UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

ANTEPROYECTO DE TESIS

EFECTO DE LA ADICIÓN DE GRASAS PROTEGIDAS SOBRE LA COMPOSICIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO

PRESENTA

LUCERO ALEJANDRA GARCÍA HERNÁNDEZ

MAYRA ROMERO CASIQUE

ASESOR

DR. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

CO-ASESORES

DR. DARWIN HEREDIA NAVA

DR. BENITO ALBARRÁN PORTILLO

Temascaltepec, México. Julio de 2026.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS xiii

INDICE DE FIGURAS xiv

INDICE DE ANEXOS xv

RESUMEN xvi

I. INTRODUCCIÓN 18

II. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE LITERATURA 21

2.1. Situación actual de la producción de leche de bovino en México 45

2.2. Producción mundial de la leche 46

2.3. Principales sistemas de producción de leche 47

2.4. Factores de las vacas que afectan la producción de leche..... 49

2.4.1. Condición corporal y balance energético 49

2.4.2. Edad de las vaquillas en el primer parto 50

2.4.3. Intervalo entre partos 50

2.4.4. Días sin preñez 50

2.5. Fisiología de la lactación en la vaca lechera..... 50

2.6. Impacto del balance energético negativo..... 51

2.7. Periodos de lactancia..... 52

2.8. Características fisicoquímicas de la leche 52

2.8.1. Composición de la leche 52

2.9 Composición de la leche de vaca 53

2.10. Conservación de los componentes de la leche 56

2.10.1. Manejo (procesamiento) del producto 56

2.11. Estrategias de alimentación para la producción de leche en México 57

IV. HIPÓTESIS 65

V. OBJETIVOS 66

5.1. General 66

5.2. Particulares 66

VI. MATERIALES Y MÉTODOS 67

6.1. Límite de espacio 67

6.2. Periodo de Estudio 67

6.3. Materiales 67

6.3.1. Material de campo 67

6.3.2. Material biológico 68

6.3.3. Equipo de laboratorio 68

6.3.4. Material de gabinete 68

6.4. Métodos 69

6.4.1. Vacas 69

6.4.2. Alimentación 70

6.4.3. Peso Vivo 73

6.4.4. Condición corporal 73

6.4.5. Composición química de la leche 74

6.4.6. Análisis de laboratorio de alimento..... 74

6.5. Análisis estadístico 74

VIII. DISCUSIÓN 81

IX. CONCLUSIONES 87

X. RECOMENDACIONES 88

XI . LITERATURA CONSULTADA 89

ANEXOS 98

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Participación de los sistemas de producción de leche..... 49

Cuadro 2. Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100 g) 53

Cuadro *3*. Composición química de la dieta experimental 71

Cuadro *4*. Composición química del concentrado comercial en la dieta experimental 71

Cuadro *5*. Contenido de energía de la dieta del ganado 72

Cuadro 6. Producción y calidad de leche por tratamiento 76

Cuadro 7. Producción y calidad de leche por periodo 78

Cuadro 8. Producción y calidad de leche por vaca 80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volumen de Producción de Leche de Bovino por Entidad (2023). 46

Figura 2. Lechería Familiar..... 47

Figura 3. Lechería especializada..... 48

Figura 4. Vacas de la raza Gyr lechero en los sistemas doble propósito 49

Figura 5. Curva de lactancia de las vacas lecheras 52

Figura 6. Panorama de la leche en México. 57

Figura 7. Alimentación de vacas Holstein. 59

Figura 8. Medidas de la condición corporal de vacas lecheras. 62

Figura 9 . Anatomía y determinación de la condición corporal de vacas lecheras. 62

Figura 10. Uso de jabones cálcicos en alimentación de bovinos. 72

Figura 11. Interacción en la producción de leche 77

Figura 12. Producción de leche en la interacción periodo*tratamiento..... 79

Figura 13. Ejemplares de razas de vacas lecheras Holstein y Jersey..... 86

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ejemplares Jersey en el Rancho El Progreso 98

Anexo 2. Ordeña mecánica. 99

Anexo 3. Ejemplares de Rancho El Progreso siendo ordeñadas de manera mecánica. 99

Anexo 3. Ejemplares Rancho El Progreso 100

Anexo 4. Ejemplar Jersey Rancho El Progreso..... 101

RESUMEN

El principal desafío agropecuario, es incrementar la eficiencia en la producción de alimentos de alto valor biológico. En este sentido, en la producción especializada de leche, las vacas experimentan un Balance Energético Negativo (BEN) severo durante el postparto. Ante esta problemática, las grasas protegidas representan una alternativa nutricional estratégica por su elevada densidad energética y su propiedad de permanecer inertes en el rumen, liberándose en el abomaso para su posterior digestión y absorción intestinal. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la adición de grasas protegidas de sobrepaso sobre el volumen de producción diaria y la calidad composicional de la leche en vacas bajo condiciones de pastoreo. En función de lo anterior, se probaron tres tratamientos: T1: Testigo, T2: Grasa de aguacate (150 g de aceite aguacate) y T3: Grasa de palma (150 g de aceite). Todas las vacas recibieron 17 kg de ensilado de maíz, 2 kg de alfalfa achicalada y 8 kg de concentrado, respectivamente. Los principales resultados indicaron que en las variables de producción de leche, lactosa, proteína cruda y grasa, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre tratamientos, pero si en el peso y la condición corporal ($p<0.05$). Con relación al periodo no observaron diferencias en producción de leche y en la condición corporal ($p<0.05$). Para el resto de las variables analizadas se observaron diferencias significativas ($p>0.05$). En este sentido, los valores más altos se obtuvieron durante el periodo 1 de medición para el caso de la PC, grasa y lactosa en la leche. Mientras que para el peso vivo el mayor valor se observó durante el periodo 3. En función de lo anterior, se concluyó

que hay un efecto en producción de leche ni en la proteína, lactosa y sólidos, confirmando que estas grasas no alteran la fermentación ruminal de la fibra ni la calidad de la leche. No obstante el aceite de palma aceleró notablemente la recuperación de la condición corporal en comparación con los ácidos.

Palabras clave: grasas de sobre paso, vacas, alimentación, producción y calidad, leche.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos en los próximos años será producir suficientes alimentos para satisfacer las necesidades de la población en rápido crecimiento. En los últimos años, los productores de leche han tratado de transformar sus hatos para mejorar la eficiencia y aumentar las ganancias (Méndez, 2013). La leche es un alimento universal. La energía ha sido un nutriente importante para la alimentación, esta afecta directamente la producción de leche, cambio de peso y también en la reproducción de la vaca, de ahí la necesidad de dar alimentos con una buena densidad energética (García, 2012). Para una vaca lechera, después del parto, la cantidad de energía requerida para la producción de leche y para el mantenimiento de los tejidos del cuerpo es mucho mayor que la cantidad de energía consumida, esto crea una imagen en la que el cuerpo guarda reservas, de las cuales la mayoría son grasas que deben movilizarse para promover suficiente energía y mantener un alto nivel de producción de leche (Méndez, 2013).

A pesar de que las grasas son una mayor fuente de energía pueden interferir en el aprovechamiento de la fibra, con la fermentación ruminal y como consecuencia el rendimiento productivo. Por ese motivo se han empleado nuevas técnicas de alimentación como son las grasas de sobrepaso que son elaboradas con sales cálcicas y con aceites de oleaginosas, lo cual permite que se puedan incorporar a la dieta, no interferir en el metabolismo bacteriano y llegar al duodeno para ser aprovechadas (García, 2012). En este sentido, fuentes lipídicas específicas como

el aceite de palma (rico en ácidos grasos saturados) y el aceite de aguacate (rico en ácidos grasos insaturados) representan alternativas viables para la suplementación energética. Para optimizar su aprovechamiento sin alterar la digestión ruminal, se ha establecido que un nivel de inclusión controlado, añadiendo, 150 g de aceite por animal administrado de forma individual, permite cubrir las altas demandas del ganado especializado.

La grasa de sobrepaso ha tenido gran importancia en los últimos años debido a que es una opción para modificar el perfil de ácidos grasos en los productos animales (Fuentes, 2009). García (2012) encontró diferencias en la producción de leche y su contenido de grasa por efecto de la inclusión de grasa en la dieta (jabón cálcico de ácidos grasos destilados del aceite de palma), en vacas, cruzas de *Boss indicus x Bos Taurus* reportando menor pérdida de peso en animales que recibieron la suplementación con grasa.

A nivel regional, la evaluación de estas estrategias cobra una relevancia particular debido a las exigencias de la industria local, donde la leche producida es procesada para la empresa DANONE que demanda altos estándares de calidad fisicoquímica. Asimismo, el sector ganadero de la zona se encuentra en un proceso de transición hacia la implementación de prácticas de ganadería regenerativa, buscando balancear la alta productividad con la sustentabilidad ambiental. Bajo este esquema, el estudio de hatos lecheros de la raza Jersey manejados en sistemas productivos semi-estabulados adquiere un gran valor, ya que permite aprovechar tanto el

potencial genético de los animales para la concentración de sólidos lácteos como el manejo eficiente de los recursos forrajeros disponibles. En función de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de adicionar grasas sobre pasantes con un alto contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en la dieta de vacas Jersey, especializadas en la calidad y producción de leche.

II. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE LITERATURA

2. El balance energético en el ganado lechero especializado

En las vacas lecheras de alta producción, especialmente durante el periodo de transición y el inicio de la lactancia, el requerimiento de energía para el mantenimiento y la síntesis de leche supera drásticamente la capacidad de consumo de materia seca. Este fenómeno fisiológico se define como Balance Energético Negativo (BEN). Para cubrir este déficit, el animal recurre a la movilización de sus reservas corporales de tejido adiposo, lo que incrementa los niveles de ácidos grasos no esterificados (AGNES) en sangre y puede comprometer tanto la persistencia de la curva de lactancia como los índices reproductivos del hato. De acuerdo con Méndez (2013), después del parto, la cantidad de energía requerida para sostener la producción láctea y mantener los tejidos corporales es sustancialmente mayor que la energía que la vaca logra consumir; esto obliga al organismo a movilizar sus reservas grasas para proveer el sustrato energético necesario y sostener un alto nivel productivo. En la raza Jersey, aunque presenta una alta eficiencia de conversión alimenticia, el BEN en el pico de producción exige estrategias nutricionales de alta densidad energética para mitigar la pérdida de condición corporal sin alterar la salud ruminal. Tal como lo señala García (2012), la energía es un nutriente crítico en la alimentación que afecta de forma directa no solo la producción de leche, sino también el cambio de peso y el desempeño

reproductivo de la vaca, justificando plenamente la incorporación de insumos con una elevada densidad energética en la ración.

2.0.1 Metabolismo lipídico en rumiantes

El metabolismo de los lípidos en los rumiantes presenta diferencias importantes respecto al de los animales monogástricos debido a la presencia del rumen y a la intensa actividad metabólica de los microorganismos que habitan en este compartimento. Los lípidos constituyen una fuente concentrada de energía, aportando aproximadamente 2.25 veces más energía que los carbohidratos. Sin embargo, su utilización en los rumiantes está condicionada por los procesos de transformación microbiana que ocurren antes de que los nutrientes alcancen el intestino delgado, lugar donde finalmente son absorbidos.

Los lípidos presentes en la dieta de los bovinos se encuentran principalmente en forma de triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos. En los forrajes frescos predominan los glicolípidos y fosfolípidos asociados a las membranas celulares vegetales, mientras que en semillas oleaginosas y suplementos energéticos predominan los triglicéridos. Independientemente de su origen, una vez que estos compuestos ingresan al rumen son sometidos a una serie de transformaciones bioquímicas mediadas por bacterias, protozoarios y hongos ruminales.

El primer proceso que experimentan los lípidos es la lipólisis. Durante esta etapa, las enzimas microbianas denominadas lipasas rompen los enlaces éster de los

triglicéridos, liberando glicerol y ácidos grasos libres. El glicerol liberado es rápidamente fermentado por los microorganismos ruminales para producir ácidos grasos volátiles, principalmente propionato, acetato y butirato, los cuales representan la principal fuente energética para el animal. Por su parte, los ácidos grasos libres continúan siendo transformados dentro del rumen mediante mecanismos más complejos.

Después de la lipólisis ocurre la biohidrogenación ruminal. Este proceso consiste en la saturación progresiva de los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos insaturados. La biohidrogenación representa un mecanismo de defensa microbiana, ya que muchos ácidos grasos insaturados poseen efectos tóxicos sobre determinadas poblaciones bacterianas encargadas de la digestión de la fibra. Como consecuencia, gran parte de los ácidos grasos poliinsaturados consumidos por el animal terminan convirtiéndose en ácidos grasos saturados antes de abandonar el rumen.

