D., Duffield, T., y Leslie, K. (2006). Major advances in disease prevention in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 89(4), 1267-1279.

Lehnen, T., da Silva, M., Camacho, A., Marcadenti, A., y Lehnen, A. (2015). A review on effects of conjugated linoleic fatty acid (CLA) upon body composition and energetic metabolism. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 36.

Lemaire, C., Grela, C., De María P. y Cavestany D. (2012). Indicadores reproductivos en predios lecheros en Uruguay: Resultados de dos años de evaluación. *Veterinaria (Montevideo)* 48:17-22.

López, O., García, M., Islas, E., Ramírez, V., Ruíz, F. y Ponce, C. (2013). Los isómeros cis-9, trans-11 y trans-10, cis-12 de ácido linoléico conjugado y su relación con producción de leche de vacas Holstein-Friesian. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(3), 339-360.

López, E., Villegas, Y., Gómez, A., Vinay, J., Mendoza, G., Plascencia, A. y Hernández, J. (2011). Contenido de urea láctea en lactación de bovinos en el trópico húmedo veracruzano. *Universidad y ciencia*, 27(2), 199-208.

López, F. (2006). Relación entre la condición corporal y la eficiencia productiva en vacas Holstein. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 78 (4): 77-86.

Mac Loughlin, R. (2005). Requerimientos de proteína y formulación de raciones en bovinos para carne. *Investigación y Desarrollo Agropecuario*. <http://www.produccion-animal.com.ar>. [23/3/2012].

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

Martínez, B., Moya C., González R., Hernández, J. y Pinelli S. (2010). Contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche de ganado lechero Holstein estabulado en el noroeste de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 221-235.

McNamara, S., Murfhy, J., Rath, M. y O'Mara, F. (2003). Effects of different transition diets on Energy balance, blood metabolites and reproductive performance in dairy cows. *Livestock Production Science* 84: 195-206.

Meikle, A., Cavestany, D., Carriquiry, M., Adrien, M., Artegoitia, V., Pereira, I. y Breijo, M. (2013). Avances en el conocimiento de la vaca lechera durante el período de transición en Uruguay: un enfoque multidisciplinario. *Agrociencia Uruguay*, 17(1), 141-152.

Mertens, D. (2002). Physical and chemical characteristics of fiber affecting dairy cow performance. En: *Proc Cornell Nutrition Conf. Ithaca, NY*. p 125-144.

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

Montaño, E. y Cortés, Z. (2016). ¿ Por qué no ovulan los primeros folículos dominantes de las vacas cebú posparto en el trópico colombiano?. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(2), 127-135.

Montoya N., Pino I. y Correa H. (2004). Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 17 241 - 249.

Morales, J. y Cavestany, D. (2012). Anestro posparto en vacas lecheras: tratamientos hormonales. *Revisión. Veterinaria (Montevideo)*, 48(188), 19-27.

Moyano B., y Rodríguez, C. (2014). Suplementación energética y su efecto en el nivel de colesterol y el perfil hormonal preovulatorio en vacas. *Revista de Salud Animal*, 36(2), 90-96.

Mulligan, F., O'Grady, L., Rice, D., y Doherty, M. (2006). Production diseases of the transition cow: body condition score and energy balance. *Irish Veterinary Journal*, 59(9), 505.

Nunes-Nesi, A.; Araujo, W.; Obata, T. y Fernie, A. (2013). Regulation of the mitochondrial tricarboxylic acid cycle. *Curr Opin Plant Biol*, 16: 335-343.

Obregón, A. y Valenzuela, A. (2009). Ácido linoleico conjugada (ALC), metabolismo de lípidos y enfermedad cardiovascular. *Rev Chil Nur* Vol. 36 No. 3. p. 258-268.

Pedraza, C., Mansilla, A., Merucci, F., Pinedo, P. y Contreras, H. (2006). Niveles de Urea Láctea en Vacas de la Región del Bío-Bío, Chile. *Agricultura Técnica*, 66(3), 264-270.