Entre los ácidos grasos más comunes sometidos a biohidrogenación se encuentran el ácido linoleico (C18:2) y el ácido linolénico (C18:3). Durante este proceso se generan intermediarios metabólicos como los ácidos grasos trans y el ácido linoleico conjugado (CLA), compuestos que han despertado gran interés debido a sus posibles beneficios para la salud humana. Finalmente, gran parte de estos intermediarios terminan convirtiéndose en ácido esteárico (C18:0), uno de los principales ácidos grasos que abandona el rumen.

La intensidad de la biohidrogenación depende de diversos factores, incluyendo el pH ruminal, la composición de la dieta, el nivel de consumo de materia seca y el tipo de grasa suministrada. Dietas con altos niveles de concentrado o con cambios bruscos en la alimentación pueden alterar la actividad microbiana y modificar significativamente la magnitud de este proceso. Asimismo, la presencia de grasas protegidas o de sobrepaso reduce el grado de transformación ruminal, permitiendo que una mayor proporción de ácidos grasos llegue intacta al intestino.

Una vez que los lípidos abandonan el rumen, pasan al retículo, omaso y posteriormente al abomaso. En el abomaso, el ambiente ácido favorece la liberación de los ácidos grasos provenientes de las sales cálcicas y otras formas de grasa protegida. Posteriormente, en el intestino delgado, los lípidos son emulsificados por las sales biliares y atacados por enzimas pancreáticas, facilitando la formación de micelas que permiten su absorción a través de la mucosa intestinal.

La absorción intestinal de los ácidos grasos ocurre principalmente en el yeyuno. Una vez absorbidos, estos compuestos son reesterificados dentro de los enterocitos y empaquetados en lipoproteínas para ser transportados por el sistema linfático y posteriormente incorporados a la circulación sanguínea. A través de este mecanismo los lípidos son distribuidos hacia diferentes tejidos corporales, incluyendo tejido adiposo, hígado, músculo y glándula mamaria.

La glándula mamaria representa uno de los principales destinos metabólicos de los ácidos grasos durante la lactancia. Una proporción importante de la grasa láctea

proviene directamente de los ácidos grasos absorbidos en el intestino, mientras que otra parte es sintetizada de novo a partir de acetato y beta-hidroxibutirato producidos durante la fermentación ruminal. Esta combinación de fuentes explica la compleja composición lipídica de la leche bovina y la influencia que ejerce la alimentación sobre su calidad.

Durante el inicio de la lactancia, las vacas experimentan una elevada demanda energética debido al incremento acelerado de la producción de leche. Cuando el consumo de energía resulta insuficiente para cubrir los requerimientos, el organismo moviliza reservas corporales almacenadas en forma de tejido adiposo. Esta movilización provoca un aumento de los ácidos grasos no esterificados (AGNE) en sangre, los cuales son transportados al hígado para ser utilizados como fuente energética o para la síntesis de cuerpos cetónicos.

La movilización excesiva de grasa corporal puede desencadenar trastornos metabólicos importantes como cetosis e hígado graso. Estas enfermedades afectan negativamente el desempeño productivo y reproductivo de las vacas lecheras. Por esta razón, la formulación de dietas con adecuada densidad energética constituye una herramienta fundamental para minimizar el balance energético negativo y mantener la salud del animal.

Desde el punto de vista productivo, comprender el metabolismo lipídico resulta esencial para el diseño de programas nutricionales eficientes. La utilización de fuentes grasas adecuadas permite incrementar la concentración energética de las

dietas sin aumentar excesivamente el contenido de almidón, reduciendo el riesgo de acidosis ruminal. Además, la selección del perfil de ácidos grasos puede modificar favorablemente la composición de la leche, mejorando parámetros de calidad comercial e industrial.

En la actualidad, el estudio del metabolismo lipídico ha cobrado especial relevancia debido al interés por producir leche con perfiles nutricionales más saludables. La incorporación estratégica de fuentes de ácidos grasos saturados e insaturados protegidos permite modificar parcialmente la composición de la grasa láctea, generando productos con mayor valor agregado y potenciales beneficios para el consumidor final.

Metabolismo de lípidos

Los lípidos se conocen como nutrientes fríos ya que generan menos calor al momento de la digestión a comparación de los carbohidratos y proteínas. El metabolismo lipídico de los rumiantes es muy diferente al de los monogástricos debido a las transformaciones en el rumen: Lipólisis y Biohidrogenación (Prieto-Enriquez et al., 2016).

La lipolisis se refiere a la liberación de los ácidos grasos de los ésteres presentes en los lípidos de los alimentos. La biohidrogenación es el proceso de saturación de los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos.

Debido a la digestión microbiana, los lípidos que abandonan el rumen son en su mayoría ácidos grasos saturados (AGS) de origen alimentario y microbiano (70%) y cantidades variables de fosfolípidos microbianos (10-20%) (Martínez-Marín *et al.,* 2010 y Bauchart, 1993).

Funciones de los lípidos

Función de reserva. Son la principal reserva energética del organismo.

Función estructural. Son las bicapas lipídicas de las membranas. Recubren órganos y le dan consistencia, o protegen mecánicamente como el tejido adiposo.

Función biocatalizadora. Los lípidos facilitan las reacciones químicas que se producen en los seres vivos. Cumplen esta función las vitaminas lipídicas, las hormonas esteroideas y las prostaglandinas

Función transportadora. El transporte de lípidos desde el intestino hasta su lugar de destino se realiza mediante su emulsión gracias a los ácidos biliares y a los proteolípidos (Martínez-Marín *et al.,* 2010).

Absorción, transporte y captación de los ácidos grasos

El principal sitio de absorción de las grasas es en la parte media y final del yeyuno, aunque también ocurre una absorción en el tramo inicial aún con un pH bajo. (Bauchart, 1993). En la parte superior únicamente se absorben los ácidos grasos libres que llegan al duodeno junto con la digesta, a diferencia de los fosfolípidos que son absorbidos en los 2 tercios posteriores (Doreau y Ferlay, 1994).

Los ácidos grasos pueden ser utilizados para la secreción directa en la leche, la deposición en los tejidos como grasa de reserva o integrantes de las membranas celulares, o como fuente de energía por oxidación. Los rumiantes conservan las pequeñas cantidades de ácido grasos esenciales que escapan a la biohidrogenación ruminal incorporándose a los ésteres de colesterol y

depositándolos selectivamente en los fosfolípidos de las membranas celulares (Demeyer y Doreau, 1999).

Efecto de la adición de grasa de sobrepaso en vacas lecheras

Después del parto, se necesita una mayor cantidad de energía para producción de leche y para el mantenimiento de los tejidos del cuerpo a diferencia de la cantidad de energía que el animal consume, lo cual provoca que las reservas del cuerpo (en su mayoría suelen ser grasas) deben ser movilizadas con el fin de obtener energía suficiente para poder mantener una alta producción de leche (Moscoso-Piedra *et al*., 2019).

Las grasas de sobrepaso se consideran una alternativa de suplementación.

Se ha podido comprobar que el uso de estas grasas mejora de manera significativa la producción y tiene un efecto positivo en la grasa de la leche (siempre y cuando la dieta no contenga un porcentaje mayor a 5% de grasas protegidas), mejora la reproducción postparto, ya que no solo incrementa su energía, sino que también el animal obtendrá una menor pérdida de condición corporal, menor incidencia a enfermedades metabólicas y una reducción del estrés calórico. Su paso por el rumen es de manera inerte, pasando sin afectar la fermentación de la fibra y siendo digeridas en el intestino delgado (Hidalgo, 2020).

2.0.2 Grasas protegidas o de sobrepaso en la alimentación bovina

La nutrición energética constituye uno de los principales factores que determinan el rendimiento productivo y reproductivo de las vacas lecheras modernas. Durante las últimas décadas, el incremento del potencial genético para la producción de leche ha provocado que los requerimientos energéticos de los animales superen con frecuencia la capacidad de consumo voluntario de materia seca, especialmente

durante las primeras etapas de la lactación. En este contexto, las grasas protegidas o grasas de sobrepaso han adquirido gran relevancia como herramienta nutricional para incrementar la densidad energética de las dietas sin afectar negativamente la fermentación ruminal.

Las grasas protegidas son productos diseñados para evitar o reducir las transformaciones que normalmente sufren los lípidos en el rumen. Su principal característica consiste en permanecer relativamente inertes dentro de este compartimento, permitiendo que una mayor proporción de ácidos grasos alcance el intestino delgado para ser absorbida y utilizada por el animal. Este comportamiento permite incrementar el aporte energético de la dieta sin comprometer la actividad de los microorganismos responsables de la digestión de la fibra.

El uso de grasas convencionales en cantidades elevadas puede generar efectos adversos sobre la fermentación ruminal. Los ácidos grasos libres, particularmente los insaturados, poseen propiedades antimicrobianas que afectan el crecimiento y la actividad de bacterias celulolíticas encargadas de degradar la fibra. Como consecuencia, disminuye la digestibilidad de los forrajes, se reduce la producción de ácidos grasos volátiles y puede verse comprometido el desempeño productivo del animal. Las grasas protegidas fueron desarrolladas precisamente para minimizar estos efectos negativos.

Desde el punto de vista tecnológico, existen diversos métodos para proteger los lípidos frente a la acción microbiana del rumen. Entre los más utilizados se

encuentran la formación de sales cálcicas de ácidos grasos, la hidrogenación parcial de aceites vegetales, la encapsulación mediante matrices proteicas y la formación de complejos químicos resistentes a la degradación ruminal. Cada una de estas tecnologías busca asegurar que los ácidos grasos lleguen al intestino delgado manteniendo una elevada digestibilidad y disponibilidad metabólica.

Una de las principales ventajas de las grasas protegidas es su elevada concentración energética. Mientras que los carbohidratos aportan aproximadamente 4 kcal por gramo, los lípidos proporcionan alrededor de 9 kcal por gramo. Esta característica permite incrementar significativamente la energía neta de lactancia sin aumentar el volumen total de alimento consumido. En vacas de alta producción, esta estrategia resulta particularmente útil para reducir el balance energético negativo que ocurre durante las primeras semanas posteriores al parto.

El balance energético negativo es una condición fisiológica frecuente en vacas lecheras de alto rendimiento. Durante este periodo, la energía requerida para sostener la producción de leche supera la energía aportada por la dieta. Como resultado, el organismo moviliza reservas corporales almacenadas en forma de tejido adiposo. Aunque este mecanismo permite mantener la producción, una movilización excesiva puede ocasionar pérdidas importantes de condición corporal, incremento de trastornos metabólicos y reducción de la eficiencia reproductiva.

La suplementación con grasas protegidas permite disminuir la intensidad del balance energético negativo al incrementar el aporte de energía metabolizable.

Diversos estudios han demostrado que las vacas suplementadas con grasas de sobrepaso presentan menores pérdidas de peso corporal durante el inicio de la lactación y una recuperación más rápida de sus reservas energéticas. Este efecto contribuye a mejorar la salud general del animal y favorece el restablecimiento temprano de la actividad ovárica.

Además de su influencia sobre el estado energético, las grasas protegidas pueden modificar la composición de la leche. Los ácidos grasos absorbidos en el intestino son transportados mediante la sangre hacia la glándula mamaria, donde son incorporados directamente a la grasa láctea. Dependiendo de la fuente lipídica utilizada, es posible aumentar la concentración de determinados ácidos grasos beneficiosos para la salud humana, mejorando así el valor nutricional del producto final.

Las fuentes comerciales de grasas protegidas pueden clasificarse en función de su origen. Entre las más utilizadas se encuentran las derivadas de aceite de palma, aceite de soya, aceite de canola, aceite de algodón y grasas animales procesadas. En años recientes, también ha aumentado el interés por evaluar fuentes alternativas provenientes de subproductos agroindustriales, como el aceite de aguacate, debido a su elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados y a su disponibilidad en regiones productoras.

Las grasas protegidas derivadas de aceite de palma son ampliamente utilizadas debido a su estabilidad, disponibilidad comercial y costo relativamente accesible.

Estas grasas contienen una elevada proporción de ácidos grasos saturados, principalmente ácido palmítico, el cual ha demostrado efectos positivos sobre la producción de leche y el contenido de grasa láctea. Su utilización se ha extendido en numerosos sistemas intensivos de producción debido a la consistencia de sus resultados productivos.

Por otra parte, las grasas protegidas elaboradas a partir de aceite de aguacate presentan un perfil lipídico diferente, caracterizado por una alta concentración de ácido oleico. Este ácido graso monoinsaturado ha sido asociado con beneficios potenciales sobre la calidad nutricional de la leche y sobre determinados procesos metabólicos relacionados con la eficiencia energética. La evaluación de estas fuentes constituye un área de investigación emergente, especialmente en países productores de aguacate como México.

La inclusión adecuada de grasas protegidas requiere considerar diversos factores relacionados con la formulación de dietas. En general, se recomienda que el contenido total de grasa de la ración no exceda niveles cercanos al 6 o 7 % de la materia seca. Concentraciones superiores pueden afectar el consumo voluntario, alterar la digestibilidad de los nutrientes y generar desequilibrios metabólicos que comprometan el desempeño productivo.