Peter, A., Vos, P. y Ambrose, D. (2009). Postpartum anestrus in dairy cattle. *Theriogenology* 71:1333-1342.

Preynat, A.; Lapierre, H.; Thivierge, M.; Palin, M.; Matte, J.; Desrochers, A.; y Girard, L. (2009). Effects of supplements of folic acid, vitamin B12, and rumen-protected methionine on whole body metabolism of methionine and glucose in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 92 (2): 677 – 689.

Prieto M., Mahecha L., Angulo A., y Vargas J. (2016). Efecto de la suplementación lipídica sobre ácidos grasos en leche de vaca, énfasis en ácido ruménico. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 421-437.

Programa de Mejoramiento Genético. (2009). Informe final convenio “Caracterización y Evaluación Genética de la Población Bovina Lechera del Trópico Alto de Nariño para la Conformación de Núcleos de Selección”, Universidad de Nariño, Pasto – Colombia.

Quintero, M., Olivera, M., y Noguera, R. (2011). Metabolismo energético en vacas durante la lactancia temprana y el efecto de la suplementación con grasa protegida. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(1), 74-82.

Quiroz, G.; LeBlanc, S.; Duffield, T.; Wood, D.; Leslie, K.; y Jacobs, R. (2009). Reference limits for biochemical and hematological analytes of dairy cows one week before and one week after parturition. *Can Vet J.* 50: 383-388.

Remppis, S.; Steingass, H.; Gruber, L.; y Schenkel, H. (2011). Effects of energy intake on performance, mobilization and retention of body tissue, and metabolic parameters in dairy cows with special regard to effects of pre-partum nutrition on lactation- A review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24 (4): 540-572.

Reist, M., Erdin, D., von Euw, D., Tschümperlin, K., Leuenberger, H., Hammon, H. M., y Blum, J. (2003). Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows. *Theriogenology*, 59(8), 1707-1723.

Relling, A. y Mattioli, G. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Argentina: UNLP Editorial Edulp, 23-55.

Russell, K. y Roussel, A. (2007). Evaluation of the ruminant serum chemistry profile. *Vet Clin Food Anim*, 23 (3): 403 – 426.

Saggerson, D. (2008). Malonyl-CoA, a key signaling molecule in mammalian cells. *Annu Rev Nutr*, 28: 253-272.

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

Salvador, A., Alvarado, C., Contreras, I., Betancourt, R., Gallo, J., & Caigua, A. (2009). Efecto de la alimentación con grasa sobrepasante sobre la producción y composición de leche de cabra en condiciones tropicales. *Zootecnia Trop*, 27(3), 285-298.

Sebastien, E., Freret, S., Desmarchais, A., Maillard, V., Cognié, J., Briant, E. y Uzbekova, S. (2016). Effect of a long chain n-3 PUFA-enriched diet on production and reproduction variables in Holstein dairy cows. *Animal reproduction science*, 164, 121-132.

SAS Institute (2002). SAS/STAT software: Version 9.0 (TS M0). Cary, NC: SAS Institute.

Solarte, C. y Zambrano, G. (2012). Characterization and Genetic Evaluation of Holstein Cattle in Nariño, Colombia. *Rev Col Cienc Pec*. 25:539-547.

Sossa, C. y Barahona, R. (2015). Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación energética. *Rev Med Vet Zoot*, 62 (1): 67-80.

Sossa, A., Montero, M. y Juárez, F. (2009). Contenido de ácidos grasos y conjugados del ácido linoléico en carne de bovinos. *Rev. Electrón. Vet*. Vol. 10, Nº 10. p. 1-84.

Stoffel, C., Crump, P. y Armentano, L. (2015). Effect of dietary fatty acid supplements, varying in fatty acid composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total fatty acids. *J. Dairy Sci.* 98:431-442.

Suthar, V.; Canelas, J.; Deniz, A. y Heuwieser, W. (2013). Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *J Dairy Sci*, 96 (5): 2925 – 2938.