Asimismo, la respuesta productiva depende de variables como la etapa de lactación, el nivel de producción, la calidad de los forrajes y el perfil de ácidos grasos de la fuente suplementada. Por esta razón, la utilización de grasas protegidas debe

formar parte de una estrategia integral de alimentación y no considerarse una herramienta aislada. Su éxito depende de una adecuada formulación nutricional y de un manejo eficiente del hato.

Actualmente, las grasas de sobrepaso representan una de las estrategias más importantes para incrementar la eficiencia energética de los sistemas lecheros modernos. Su utilización permite mejorar el aprovechamiento de los nutrientes, favorecer la persistencia de la lactancia, reducir las pérdidas de condición corporal y contribuir al mejoramiento de la calidad composicional de la leche. Debido a estos beneficios, continúan siendo objeto de investigación y desarrollo en diferentes regiones productoras del mundo**.**

2.0.3 Sales cálcicas de ácidos grasos (jabones cálcicos)

Las sales cálcicas de ácidos grasos, comúnmente conocidas como jabones cálcicos, constituyen una de las fuentes de grasa protegida más utilizadas en la alimentación de rumiantes. Su empleo se ha incrementado considerablemente en los sistemas modernos de producción de leche debido a su capacidad para suministrar energía adicional sin afectar de manera significativa la fermentación ruminal. Estas características las convierten en una herramienta nutricional importante para mejorar la eficiencia productiva y el estado energético de las vacas lecheras, especialmente durante las etapas de mayor demanda fisiológica.

Los jabones cálcicos son compuestos formados mediante la reacción química entre ácidos grasos de cadena larga y sales de calcio. El producto resultante posee una estructura relativamente insoluble en el ambiente del rumen, cuyo pH normalmente oscila entre 6.0 y 7.0. Gracias a esta propiedad, los ácidos grasos permanecen protegidos de la acción de los microorganismos ruminales y pueden atravesar este compartimento con una mínima degradación.

La principal ventaja de esta tecnología radica en que evita los efectos negativos que normalmente generan los aceites y grasas libres sobre las bacterias encargadas de la digestión de la fibra. Cuando los lípidos no protegidos son suministrados en cantidades elevadas, pueden cubrir físicamente las partículas de alimento e inhibir la actividad de las bacterias celulolíticas, reduciendo la digestibilidad de los forrajes. En contraste, los jabones cálcicos presentan una menor interacción con el microbiota ruminal, permitiendo mantener una fermentación más estable.

El mecanismo de acción de las sales cálcicas depende fundamentalmente de las variaciones de pH a lo largo del tracto digestivo. En el rumen, donde el pH es cercano a la neutralidad, los jabones cálcicos permanecen relativamente insolubles. Sin embargo, al llegar al abomaso, cuyo ambiente es altamente ácido debido a la secreción de ácido clorhídrico, los enlaces entre el calcio y los ácidos grasos se disocian. Como consecuencia, los ácidos grasos son liberados y posteriormente absorbidos en el intestino delgado.

Este comportamiento permite que una elevada proporción de los ácidos grasos llegue intacta al sitio de absorción, aumentando la eficiencia energética de la dieta. Además, al evitar la biohidrogenación excesiva dentro del rumen, es posible conservar parcialmente el perfil original de determinados ácidos grasos insaturados, lo cual puede influir favorablemente sobre la composición de la grasa láctea.

Las materias primas utilizadas para la elaboración de jabones cálcicos son variadas. Entre las más comunes se encuentran los aceites vegetales derivados de palma, soya, algodón, girasol y canola. En años recientes también se han evaluado fuentes alternativas como el aceite de aguacate debido a su elevado contenido de ácido oleico y a la creciente disponibilidad de subproductos provenientes de la industria agroalimentaria mexicana.

Las sales cálcicas elaboradas a partir de aceite de palma son las más difundidas a nivel comercial. Esto se debe a que el aceite de palma posee una elevada proporción de ácido palmítico, un ácido graso saturado que contribuye significativamente a incrementar la densidad energética de la dieta. Diversos estudios han demostrado que este tipo de suplementos favorece la producción de leche y puede incrementar el porcentaje de grasa láctea cuando se incorpora adecuadamente en la ración.

Por otra parte, los jabones cálcicos obtenidos a partir de aceites ricos en ácidos grasos insaturados han despertado gran interés debido a sus posibles efectos sobre la calidad nutricional de la leche. El aceite de aguacate, por ejemplo, contiene altas

concentraciones de ácido oleico, un ácido graso monoinsaturado relacionado con beneficios potenciales para la salud cardiovascular humana. La protección de este tipo de lípidos mediante sales cálcicas permite aumentar la probabilidad de que una parte de ellos alcance la glándula mamaria y se incorpore a la leche.

Desde el punto de vista productivo, la suplementación con jabones cálcicos permite incrementar la concentración energética de las dietas sin aumentar el contenido de almidón. Esta característica es particularmente importante en vacas de alta producción, ya que el exceso de concentrados ricos en carbohidratos fermentables puede predisponer a trastornos digestivos como la acidosis ruminal subaguda. Mediante la utilización de grasas protegidas es posible suministrar energía adicional sin comprometer la salud ruminal.

La etapa de transición y el inicio de la lactancia representan los periodos en los que los jabones cálcicos muestran mayores beneficios. Durante estas fases, las vacas experimentan un balance energético negativo debido a que la producción de leche aumenta más rápidamente que el consumo de alimento. La inclusión de fuentes energéticas altamente concentradas contribuye a reducir la movilización excesiva de reservas corporales y a mejorar la eficiencia metabólica del animal.

Diversas investigaciones han reportado que las vacas suplementadas con sales cálcicas presentan una menor pérdida de condición corporal durante las primeras semanas posteriores al parto. Este efecto tiene implicaciones importantes sobre la reproducción, ya que la condición corporal está estrechamente relacionada con el

reinicio de la actividad ovárica y la manifestación de celo. Una adecuada recuperación energética favorece el desempeño reproductivo y contribuye a reducir los días abiertos.

Asimismo, los jabones cálcicos pueden influir sobre diversos parámetros productivos relacionados con la calidad de la leche. Dependiendo de la fuente grasa utilizada, se han observado incrementos en el contenido de grasa láctea, mejoras en la concentración de sólidos totales y modificaciones en el perfil de ácidos grasos presentes en la leche. Estos cambios pueden representar ventajas económicas para el productor cuando el sistema de pago considera la calidad composicional del producto.

A pesar de sus beneficios, la utilización de sales cálcicas requiere una adecuada formulación nutricional. Niveles excesivos de suplementación pueden disminuir el consumo voluntario de materia seca o generar desequilibrios en la relación entre energía y proteína. Por esta razón, la inclusión de estos productos debe ajustarse a las características particulares de cada sistema de producción, considerando factores como la etapa fisiológica, el nivel productivo y la calidad de los ingredientes disponibles.

En la actualidad, los jabones cálcicos son considerados una de las tecnologías nutricionales más eficientes para incrementar la densidad energética de las dietas de vacas lecheras. Su capacidad para suministrar energía de alta calidad, preservar la función ruminal y mejorar diversos indicadores productivos ha consolidado su uso

en explotaciones especializadas alrededor del mundo. Asimismo, el desarrollo de nuevas fuentes lipídicas protegidas abre oportunidades para optimizar aún más la producción de leche y mejorar el valor nutricional de los productos lácteos destinados al consumidor final.

2.0.4 Respuestas productivas a la suplementación lipídica

La suplementación lipídica en vacas lecheras ha sido ampliamente estudiada como una estrategia nutricional orientada a incrementar la densidad energética de las dietas y mejorar la eficiencia productiva de los animales. El interés por el uso de grasas en la alimentación de rumiantes ha aumentado significativamente debido a la necesidad de satisfacer los elevados requerimientos energéticos de las vacas modernas, especialmente durante el inicio de la lactancia, cuando la demanda de nutrientes para la síntesis de leche alcanza sus niveles máximos.

Las respuestas productivas observadas tras la suplementación con lípidos dependen de múltiples factores, entre ellos la fuente de grasa utilizada, el nivel de inclusión en la dieta, el perfil de ácidos grasos, la etapa fisiológica del animal, la calidad de la ración basal y las condiciones generales de manejo. Debido a esta interacción compleja, los resultados reportados en la literatura pueden variar entre sistemas de producción, razas y condiciones ambientales.

Uno de los efectos más importantes de la suplementación lipídica es el incremento de la concentración energética de la dieta. Las grasas aportan aproximadamente

2.25 veces más energía que los carbohidratos, permitiendo suministrar mayores cantidades de energía metabolizable sin incrementar excesivamente el consumo de materia seca. Esta característica es particularmente relevante en vacas de alta producción, donde la capacidad física de consumo puede limitar la ingestión de nutrientes.

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de grasas protegidas puede incrementar la producción diaria de leche. Este efecto se atribuye principalmente a una mejor disponibilidad energética para la glándula mamaria, lo que favorece la síntesis de los componentes lácteos y contribuye a mantener una mayor persistencia de la lactancia. La magnitud de la respuesta productiva suele ser más evidente durante las primeras semanas posteriores al parto, cuando el balance energético negativo alcanza su máxima intensidad.

La producción de leche depende de una adecuada disponibilidad de glucosa, aminoácidos y energía metabolizable. Cuando la dieta proporciona una cantidad insuficiente de energía, el organismo moviliza reservas corporales para sostener la producción. Aunque este mecanismo es fisiológicamente normal, una movilización excesiva puede provocar pérdidas importantes de condición corporal y comprometer la salud metabólica del animal. La suplementación con grasas de sobrepaso ayuda a reducir esta situación al proporcionar una fuente energética altamente concentrada y eficiente.

Además del volumen de leche producido, uno de los parámetros más estudiados es el contenido de grasa láctea. Numerosas investigaciones han reportado incrementos significativos en el porcentaje de grasa de la leche cuando se utilizan suplementos lipídicos protegidos. Este efecto se debe a que una parte de los ácidos grasos absorbidos en el intestino es transportada directamente hacia la glándula mamaria para ser incorporada a la grasa láctea. Como resultado, aumenta la disponibilidad de precursores necesarios para la síntesis de este componente.

La respuesta sobre el contenido de proteína en la leche suele ser más variable. Algunos estudios han encontrado incrementos moderados en la concentración proteica debido a una mejor utilización de la energía disponible para la síntesis microbiana ruminal y para los procesos metabólicos asociados a la producción de leche. Sin embargo, en otros casos se han observado reducciones ligeras atribuibles a un efecto de dilución derivado del aumento en la producción total de leche. Por esta razón, la respuesta de la proteína láctea depende de múltiples factores nutricionales y fisiológicos.

Los sólidos totales representan otro indicador importante de calidad. Este parámetro integra principalmente la grasa, proteína, lactosa y minerales presentes en la leche. La suplementación con grasas protegidas frecuentemente incrementa el rendimiento de sólidos totales debido al aumento en la producción de grasa láctea y a las mejoras generales en el metabolismo energético del animal. Desde el punto de vista industrial, este aspecto posee gran relevancia debido a que los sólidos

constituyen la materia prima para la elaboración de quesos, mantequilla, yogurt y otros derivados lácteos.

El perfil de ácidos grasos de la leche también puede modificarse mediante la suplementación lipídica. Las fuentes ricas en ácidos grasos saturados, como algunas derivadas del aceite de palma, suelen favorecer la síntesis de grasa láctea y aumentar la concentración de determinados ácidos grasos de cadena larga. Por otra parte, las fuentes con mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados o poliinsaturados pueden contribuir a mejorar el valor nutricional de la leche, generando productos con características más atractivas para el consumidor.

La condición corporal constituye otro parámetro estrechamente relacionado con la suplementación energética. Las vacas que reciben grasas protegidas presentan generalmente menores pérdidas de reservas corporales durante el inicio de la lactancia. Este efecto es consecuencia de una menor necesidad de movilizar tejido adiposo para cubrir los requerimientos energéticos de producción. Mantener una condición corporal adecuada favorece tanto la salud como la eficiencia reproductiva de los animales.

Desde el punto de vista reproductivo, una mejor condición energética se asocia con una recuperación más rápida de la actividad ovárica después del parto. Diversos autores han reportado mejoras en parámetros reproductivos como el intervalo parto-primer celo, el intervalo parto-concepción y la tasa de preñez cuando se utilizan estrategias adecuadas de suplementación lipídica. Estos beneficios adquieren

especial importancia en sistemas especializados donde la eficiencia reproductiva influye directamente sobre la rentabilidad de la explotación.

La eficiencia alimenticia representa otro indicador relevante. Este parámetro expresa la relación entre la cantidad de alimento consumido y la producción obtenida. Debido a la elevada concentración energética de las grasas protegidas, es posible mejorar la eficiencia de conversión sin incrementar considerablemente el consumo de materia seca. Como consecuencia, los animales pueden producir mayores cantidades de leche por unidad de alimento ingerido, mejorando el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Sin embargo, los beneficios productivos no son ilimitados. La respuesta a la suplementación depende de la cantidad suministrada y del equilibrio general de la dieta. Niveles excesivos de grasa pueden reducir el consumo voluntario de alimento, afectar la digestibilidad de la fibra y provocar alteraciones metabólicas que disminuyan el desempeño productivo. Por esta razón, la formulación de raciones debe realizarse cuidadosamente para maximizar los beneficios y minimizar posibles efectos adversos.

En términos económicos, la utilización de grasas protegidas debe evaluarse considerando tanto los costos de suplementación como los ingresos adicionales generados por una mayor producción y mejor calidad de la leche. En muchos sistemas lecheros, el incremento en el rendimiento de sólidos lácteos puede compensar ampliamente la inversión realizada en suplementos energéticos,

especialmente cuando las empresas procesadoras otorgan bonificaciones por calidad composicional.

En México, el interés por la utilización de grasas de sobrepaso ha aumentado debido a la necesidad de mejorar la competitividad de los sistemas lecheros especializados. La disponibilidad de materias primas como el aceite de palma y el aceite de aguacate ofrece oportunidades para desarrollar estrategias nutricionales adaptadas a las condiciones nacionales. Particularmente en vacas Jersey, reconocidas por su elevada concentración de sólidos en leche, la evaluación de diferentes fuentes lipídicas puede generar información valiosa para optimizar la producción y aumentar la rentabilidad de las unidades de producción.

En conjunto, la evidencia científica disponible indica que la suplementación lipídica constituye una herramienta eficaz para mejorar diversos indicadores productivos, metabólicos y económicos en vacas lecheras. Su correcta implementación permite incrementar la disponibilidad energética, favorecer la producción y calidad de la leche, mantener una adecuada condición corporal y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de producción modernos.

.

2.0.5 Efecto sobre el volumen de producción de leche

La adición de grasas de sobrepaso generalmente se traduce en un incremento en el volumen diario de leche producido (kg/vaca/día) debido al mayor aporte de energía neta de lactancia (ENL), lo cual optimiza la partición de nutrientes hacia la glándula mamaria durante las semanas críticas del pico productivo, disminuyendo la dependencia hacia los carbohidratos fermentables (Méndez, 2013; García, 2012).

2.0.6 Efecto sobre el porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales

La composición de la leche es altamente sensible a la manipulación nutricional de la fracción lipídica:

Porcentaje de grasa: La suplementación con grasas ricas en ácido palmítico (como las derivadas de palma) suele elevar de forma directa el porcentaje de grasa láctea al proveer precursores directos para la síntesis lipídica de novo en el tejido mamario. Por el contrario, las fuentes ricas en ácidos grasos insaturados (como el aguacate) pueden modular la fluidez de la membrana del glóbulo graso y alterar la concentración total de grasa en función del grado de sobrepaso alcanzado en el rumen.

Porcentaje de proteína: En la literatura científica con frecuencia se describe una ligera tendencia a la disminución en el porcentaje de proteína en la leche cuando se incorporan grasas protegidas. Este efecto se atribuye principalmente a un fenómeno

de dilución debido al aumento simultáneo en el volumen total de leche producida, o bien a sutiles modificaciones en la síntesis de proteína microbiana ruminal por cambios en la disponibilidad de energía.

Sólidos Totales: Como reflejo directo de las variaciones conjuntas en los porcentajes de grasa y proteína, la concentración de sólidos totales se modifica de manera sustancial. En vacas Jersey, las cuales poseen un potencial genético superior para concentrar estos componentes, evaluar el impacto neto sobre los sólidos totales es crucial, dado que este parámetro define el rendimiento quesero industrial y los esquemas de pago por calidad composicional implementados por las empresas acopiadoras de la región.

2.1. Situación actual de la producción de leche de bovino en México

La industria láctea es la tercera actividad más importante en la industria alimentaria mexicana y depende del suministro nacional de leche y su crecimiento (SE, 2012). El SIAP (2022) indicó que México es el productor de leche número 15 en el ranking mundial. Durante 2023 la producción nacional fue alrededor de 13 mil millones de litros de leche al año y que se buscará incrementar esta cifra a 15 mil millones antes de 2030 (SIAP, 2023)

Los ganaderos mexicanos incrementaron la producción 1.7%. Refrendando su posición entre las más de cien naciones productoras (Robledo-Padilla, 2015). Para abastecer el consumo interno del lácteo, México importó un volumen equivalente a 32% de la producción obtenida en 2022. También menciona que, durante los últimos

11 años, seis de cada 10 litros de leche que se producen en México, se generaron en Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato. En la Figura 1, se muestra la producción por entidad referida.



Figura 1. Volumen de Producción de Leche de Bovino por Entidad (2023).

Fuente: SIAP, 2023

2.2. Producción mundial de la leche

De acuerdo con la FAO (2026), la producción mundial de leche tuvo un incrementó de 0.95% durante julio de 2025, respecto a al mismo periodo de 2024. Un alza significativa en un mercado donde solo el 11-12 % de la producción mundial participa en el comercio internacional. Los exportadores tradicionales (Unión Europea, EE. UU., Nueva Zelanda, Australia, Argentina, Uruguay y Brasil) en conjunto aumentaron su producción alrededor del 0.7 %, influenciado por factores como productores especializados, condiciones climáticas favorables, recuperación

sanitaria en Europa y estabilidad en los costos de alimentación. El incremento previsto para para 2026, alcanzará al menos +0,44 %. Regiones clave como EE. UU. la producción creció 3,4 % interanual en julio de 2025, debido a que los precios internacionales de la leche y derivados se encuentran en niveles récord.

2.3. Principales sistemas de producción de leche

De acuerdo con Blanco-Ochoa (2005), los principales sistemas de producción de leche en México son los siguientes:

Lechería Familiar: Es caracterizada por tener pequeñas explotaciones que van desde 3 hasta las 30 vacas, normalmente se manejan por la misma familia, como se muestra en la Figura 2, utilizan sistemas tradicionales de producción y aprovechan de forma importante los esquilmos de la agricultura (pajas y rastrojos de maíz, sorgo y trigo). Disponen de corrales de traspatio, las inversiones son bajas ya que se tienen construcciones rústicas, donde el manejo es deficiente, sobre todo en la higiene del ordeño, de lo que resulta un producto de baja calidad que normalmente se expende como leche bronca a boteros intermediarios, queseros de la localidad, centros de acopio o directamente al consumidor.



Figura 2. Lechería Familiar.

Fuente: FAO 2019.

Lechería especializada: Es altamente tecnificada y está representada por explotaciones con un mayor tamaño de hato, en promedio, de 230 vientres y con un rango de 100 a 3000 vientres por hato. El sistema de producción es mecanizado como se ve en la Figura 3, tanto en forrajes de calidad (alfalfa, ensilaje de maíz y de sorgo, avena, cebada), como en ordeño y manejo de la leche; utilizan el sistema de estabulación, forrajes de corte y alimentación de altos niveles de concentrado. Este tipo de lechería especializada produce el máximo porcentaje de la producción de la nación como se muestra en el Cuadro 1 y contribuye con más del 80% de la leche pasteurizada que se consume. Manejan intervalos de partos de 14 meses y utilizan inseminación artificial hasta en un 70%.



Figura 3. Lechería especializada.

Fuente: INFOCARNE, 2009.

Lechería Doble Propósito: se basa en explotaciones de ganado bovino para carne, donde la producción de leche es una actividad secundaria, caracterizada por la ordeña estacional de los vientres recién paridos que muestran mayor temperamento lechero, en este tipo de lechería se observan los mayores picos de producción en la época de lluvias; los animales se encuentran bajo el sistema de libre pastoreo en praderas nativas e inducidas como se puede observar en la Figura 4, se utiliza muy poco la suplementación y las lactancias son cortas (Blanco-Ochoa, 2005).



Figura 4. Vacas de la raza Gyr lechero en los sistemas doble propósito

Fuente: (Contexto Ganadero, s. f.).

Cuadro 1. Participación de los sistemas de producción de leche

Sistema	Número de explotaciones	Tamaño de hato	Litros por lactancia	Participación promedio nacional %
Lechería especializada	1850	230	5,000	25
Lechería familiar	100 000	15	2,500	35
Lechería doble propósito	120 000	20	700	40

Fuente: Blanco-Ochoa, 2005

2.4. Factores de las vacas que afectan la producción de leche

2.4.1. Condición corporal y balance energético

El cuidado y la alimentación de las vacas durante el periodo en que se encuentran secas, y de las novillas primerizas antes del parto, dan oportunidad al ganadero para poner a sus animales en condiciones adecuadas para el parto. Se dice que durante este periodo las vacas pueden producir y almacenar reservas de grasas y minerales. Las vacas y novillas altas productoras no pueden consumir y digerir suficiente cantidad de alimento para satisfacer sus necesidades de mantenimiento

y de producción de leche durante los primeros dos tercios de lactancia; para mantener un gran rendimiento la vaca tiene que recurrir a sus reservas. Las vacas secas y las novillas primerizas no deben juntarse con el resto de los animales si se quiere que tengan una buena condición física antes del parto (Sigl *et al*., 2025).

2.4.2. Edad de las vaquillas en el primer parto

La mayoría de los investigadores dicen que una edad media de 24 meses en el primer parto es ideal en cuanto a maximizar la producción por día de vida del animal. (Etgen, 1985) indica que si la edad excede de 27 meses es un problema costoso.

2.4.3. Intervalo entre partos

Un intervalo medio entre partos de 12 meses se considera como ideal, si el intervalo excede de los 13 meses, indica un problema grave y debe corregirse (La Torre, 2001).

2.4.4. Días sin preñez

Un intervalo de días sin preñez (número de días entre el parto y la concepción) ideal se considera de 85, sin embargo, la realidad es que superan los 95 días (Etgen, 1985).

2.5. Fisiología de la lactación en la vaca lechera

La fisiología de la lactancia incluye el desarrollo de la glándula mamaria, abarca desde el feto hasta la edad adulta, el desarrollo futuro durante la preñez y el inicio de la lactancia con los eventos metabólicos y conductuales adaptativos posteriores. El comienzo de la lactancia en rumiantes indica un aumento en la demanda de agua y nutrientes, como glucosa, aminoácidos y ácidos grasos, que son precursores de la síntesis de leche. En el pico de la lactancia, el requerimiento de energía para la síntesis de leche puede estar cerca del 80% del consumo neto de energía, lo que

representa aproximadamente el 80% de la glucosa total producida y utilizada por las glándulas mamarias lácteas (Glauber, 2007).

Para que la glándula mamaria empiece a secretar leche primero debe desarrollarse en la vaca. Por lo general, este desarrollo ocurre en la etapa de la pubertad del animal. Los ovarios van a aumentar la producción de estrógenos y progesterona. También se incrementa la producción de hormonas del crecimiento y de corticosteroides adrenales. Todos estos componentes hormonales son los responsables de la proliferación del sistema tubular de la ubre. Sumado a esto, la progesterona junto a la prolactina son las hormonas que favorecen el desarrollo de los alvéolos. No obstante, este desarrollo en la pubertad es parcial. Para que la glándula mamaria de la vaca termine por desarrollarse por completo deberá estar en estado de preñez, sobre todo a mitad de la gestación. Luego, la secreción de leche podrá evidenciarse en la última parte de la gestación gracias al aumento de la prolactina (Sáenz, 2021).

2.6. Impacto del balance energético negativo

El principal problema del balance energético negativo en vacas postparto, que ocurre durante la lactancia temprana, demora el tiempo hasta la primera ovulación y causa otras secuelas que tienen consecuencias negativas sobre la fertilidad durante el periodo de inseminación. Estos efectos incluyen niveles de progesterona en sangre reducidos o insuficientes, que tienen influencia sobre la fertilidad ya que alteran la funcionalidad uterina (Ninabanda, 2018).

2.7. Periodos de lactancia

La vaca inicia su lactancia con la producción de calostros, que aproximadamente dura de 3 a 4 días. Después, se comienza a producir la leche común, este período, normalmente dura 305 días, destacando que el pico de lactación es dentro de los primeros 90 días iniciada la lactancia, como se muestra en la Figura 5. Finalmente está el periodo seco, en el que la vaca ya no producirá leche ya que se deja de ordeñar, para que se recupere la ubre, preparándose para el siguiente ciclo productivo (Carvajal-Hernández, 2002).