Tóthová, C.; Nagy, O.; Seidel, H.; Konvicna, J.; Farkasová, Z.; y Kovác, G. (2008). Acute phase proteins and variables of protein metabolism in dairy cows during the pre-and postpartal period. *Acta Vet Brno*, 77, 51 – 57.

Toral, P., Chilliard, Y., Rouel, J., Leskinen, H., Shingfield, J. y Bernard, L. (2015). Comparison of the nutritional regulation of milk fat secretion and composition in cows and goats. *J. Dairy Sci.* 98: 7277 – 7297.

Toral, P., Hervás, G. y Frutos, P. (2013). ¿Qué es la nutrigenómica? Un ejemplo sobre la regulación del perfil lipídico de la leche. *Albítar: publicación veterinaria independiente*, (163), 48-49.

Trujillo, S. (2014). Variación energética, proteica, hormonal y láctea durante el período gestación - posparto en vacas doble propósito. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Mexico.

Tyagi, N., Thakur, S. y Shelke, S. (2010). Effect of bypass fat supplementation on productive and reproductive performance in crossbred cows. *Trop Anim Health Prod* 42:1749–1755

Van Lier, E y Regueiro, M. (2008). Digestión en retículo-rumen. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay, pp. 23-27.

Van Saun, R. (2008). Metabolic profiling of transition cows: can we predict impending problems. In *Danish Bovine Practitioner Seminar*, Middelfart (pp. 24-25).

Vera, J., Briceño, E., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A., Aguilar, C. y Ramírez, L. (2013). Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para

mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 48, Número 1. p. 43-53.

Vilariño, O. (2011). *Acción del malato sobre el metabolismo en terneros de cebo*. Tesis Doctoral, Facultad de Veterinaria, Universidad de Santiago de Compostela.

Villa, N., Osorio, J., Escobar, D. y Ceballos, A. (2011). Indicadores bioquímicos del balance energético en el periparto de vacas Brahman en pastoreo en el trópico Colombiano. *Revista Científica*, 21(4), 353-359.

Viloria, J. (2007). *Economía del Departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico*. Cartagena, Colombia: Banco de la República, Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). p.87.

Wakil, S. y Abu-Elheiga, L. (2009). Fatty acid metabolism: target for metabolic syndrome. *J Lipid Res*, 50: S138-S143.

Walsh, S., Williams, E. y Evans, A. (2011). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim. Reprod Sci* 123:127-138.

Wathes, C.; Cheng, Z.; Chowdhury, W.; Fenwick, M.; Fitzpatrick, R.; Morris, D.; Patton, J.; y Murphy, J. (2009). Negative energy balance alters global gene expression and immune responses in the uterus of postpartum dairy cows. *Physiol Genomics* 39, 1–13.

Weber, C.; Hametner, C.; Tuchscherer, A.; Losand, B.; Kanitz, E.; Otten, W.; Sauerwein, R. M.; Becker, F.; Kanitz, W.; y Hammon, H. (2013). Hepatic gene expression involved in glucose and lipid metabolism in transition cows: Effects of fat mobilization during early lactation in relation to milk performance and metabolic changes. *J Dairy Sci*, 96 (9): 5670–5681.

Williams, G y Stanko R. (2000). Dietary fats as reproductive nutraceuticals in beef cattle. *J Anim Sci* 77: 1-12.

Zarate, R., Pedrozo, R., Contrera, J., Alonso, V., Torres, M., Ortega, O., Lara, M., Baez, M., González, A. y Branda, L. (2016). Perfil metabólico durante el período de transición preparto y posparto de vacas Holstein del distrito J. Eulogio Estigarribia, Paraguay. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(1), 35-42

Zarate, M., Vinay V., Carballo, O., Hernández, H., y Amezcua, M. (2011). Efecto de la alimentación con grasas protegidas en vacas de doble propósito. *Agronomía mesoamericana*. México, 22(2), 359-366.