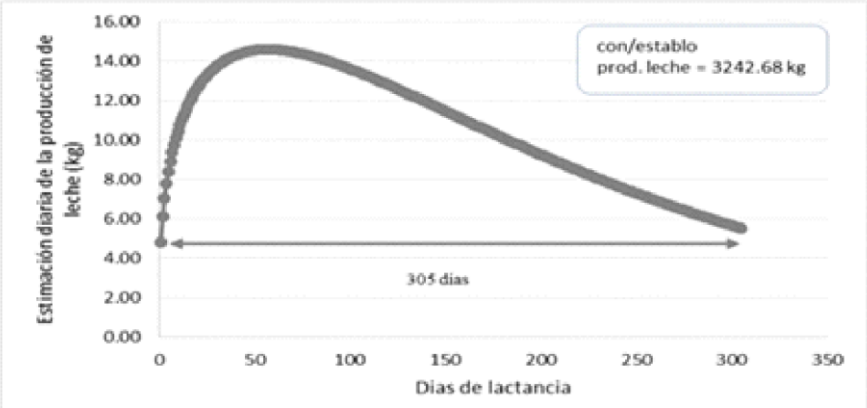


Figura 5. Curva de lactancia de las vacas lecheras

Fuente. Apaza-Huallpa (2016).

2.8. Características fisicoquímicas de la leche

2.8.1. Composición de la leche

La leche puede contribuir considerablemente a la ingestión necesaria de nutrientes como el calcio, magnesio, selenio, riboflavina, vitamina B12 y ácido pantoténico. La leche de vaca está compuesta de la siguiente manera: las grasas contribuyen con

alrededor del 3% al 4%de los sólidos totales de la leche, las proteínas aproximadamente el 3.5%y la lactosa el 5% (FAO, 2019).

Mientras que Agudelo (2005) indicó que la leche es el alimento puro más próximo a la perfección. Su principal proteína, la caseína, contiene los aminoácidos esenciales y como fuente de calcio, fósforo y riboflavina (vitamina B12), contribuye significativamente a los requerimientos de vitamina A y B1 (tiamina). Por otra parte, los lípidos y la lactosa constituyen un importante aporte energético. También mencionó que la leche es una compleja mezcla de distintas sustancias, presentes en suspensión o emulsión y otras en forma de solución verdadera y presenta sustancias definidas: agua grasa, proteína, lactosa, vitaminas, minerales; a las cuales se les denomina extracto seco o sólidos totales. Los sólidos totales varían por múltiples factores como lo son: la raza, el tipo de alimentación, el medio ambiente y el estado sanitario de la vaca entre otros (Cuadro 2).*Cuadro* 2. Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100 g)

Nutriente	**Vaca**	**Búfala**	**mujer**
Agua	88	84	87.5
Energía (Kcal)	61	97	7.0
Proteína	3.2	3.7	1.0
Grasa	3.4	6.9	4.4
Lactosa	4.7	5.2	6.9
minerales	0.72	0.79	0.20

Fuente: Agudelo, 2005.

2.9 Composición de la leche de vaca

6 componentes: agua, grasa, proteína, lactosa, vitaminas y minerales. Sólidos totales (12-13%): todos excepto el agua. Sólidos no grasos (9%): exceptuando el agua y grasa. La composición no es estable a lo largo de la lactancia, varía con la raza, etapa de lactación, época del año, duración del ordeño, lapso entre ordeños, alimentación y estado general, entre otros.

Lactosuero

La proteína del suero de la leche, *lactosuero* es un líquido que se obtiene luego de la coagulación de la leche de vaca en la elaboración del queso, cuando es separada de la cuajada (caseína y grasa) de este alimento.

La distribución de los nutrientes del suero de leche es aproximadamente de 93.1% de agua, 4.9% de lactosa, 0.9% de proteína cruda, 0.6% de minerales, 0.3% de grasa, 0.2% de ácido láctico y vitaminas hidrosolubles, siendo un alimento de rápida absorción gracias a su alto nivel de biodisponibilidad. Este producto lácteo, posee en su composición **aminoácidos esenciales** de cadena ramificada *BCAAs (Branched-Chain Amino Acids),* los cuales intervienen en importantes funciones metabólicas en el cuerpo humano y en su nutrición (Chacón *et al.,* 2017).

Agua

Es la fase dispersante, en esta los glóbulos grasos y demás componentes están emulsionados o suspendidos. Las sustancias proteicas se encuentran formando un coloide; la lactosa y sales se encuentran en forma de solución verdadera.

Proteínas

Media de 3.5% y rango de 2.9% a 3.9%.

Mezcla de numerosas y distintas fracciones proteicas, clasificadas en dos grandes grupos. caseínas (80%) y proteínas séricas (20%). Son de alto valor biológico.

Caseína

Es la más abundante y característico por no encontrarse en alimentos no lácteos. es de tres tipos α, B y Kappa caseína, contiene aminoácidos esenciales.

Se separa de la parte acuosa por efecto de las enzimas o quimiocina.

La leche también contiene Albúmina (0.5%) y globulina.

Enzimas (hasta 40 tipos).

También contiene nitrógeno no-proteico (NNP=6% del N de la leche): AA, urea y otros nitrogenados no proteicos que típicamente se encuentran en la sangre. (Agudelo y Bedoya,2005)

Lactosa

Media de 5% y rango de 4.8 a 5.3%. Es un carbohidrato (disacárido) ¨Azúcar de la leche¨= galactosa+glucosa. En el procesamiento, es la base para la fermentación de productos como el yogurt. Intolerancia a la lactosa= Organismos que no producen suficiente cantidad de lactosa, enzima que desdobla la lactosa. Leche penetrada con lactasa disminuye los problemas digestivos (Agudelo y Bedoya,2005).

Minerales

Sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, hierro, cobalto, cobre, fósforo, zinc, flúor y yodo. Algunos se encuentran en la membrana de los glóbulos grasos, otros en forma de Iones y otros ligados a la caseína. Se pueden encontrar en forma de fosfatos, cloruros y citratos.

Vitaminas

A, D, E, K, B1, B2, B3, B6, B12, C, Carotenos, biotina, ácido fólico.

Grandes variaciones, dependientes de condiciones de alimentación.

El manejo de la leche determina su contenido vitamínico, particularmente la temperatura y radiación lumínica.

2.10. Conservación de los componentes de la leche

2.10.1. Manejo (procesamiento) del producto

Remoción de todo tipo de partículas ajenas a la leche.

Eliminación de riesgos para la salud humana.

Reducción del potencial de descomposición, antes de que el producto llegue al consumidor.

Mantenimiento del sabor del producto.

Reducción del contenido de grasa/estabilización del contenido de grasa para detener su separación.

Reducción del contenido de lactosa

Adición de vitaminas.

La raza del ambiente ruminal y la variabilidad genética del ganado posibilita la diversificación de la industria láctea con productos de características específicas que satisfagan de manera adecuada las demandas de los consumidores y favorezcan la sostenibilidad de la industria láctea.

2.11. Estrategias de alimentación para la producción de leche en México

La leche de ganado bovino es un producto básico en la alimentación de la población, este factor ha influido para que la producción de leche se haya desarrollado como una de las actividades económicas presente en todas las regiones del país (Figura 6), a pesar de esto existe un déficit de la oferta-demanda, situación que ha llevado a nuestro país a ocupar los primeros lugares en importaciones de leche fluida y en polvo (Martinez *et al*., 2012).



Figura 6. Panorama de la leche en México.

Fuente: Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023).

2.11.1. Alimentación de la vaca al principio de la lactación

Del total de la lactancia, 40 % de la leche es producida en los primeros tres meses del inicio de la lactación. En esta etapa las exigencias nutricionales en cuanto calidad de forraje son muy importantes y se debe ofrecer a la vaca alimentos muy ricos en energía, proteínas, Calcio y fósforo, altamente digestibles con bajo contenido en fibra. Para compensar el déficit nutricional, se debe suplementar con concentrados de alto valor nutritivo y digestibilidad (Vadiveloo y Holmes, 2010). Se han empleado estrategias en la alimentación bovina, como son los forrajes

conservados, esquilmos agrícolas, productos y subproductos de caña de azúcar, urea, gallinaza y pollinaza, con el fin de cubrir los requerimientos nutricionales de los animales, pero a un bajo costo (Vargas, 1994).

Productos de sobrepaso

Durante la década de los 90 fueron innumerables los experimentos que se realizaron con nutrientes "*bypass*", la mayoría de los cuales fueron desarrollados para los sistemas de alimentación (Figura 7) preponderantes en USA y en los países de las C.E.E. (Comunidad Económica Europea), basados en dietas total o parcialmente mezcladas con ingredientes de tipo "secos" (forrajes conservados y concentrados) (Gallardo y Teixeira, 2023). Para Zárate-Martínez *et al*. (2011), las grasas protegidas o sobre pasantes son grasas que son inertes y que no interfieren con el metabolismo de este o por consiguiente no son absorbidas en la pared ruminal sino en el intestino delgado.

Las grasas inertes engloban a un grupo de productos diseñados para rumiantes, caracterizados por tener un efecto inhibitorio mínimo sobre el metabolismo de las bacterias gram positivas y protozoos, con poco o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad del resto de componentes de la ración. Esta protección se obtiene sin detrimento aparente de su digestibilidad intestinal, pudiendo modificar así el perfil de ácido graso de leche y los tejidos. Aunque sean consideradas inertes a los niveles utilizados, estas grasas aún pueden ser hidrolizadas si son triglicéridos o hidrogenadas si son insaturadas a nivel ruminal, aunque este proceso ocurre lentamente. Las grasas consideradas inertes tienen un pH bajo, y por esta razón son poco solubles en el rumen a un pH normal. Las grasas inertes existentes en el mercado corresponden principalmente a dos grandes grupos: los jabones cálcicos y las grasas parcialmente hidrogenadas. Una ventaja importante de este tipo de grasas es su naturaleza sólida, lo que permite su uso en fábricas pequeñas sin instalaciones para líquidos o bien directamente en granja, sobre pesebre o en carro mezclador (Duarte *et al*., 2016).

El rendimiento de componentes de la leche se incrementa con el uso de jabones de calcio y aceites de soya en lugar de grasa protegida rica en ácidos grasos. Los jabones de calcio son una estrategia que genera menor margen de utilidad, podría representar una alternativa para mejorar la calidad de la grasa de la leche, con potenciales beneficios para la salud humana y proporcionar valor agregado al producto (Vargas-Bello-Pérez *et al*., 2020).



Figura 7. Alimentación de vacas Holstein.

Fuente: FAO, 2019

Absorción, transporte y captación de los ácidos grasos

El principal sitio de absorción de las grasas es en la parte media y final del yeyuno, aunque también ocurre una absorción en el tramo inicial aùn con un pH bajo. (Bauchart, 1993). En la parte superior únicamente se absorben los ácidos grasos libres que llegan al duodeno junto con la digesta, a diferencia de los fosfolípidos que son absorbidos en los 2 tercios posteriores (Doreau y Ferlay, 1994).

Los ácidos grasos pueden ser utilizados para la secreción directa en la leche, la deposición en los tejidos como grasa de reserva o integrantes de las membranas celulares, o como fuente de energía por oxidación. Los rumiantes conservan las pequeñas cantidades de ácido grasos esenciales que escapan a la biohidrogenación ruminal incorporándose a los ésteres de colesterol y depositándolos selectivamente en los fosfolípidos de las membranas celulares (Demeyer y Doreau, 1999).

Efecto de la adición de grasa de sobrepaso en vacas lecheras

Después del parto, se necesita una mayor cantidad de energía para producción de leche y para el mantenimiento de los tejidos del cuerpo a diferencia de la cantidad de energía que el animal consume, lo cual provoca que las reservas del cuerpo (en su mayoría suelen ser grasas) deben ser movilizadas con el fin de obtener energía suficiente para poder mantener una alta producción de leche (Moscoso-Piedra *et al*., 2019).

Las grasas de sobrepaso se consideran una alternativa de suplementación.

Se ha podido comprobar que el uso de estas grasas mejora de manera significativa la producción y tiene un efecto positivo en la grasa de la leche (siempre y cuando la dieta no contenga un porcentaje mayor a 5% de grasas protegidas), mejora la reproducción postparto, ya que no solo incrementa su energía, sino que también el animal obtendrá una menor pérdida de condición corporal, menor incidencia a enfermedades metabólicas y una reducción del estrés calórico. Su paso por el rumen es de manera inerte, pasando sin afectar la fermentación de la fibra y siendo digeridas en el intestino delgado (Hidalgo, 2020).

Condición corporal

Las reservas corporales de una vaca son medidas como el porcentaje de grasa en el cuerpo, que es uno de los mejores indicadores del estado nutricional de la misma y, por lo tanto, un importante determinante del desempeño reproductivo y productivo de la vaca.

La condición corporal CC es la cantidad de grasa o de energía almacenada que posee una vaca, reflejada en el estado nutricional.

De acuerdo con Wilke *et al*. (2020), un grado de condición corporal se asigna visualmente observando principalmente el área de la cadera, incluyendo la base de la cola, la punta de la cadera (huesos coxales) y los isquiones (punta de las ancas).

Esta evaluación, busca medir la cantidad de grasa de cobertura y cobertura muscular sobre las estructuras óseas, observando áreas clave como: i. cadera y base de la cola; región fundamental donde se evalúa si los huesos están prominentes (poca grasa) o cubiertos, ii. vértebras de la espalda/lomo; se observa la cobertura sobre la columna vertebral y, iii. costillas; se evalúa la presencia o ausencia de grasa de cobertura en las costillas superiores.

Los grados de condición corporal son una herramienta utilizada para ajustar la alimentación y las prácticas de manejo de manera que maximizan el potencial para una producción de leche y minimizar los desórdenes reproductivos. La cadera de la vaca, principalmente el área delimitada por la tuberosidad coxal, la tuberosidad isquiática y la base de la cola, como se muestra en la Figura 8 y 9. La cantidad de "cobertura" sobre las vértebras de la espalda se utiliza también para asignar un grado. Las vacas se ordeñan usualmente en una escala que va de 1 a 5. A las vacas extremadamente flacas se les asigna un grado de 1 y las extremadamente gordas, un grado de 5.

Las vacas que presentan un estado de balance energético negativo presentan serios problemas reproductivos ya que no entrarán en celo. Un grado de condición corporal de cerca de 3.0.

Debería ser típico de una vaca que se encuentra recuperando sus reservas corporales durante la mitad de la lactancia. Durante la última parte de la lactancia y durante el período de seca, un grado de condición corporal de 3,5 es más deseable. A medida que la producción de leche disminuye, sobre el final de la lactancia, las vacas ganan peso corporal eficientemente (Hazard-Torres, 2015).

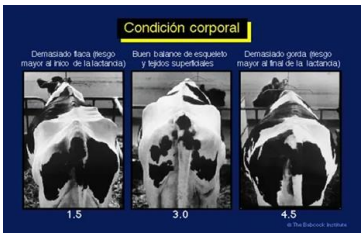


Figura 8. Medidas de la condición corporal de vacas lecheras.

Fuente: Edmondson *et al*. (1989).

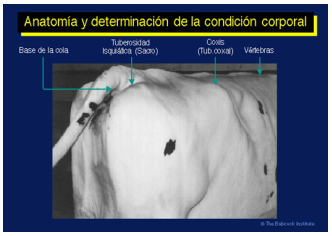


Figura 9 . Anatomía y determinación de la condición corporal de vacas lecheras.

Fuente: Edmondson *et al*. (1989).

III. JUSTIFICACIÓN

En México, la producción de leche es una de las actividades más importantes del sector pecuario; sin embargo, los productores enfrentan constantemente el reto de la volatilidad en los precios de los insumos y los elevados costos de la alimentación, los cuales representan entre el 60% y el 70% de los costos totales de producción en las unidades lecheras. En los sistemas semi-estabulados de las regiones central y alteña del país, optimizar la eficiencia alimenticia es una necesidad crítica para garantizar la viabilidad económica y la rentabilidad de los hatos.

Bajo este escenario, las grasas de sobrepaso surgen como una herramienta nutricional estratégica para incrementar la densidad energética de las dietas sin perjudicar la fermentación ruminal. No obstante, su adopción práctica está fuertemente condicionada por su impacto económico en el costo de la ración diaria.

Las fuentes comerciales convencionales basadas en aceite de palma tienen un costo promedio en el mercado nacional que oscila entre los $35.00 y $45.00 MXN.

Por su parte, la grasa de sobrepaso derivada de aceite de aguacate representa una alternativa premium y de alto valor biológico debido a su aporte de ácidos grasos insaturados, con un costo estimado que ronda entre los $65.00 y $85.00 MXN por kilogramo. Al ser el aguacate un cultivo insignia de México, evaluar la viabilidad de sus subproductos industriales abre una ventana clave para determinar si el beneficio productivo justifica la inversión económica frente a las fuentes tradicionales.

A pesar de que el uso de estas grasas está documentado globalmente, la mayor parte de la literatura nacional se centra en el ganado Holstein o en cruzas de doble propósito, existiendo un vacío de información científica sobre la respuesta productiva y metabólica de la raza Jersey bajo estas estrategias en condiciones locales. La raza Jersey destaca por su capacidad para producir leche con un alto porcentaje de sólidos totales, una característica altamente valorada por la industria láctea regional para la elaboración de derivados.

El presente estudio aporta datos técnicos y cuantitativos sobre el impacto de suplementar grasas sobrepasantes con diferentes perfiles de ácidos grasos (saturados e insaturados) en vacas Jersey. Al evaluar el desempeño productivo y la composición de la leche, esta investigación llena un vacío de conocimiento práctico al determinar si fuentes lipídicas específicas y accesibles pueden mitigar el balance energético negativo postparto de manera eficiente en esta raza.

Desde una perspectiva práctica y económica, los resultados de este trabajo permitirán a los tomadores de decisiones y asesores técnicos diseñar estrategias de alimentación de precisión. El beneficio directo para el productor radica en la posibilidad de mejorar la persistencia de la lactancia, optimizar la conversión alimenticia y elevar la calidad composicional de la leche (grasa y proteína). Esto no solo permite amortizar el costo de inclusión de estas grasas en la TMR (Total Mixed Ration), sino que reduce el costo de alimentación por kilogramo de sólido lácteo producido e incrementa el valor comercial del producto ante las empresas acopiadoras de la región, promoviendo la competitividad y la sustentabilidad financiera de la ganadería lechera en el país.

IV. HIPÓTESIS

La adición de grasas de sobrepaso ricas en ácidos grasos saturados e insaturados en dietas, para vacas especializadas en producción, favorece el rendimiento (kg/vaca/día) y la calidad de la leche.

V. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar los efectos de adicionar grasas de sobrepaso, con un alto contenido de ácidos grasos saturados e insaturados, en la dieta de vacas especializadas sobre la producción y calidad de su leche.

5.2. Particulares

Evaluar el efecto de la inclusión de grasas de sobrepaso (aceite de palma vs. aceite de aguacate) sobre las variables de rendimiento productivo, cuantificando la producción diaria de leche (kg/día) a lo largo de un periodo experimental con una duración de 57 días de evaluación.

Determinar las variaciones en la composición fisicoquímica de la leche mediante la medición del porcentaje de grasa, porcentaje de proteína y porcentaje de sólidos totales en las vacas Jersey bajo los diferentes tratamientos nutricionales.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Límite de espacio

El trabajo se realizó en el Rancho el Progreso, ubicado en Tepatitlán de Morelos Jalisco, a una altura de 1880 msnm (Robledo-Padilla, 2015 y GEJ, 1995). Se realizó el análisis de muestras de leche y dietas, en dos laboratorios. En el Laboratorio de Innovación y Procesos Biotecnológicos del Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara y en el laboratorio del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México.

6.2. Periodo de Estudio

El presente trabajo experimental comprendió 3 periodos, en la siguiente secuencia

Periodo I: 28 de abril al 16 de mayo de 2025.

Periodo II: 17 de mayo al 4 de junio de 2025.

Periodo III: 5 al 23 de junio de 2025.

6.3. Materiales

6.3.1. Material de campo

- Báscula digital
- Carretilla
- Palas
- Bolsa de plástico
- Marcadores permanentes
- Frascos de plástico de 100 y 50 ml
- Morteros para molienda
- Cubetas

- Tinas de plástico
- Hielera
- Cinta para identificación de muestras

6.3.2. Material biológico

- Nueve vacas Jersey en lactación

6.3.3. Equipo de laboratorio

- Reactivos varios
- Balanza analítica
- Espátula
- Bata de laboratorio
- Guantes
- Bitácora

6.3.4. Material de gabinete

- Libros
- Artículos científicos
- Computadora
- Libretas
- Marcadores permanentes
- Bolígrafos y lápices

6.4. Métodos

6.4.1. Vacas

Se utilizaron nueve vacas Jersey de primer y tercer parto (con un promedio de 1.67±0.18 partos) y con un promedio de 116.44±4.33 días de lactación, es decir, se mantenían en el inicio del segundo tercio de producción de leche y con una condición corporal al inicio del experimento de 2.94±0.04, las cuales se manejaron de acuerdo con las normas de salud y de bienestar animal establecidas por el Centro Universitario de los Altos de Jalisco, Universidad de Guadalajara. Las vacas se asignaron aleatoriamente en arreglo de cuadrado latino 3x3 repetido con periodos experimentales de 19 días. La alimentación se realizó en estabulación con raciones totalmente mezcladas (TMR por sus siglas en inglés), conformada por ensilado de maíz, henificado de alfalfa y un concentrado elaborado en la propia UP. El concentrado fue elaborado a base de cereales energéticos, fuentes proteicas y aditivos que lo complementaban (Absorbente de micotoxinas, buferizante, minerales y levaduras).

El trabajo experimental comprendió tres periodos, divididos en dos fases cada uno. La primera fase consistió en la adaptación al manejo y la dieta, los cuales fueron de 14 días, y los últimos cinco días de cada periodo fue la medición del consumo de alimento, producción de leche y la toma de muestras (leche y alimento), para el análisis químico y bromatológico respectivamente. Las vacas se pesaron al inicio y final de cada fase de medición de los tres períodos. Diariamente las vacas fueron alimentadas dos veces al día, la primera vez a las 8:30 horas y la segunda a las 19:30 horas.

Diariamente se realizaron dos ordeños (06:00h y 18:00h) como normalmente se realizan en función del manejo de la unidad de producción. Finalizado el ordeño matutino, los animales permanecieron en corral provisto de bebedero y comedero y se les proporciono la TMR *ad libitum*,. Después de ofertar la dieta por la mañana, a las 11:00 horas se les daba acceso a un área de descanso donde permanecían

hasta el inicio del ordeño vespertino, teniendo posibilidad de regresar al corral a beber agua o descansar en la sombra. El ordeño se realizó con ordeñadora mecánica. Concluido el segundo ordeño, los animales se quedaban en el corral, donde se les administraba la TMR de la tarde y que completaba el total ofrecido por día.

Durante los 5 días de medición se tomaron muestras de leche en cada ordeño por vaca, con la cual se preparó una alícuota proporcional a la producción, misma que se mantuvo en refrigeración para su posterior análisis en laboratorio.

6.4.2. Alimentación

Los tratamientos para evaluar fueron los siguientes:

T1: Testigo (3 vacas): recibieron 17 kg de ensilado de maíz BH + 2 kg de alfalfa henificada BH y 8 kg de concentrado BH sin grasa de sobrepaso.

T2: Grasa de aguacate (3 vacas):17 kg de ensilado de maíz BH + 2 kg de alfalfa henificada BH y 8 kg de concentrado BH + 150 g de aceite de aguacate como fuente de ácidos grasos insaturados (AGS = 10-19%: AGMI = 75-80% y AGPI = 11-15%).

T3: Grasa de palma: 17 kg de ensilado de maíz BH + 2 kg de alfalfa henificada BH y 8 kg de concentrado BH + 150 g de aceite de palma (3.51 MjEMkgMS), rica de ácidos grasos saturados (AGS = 13.3%: AGMI = 66.7% y AGPI = 13.3%, el resto son hidratos de carbono) (Pérez-Rosales et al., 2005).

Es importante mencionar que en los tratamientos dos y tres, los aceites utilizados, estaban protegidos con jabones cálcicos permitiendo que fueran resistentes a las bacterias del rumen, permitiendo sobrepasar de manera intacta el rumen y poder ser aprovechados en intestino delgado, donde se absorben como ácidos grasos, proporcionando energía concentrada que no afecta la fermentación ruminal.

Las dietas de rumiantes son comúnmente suplementadas con aceites y grasas para satisfacer los requerimientos al inicio de la lactación y/o para dirigir la composición de la grasa de la leche hacia el enriquecimiento de ácidos grasos benéficos para el ser humano (Martínez-Marín *et al*., 2013).

En los Cuadros 3 y 4, se muestra la composición química de la dieta experimental que incluyeron grasas de sobrepaso.

Cuadro *3*. Composición química de la dieta experimental

Muestra	Proteína	Grasa	Ceniza	MS	NDF	NDFCP	NFC
Ensilado maíz	7.18	3.73	7.77	34.00	43.86	0.65	39.19
Alfalfa henificada	17.11	2.44	11.03	86.00	46.03	2.97	30.70

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro *4*. Composición química del concentrado comercial en la dieta experimental

	Proteína	MS	Grasa	Fibra Cruda	Ceniza superficial	Almidón
Concentrado vacas GSP	20.90	90.30	4.99	2.98	10.41	38.61

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de materia seca se muestra en el Cuadro 5. En el mismo Cuadro se observa la cantidad de energía que contenía cada insumo utilizado en la alimentación de las vacas.

Cuadro *5*. Contenido de energía de la dieta del ganado

Ingrediente	MF (kg)	MS (kg)	MJ EM/kgMS	MJ EM total
Ensilado	18	6.12	9.62	58.87
Alfalfa Henificada	2	1.72	8.37	14.40
Concentrado	8	7.2	13.39	96.41
Total	28	15.04		169.68

Donde: MF = Materia Fresca; MS = Materia seca; MJ EM= Megajulios por kg de MS.
Fuente: Elaboración propia

La alimentación, se administraba dos veces al día de la siguiente manera (Figura 10): se realizaba una mezcla contemplando el ensilado de maíz, la alfalfa y el 50% (4 kg) del total del concentrado ofrecido (8 kg), el otro 50% del concentrado se dividió también en dos partes las cuales se les daba de manera individual a las vacas en cada uno de los ordeños, junto con los aceites protegidos, para tener la certeza que cada vaca consumía el total del aceite que debían de consumir de cada tratamiento.



Figura 10. Uso de jabones cálcicos en alimentación de bovinos.

Fuente. Vargas-Bello-Pérez et al. (2020).

6.4.3. Peso Vivo

Las vacas se pesaron al principio del experimento y el día 5 de evaluación después de la ordeña, con una báscula electrónica de piso, con capacidad de 1000 kg.

6.4.4. Condición corporal

Se estimó la condición corporal de las vacas, de acuerdo con la técnica descrita por (Lowman, 1973) cada 15 días. La técnica que se utilizó se basa en la calificación por palpación de la cantidad de grasa subcutánea de la región periférica del maslo de la cola y sobre las apófisis transversas de las vértebras lumbares, utilizando una escala de 0 a 5 en donde:

0= Muy flaco

1= Flaco

2= Moderado

3= Bueno

4=Gordo

5= Obeso.

6.4.5. Composición química de la leche

Se recolectaron muestras de leche durante los cinco días de medición. Se obtuvo una alícuota de las muestras del día uno, tres y cinco, para determinar la composición de proteína, grasa, sólidos totales, densidad, lactosa, acidez y cenizas mediante un analizador de leche por ultrasonido (Lactoscan). Para el caso del contenido de grasa en la leche, cada muestra se analizó por duplicado.

6.4.6. Análisis de laboratorio de alimento

En el análisis de la composición química del ensilado, alfalfa y el concentrado, se determinó el contenido de materia seca (MS) por pérdida de peso tras desecación de la muestra a 55 ± 1ºC en estufa de aire forzado durante 48 h., y cenizas por incineración de una muestra de 1 g en una mufla a 550°C por 5 horas. El análisis bromatológico se realizó por medio espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIRS por sus siglas en inglés), equipo de la marca FOSS modelo 2550.

6.5. Análisis estadístico

Las variables respuesta, consumo de alimento, producción de leche, composición y perfil de ácidos grasos de la leche se analizaron mediante un ANOVA para un diseño cuadrado latino 3x3, repetido con el procedimiento *mixed* del paquete estadístico SAS (1999), según el modelo estadístico con los efectos involucrados:

$$Y_{ijkl} = \mu + v_i + F_{i\,(r)} + C_{j\,(r)} + T_k + (\rho T)_{lk} + E_{ijkl}.$$

Donde:

Y_{ijkz}, es la variable respuesta.

μ, es la media general.

V_i, es el efecto debido a la vaca (factor aleatorio).

$F_{i\ (r)}$ es el efecto debido a la fila.

$C_{j\ (r)}$ es el efecto debido a la columna.

T_k, es el efecto del tratamiento o grasa añadida en la dieta (factor fijo).

P_l, es el efecto debido a la interacción periodo y tratamiento.

E_{ijkl}, es el error residual.

Se utilizará el peso vivo inicial y producción de leche al comienzo del experimento como covariable, para corregir cada una de las variables de respuesta.

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

VII. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados del Cuadro 6, las variables de producción de leche, lactosa, proteína cruda y grasa no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre los tres tratamientos (aceite de palma, aceite de aguacate y testigo) lo que nos indica que los diferentes tratamientos utilizados no tuvieron un impacto real o medible en la cantidad de leche producida ni en la composición de esta. En las variables de peso vivo y condición corporal, se observaron diferencias significativas ($p<0.05$). En este sentido, el tratamiento testigo, fue el que presento el mayor peso de las vacas, mientras que en el tratamiento con grasa se observó vacas de menor peso. Por otra parte, con relación a la condición corporal, esta fue mayor en las vacas del tratamiento con grasa de palma y menor en vacas del tratamiento con aceite de aguacate.

Cuadro 6. Producción y calidad de leche por tratamiento

Variable	Testigo	Grasa de palma	Grasa de aguacate	Promedio	EEM	F	P
Leche	25.98	25.73	26.40	25.95	0.28	0.49	0.6117^{ns}
Proteína	4.02	4.12	3.95	4.55	0.08	1.55	0.3191 ^{ns}
Grasa	4.54	4.67	4.47	4.02	0.07	1.88	0.1609 ^{ns}
Lactosa	5.07	5.08	4.97	5.04	0.07	0.67	0.5134 ^{ns}
P. V	437.42^{b}	433.92^{b}	417.80^{a}	429.71	1.76	45.51	0.0001*
C.C	3.03^{b}	2.89^{a}	2.92^{a}	2.94	0.02	13.00	0.0023*

En Tx1 = 6.31 MJEM/kg de leche; Tx2 = 6.37 MJEM/kg de leche y Tx3 = 6.21 MJEM/kg de leche. ^{ns} = no significativo ($P>0.05$). Literales$^{a, b, c}$ en una misma fila, presentan diferencias ($P<0.05$).

En la Figura 11, se muestra la producción por tratamiento en cada periodo. Se observa que TX 1 el cual inicio con la menor producción, presento el pico durante el periodo 3. El Tx2, la mayor producción de leche en el periodo 1 y disminuyó en los siguientes dos periodos. Mientras que Tx3, presentó la mayor producción durante el periodo 2.

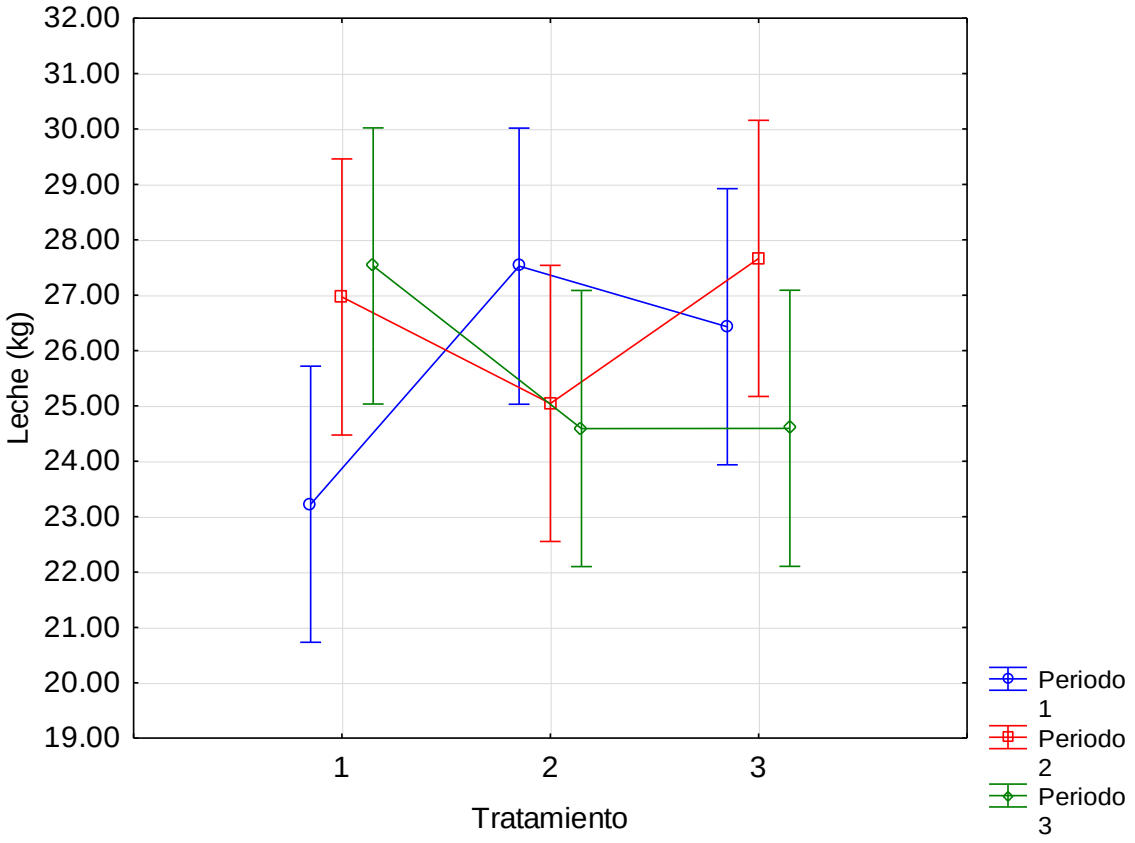


Figura 11. Interacción en la producción de leche

Las variables de Leche (producción) y Condición corporal (C.C.) no mostraron cambios estadísticamente significativos a lo largo de los períodos (P1, P2 y P3). ya que su valor es >0.05 (Cuadro 3)

En el Cuadro 7, se muestran los resultados por periodo. No se observaron diferencias en producción de leche y en la condición corporal ($p<0.05$). Par el resto de las variables analizadas se observaron diferencias significativas ($p>0.05$). En este sentido, los valores más altos se obtuvieron durante el periodo 1 de medición para el caso de la PC, grasa y lactosa en la leche. Mientras que para el peso vivo el mayor valor se observó durante el periodo 3.

Cuadro 7. Producción y calidad de leche por periodo

Variable	P1	P2	P3	Promedio	EEM	F	P
Leche	25.98	26.56	25.57	25.95	0.29	1.03	0.0500 ^{ns}
Proteína	4.37^{b}	3.87^{a}	3.84^{a}	4.55	0.08	15.65	0.0001*
Grasa	4.89^{b}	4.43^{a}	4.36^{a}	4.02	0.07	16.04	0.0001*
Lactosa	5.30^{b}	4.93^{a}	4.89^{a}	5.04	0.07	10.12	0.0001*
Peso vivo	424.40^{a}	429.19^{a}	435.56^{b}	429.71	1.76	12.16	0.0013*
CC	2.92	2.94	2.94	2.94	0.02	1.00	0.3897 ^{ns}

En P1 = 6.31 MJEM/kg de leche; P2 = 6.17 MJEM/kg de leche y P3 = 6.41 MJEM/kg de leche. ^{ns} = no significativo ($P>0.05$). Literales$^{a, b, c}$ en una misma fila, presentan diferencias ($P<0.05$). CC = Condición corporal

Las interacciones entre periodo y tratamiento, se muestra en la Figura 12. Se observa que en el P1*Tx2, la producción de leche supero 27 kg, al igual que la interacción de P2*TX1, aunque en este la variación fue menor. En la interacción P2*Tx3 se obtuvo la mayor producción de leche, aunque la variación de este fue mayor que la interacción P3*Tx2.

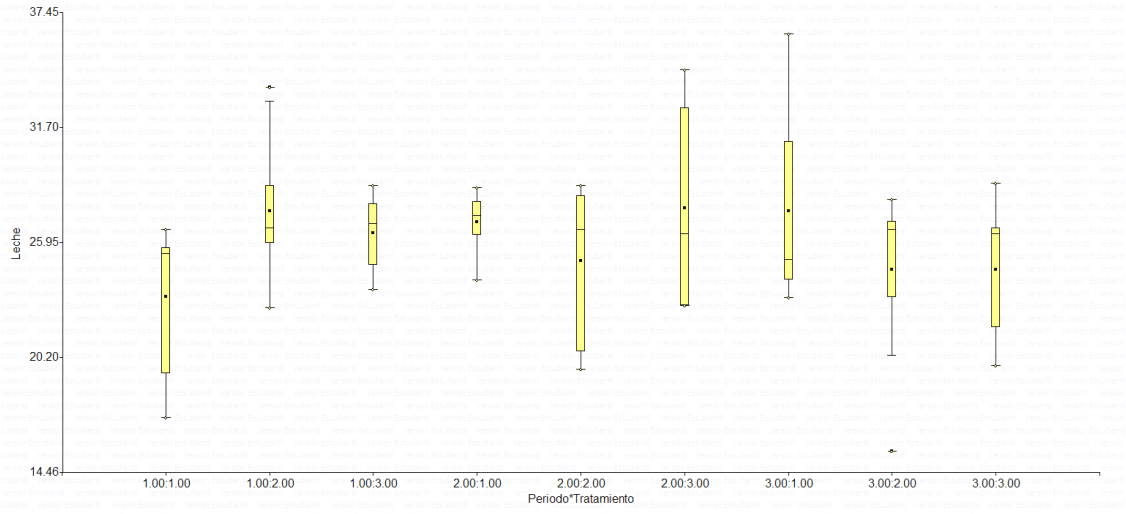


Figura 12. Producción de leche en la interacción periodo*tratamiento.

Finalmente, en el Cuadro 8 se muestran las variables y el efecto en las vacas individualmente. En todas las variables se observaron diferencias significativas ($P<0.05$). La vaca 35 fue la mayor cantidad de leche produjo, no obstante, la que menor cantidad de PC y Lactosa presentó. Las vacas 34 y 56 las que produjeron leche con mayor concentración de grasa, a diferencia de las vacas 32 y 59, cuya concentración de grasa en leche fue menor. Las vacas 32 y 34 fueron las que presentaron mayor peso vivo y condición corporal presentaron, mientras que la 52 y 59, fueron las que menor peso y condición presentaron.

Cuadro 8. Producción y calidad de leche por vaca

vaca	32	34	35	52	54	56	57	58	59	Total	EEM	F	P
Leche	26.03^{bcd}	27.03^{cd}	33.13^{e}	24.77^{abcd}	27.73^{d}	22.06^{a}	23.77^{abc}	25.81^{bcd}	23.22^{ab}	25.95	0.43	15.55	0.0000*
Proteína	3.81^{a}	4.57^{b}	3.70^{a}	4.08^{ab}	3.97^{ab}	4.13^{ab}	4.06^{ab}	3.87^{a}	4.00^{ab}	4.02	0.06	2.50	0.0022*
Grasa	4.35^{a}	5.06^{b}	4.35^{a}	4.61^{ab}	4.48^{a}	4.70^{ab}	4.61^{ab}	4.42^{a}	4.39^{a}	4.55	0.05	2.21	0.0024*
Lactosa	4.88A^{b}	5.51^{c}	4.61^{a}	5.10A^{bc}	4.99^{abc}	5.19^{bc}	5.14^{abc}	4.94^{ab}	4.95^{abc}	5.04	0.05	4.13	0.0005*
DL	149.00	145.00	145.00	102.00	91.00^{b}	107.00	112.00	92.00^{b}	105.00	116.44	4.33	-	-
No. de parto	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.67	0.18	-	-
PV	474.20^{e}	472.27^{de}	455.83^{c}	380.23^{a}	414.97^{b}	457.83^{cd}	445.57^{c}	400.37^{b}	366.17^{a}	429.71	7.56	267.85	0.0001*
CC	3.33^{c}	3.00^{b}	2.75^{a}	2.75^{a}	3.00^{b}	3.00^{b}	3.17^{bc}	2.75^{a}	2.75^{a}	2.94	0.04	29.25	0.0000*

Literales$^{a, b. c}$ en una misma fila, presentan diferencias (P<0.05). DL = días de lactancia. PV = peso vivo. CC = Condición corporal.

VIII. DISCUSIÓN

General

De acuerdo con Vargas-Bello-Pérez et al. (2019), los aceites vegetales aumentan el contenido energético de las dietas de vacas para producción de leche, pero también es cierto que pueden alterar la presencia de bacterias ruminales y tener repercusiones en el proceso de biohidrogenación. Consumo de energía metabolizable (En P1 = 6.31 MJEM/kg de leche; P2 = 6.17 MJEM/kg de leche y P3 = 6.41 MJEM/kg de leche), a los consumidos por vacas Holstein (6.45±0.18), Jersey (6.49±0.22) y 6.44±0.19 en otras vacas (Kristensen *et al*., 2015). Los mismos autores, indicaron que la eficiencia en el uso de energía está altamente correlacionada con la producción de leche en vacas Jersey, pero negativamente correlacionada con el consumo de materia seca en Holstein.

El aceite de aguacate es rico en ácido oleico y antioxidantes naturales como la vitamina E. A diferencia del aceite de palma, tiene mayor efecto en la salud reproductiva ya que el ácido oleico ayuda a mejorar la calidad de los folículos y a la recuperación del útero tras el parto (Pérez-Rosales et al., 2005 y Ramos et al. (2020). En conjunto, los resultados de este trabajo se alinean con los resultados que señalan los efectos de las grasas de sobrepaso dependen de factores nutricionales (litros de leche, porcentaje de grasa,), fisiológicos (edad, peso, raza, curva de lactancia) y de manejo (horario de alimentación, ordeña, estrés, como lo han indicado Ramos et al. (2020).

Aunque no se observaron mejoras significativas en la producción, ni en la composición de leche, el efecto sobre la condición corporal sugiere que la suplementación obtuvo un impacto metabólico, con el aceite de palma (Braun et al., 2019). Mientras que Méndez (2013), reportó un incremento significativo en la producción de leche (~2.84 L/vaca/día) al suplementar 0.3 kg/día de grasa sobrepasante en vacas primíparas, atribuible directamente al tipo de grasa suplementada, duración del periodo de evaluación. Por otra parte, Gallardo y

Teixeira (2023) y Lindberg (2020), atribuyen este efecto a la composición química del suplemento y del balance energético del animal, factores que pueden influir o modificar el perfil de ácidos grasos, razón por la cual, es de suma importancia realizar este análisis para poder determinar el efecto potencial.

Este comportamiento es coherente con reportes que indican que las grasas sobrepasantes pueden mejorar el estatus energético posparto, reducir la movilización de reservas corporales o modificar la eficiencia de utilización de la energía dietaria (Côrtes *et al*., 2010). Sin embargo, se ha documentado que ciertos tipos de grasas, como aquellas con baja palatabilidad o con alto contenido de ácidos grasos saturados, pueden disminuir la ingestión total y afectar el desempeño productivo. Esto resalta la importancia del estudio al analizar diferentes fuentes lipídicas.

Producción y Composición de la Leche

La ausencia de diferencias significativas ($p>0.05$) en la producción de leche, lactosa, proteína y grasa entre los tratamientos con aceite de palma, aceite de aguacate y el testigo sugiere que la inclusión de estas fuentes lipídicas no alteró el metabolismo de la glándula mamaria de forma negativa ni positiva en términos de volumen. Este hallazgo coincide con lo reportado Hidalgo **(2020)**, quien señala que la suplementación con grasas protegidas o aceites vegetales a niveles moderados suele mantener la estabilidad en los componentes de la leche sin afectar la fermentación ruminal. Mientras que Jaurena y Moorby (2017), demostraron que el efecto sobre la proteína de la leche depende de la edad de las vacas, de forma que puede haber un mayor efecto en vacas adultas que con menos de dos partos y se potencia con la complementación de otros alimentos, principalmente ensilado de maíz. Resultados similares fueron encontrados por Gutiérrez León, quien encontró que aceites de soya y palma no afectaron el rendimiento de leche. Mientras que Arenas et al. (2010), resaltaron que puede deberse a que grasas saturadas o insaturadas no degradan la materia seca de los alimentos o que tiene poco efecto

sobre la cinética de fermentación. Como lo indicaron Vargas-Bello-Pérez et al. (2019), ya que la suplementación con aceite de soya y de palma no afecta los parámetros de fermentación ruminal, y asumen que el efecto sobre las bacterias ruminales puede depender del grado de saturación de los aceites alimentarios. No obstante Braun et al. (2019), resaltaron que la adición de aceites no solo aumenta la producción de leche, el contenido de grasa y proteína sino que favorece la eficiencia alimenticia, ya que estimulan la absorción de cationes de calcio y este as u vez mejora el comportamiento de los microorganismos digestivos y la digestibilidad de la fibra. También reduce la urea en sangre y leche. Sin embargo, Palmquist y Jenkins (1980), indicaron que grandes cantidades de grasa añadida a la dieta aumentan las concentraciones plasmáticas de triglicéridos de lipoproteínas de muy baja densidad, lo que incrementa su absorción por la glándula mamaria, inhibiendo la síntesis de ácidos grasos de cadena corta y provocando cambios en la composición de ácidos grasos de la leche. En algunos casos, se incrementa la secreción de grasa láctea y mejoran el perfil de ácidos grasos como lo han mencionado Muñoz et al (2019) y Ramos et al. (2020) en el caso de la utilización de aceite palma, sobre todo de AG linoleico conjugado (C18:2). La estabilidad en la grasa láctea indica que no hubo una depresión de la grasa de la leche (MFD), fenómeno común cuando el exceso de ácidos grasos insaturados interfiere con la biohidrogenación ruminal para producir intermediarios de ácidos grasos únicos que inhiben la síntesis de grasa láctea. El ácido linoleico conjugado trans-10, cis-12 (CLA) se ha identificado como un ejemplo correlacionado con la reducción de la grasa láctea (Bauman y Griinari, 2003). Lo que es cierto y de acuerdo con Frank et al. (2022), el contenido de proteína tiende a disminuir en la medida que se incrementa la adición de grasas en la dieta. Lo mismo sucede con la digestibilidad de la FDN aparente, debido a efectos negativos de la grasa sobre la fermentación ruminal.

Peso Vivo y Condición Corporal (CC)

El hecho de que el grupo testigo presentara un mayor peso vivo comparado con los tratamientos de grasa sugiere que la energía aportada por los aceites podría haber sido particionada hacia la producción o el mantenimiento térmico en lugar de la ganancia de masa corporal, como la ha mencionaron Castro et al. (2016). No obstante, la mayor condición corporal observada en el tratamiento con grasa de palma se explica por su perfil de ácidos grasos saturados (Pérez-Rosales et al. (2005), los cuales son más eficientes para la deposición de tejido adiposo en rumiantes (Palmquist y Jenkins, 1980). Por el contrario, el aceite de aguacate, rico en ácidos grasos monoinsaturados, parece no haber tenido el mismo efecto en la reserva grasa, lo que resultó en una menor CC, a diferencia de lo que ocurre en vaquillas en las que la CC aumento significativamente con la adición de 320 grs de aceite de palma a la dieta (Patiño-Puga, 2019). Resultados similares fueron encontrados por Gutiérrez-León (2022), en mayor ganancia de peso vivo condición corporal en vacas lecheras que fueron alimentadas con 400 grs de aceite de palama día, tratamiento que también se reflejó en una mejor relación costo-beneficio en comparación con la ministración de aceite de soya y de acuerdo Barragán-Hernández et al. (2020) se postula como un suplemento promisorios para mejorar la producción de leche bajo condiciones de pequeños productores y, en sistemas de ganado en pastoreo como lo indicaron Ojeda y Escobar (1995). No obstante, el MAPA (2021), resalta que en un futuro no muy lejano dejara de utilizarse en la alimentación de ganado lechero, por razones medioambientales, asociadas al cultivo de la palma, tendencia que Barsimantov y Navia-Antezana (2012), ya reportaban para el caso del aceite de aguacate, por la pérdida de cobertura forestal, debido al colapso de la gobernanza local, la división ilegal de bosques comunales y la tala ilegal.

Efecto de los periodos e interacciones

La variación de los componentes (proteína, grasa y lactosa) con valores más altos en el primer periodo es un comportamiento fisiológico esperado, asociado a la curva de lactancia y la concentración de sólidos conforme avanza el tiempo post-parto. El aumento del peso vivo hacia el periodo 3 refleja la recuperación de reservas corporales tras el pico de lactancia, conforme el balance energético se vuelve positivo (NRC, 2001). Las interacciones significativas entre periodo y tratamiento (como P2*Tx3 con mayor producción) indican que la respuesta a la suplementación lipídica es dependiente de la etapa fisiológica de la vaca, donde la densidad energética de la dieta cobra mayor relevancia durante el desafío metabólico del segundo periodo. De acuerdo con Hidalgo (2020), el efecto de los tratamientos en vacas lecheras para incrementar la producción (20%), se logra entre los días 25, 50 y 75 postparto en vacas multíparas, si se proporcionan 125 gramos de grasa sobrepasante en la ración diaria. De acuerdo con Méndez (2013), las diferencias metodológicas en los estudios también ayudan a explicar las variaciones en los resultados, sobre todo si se trata de controlar el efecto del animal y periodo o bajo número de unidades experimentales, como sucedió en este trabajo que reportó un efecto moderado sobre la producción de leche. Lo contrario se muestra cuando se realizan experimento con mayor número de animales por tratamiento u otros modelos estadísticos que tienden a mostrar respuestas más claras, especialmente cuando los efectos son pequeños.

Variabilidad Individual

Las diferencias significativas entre vacas individuales ($p<0.05$) subrayan la importancia del componente genético y el historial de salud de cada animal (Figura 13). La vaca 35, que produjo más leche, pero con menor proteína y lactosa, ejemplifica el efecto de dilución de componentes, donde a mayor volumen de leche, la concentración de sólidos tiende a disminuir debido a límites fisiológicos de síntesis en el epitelio mamario (**Schingoethe, 1996**). Asimismo, el autor indicó que proporcionar suficiente proteína cruda en la dieta, se maximiza la cantidad de aminoácidos necesarios para la síntesis de proteína láctea en el tracto gastrointestinal y per se, garantiza un rendimiento y contenido óptimos de proteína láctea. Una dieta deficiente en proteínas reducirá el contenido de proteína láctea de 1 a 2 g kg−1 y es probable que la mayor eficiencia en la síntesis de grasa y lactosa de la leche sea la causa de esta disminución en el contenido de proteína láctea, como se observó en este trabajo.

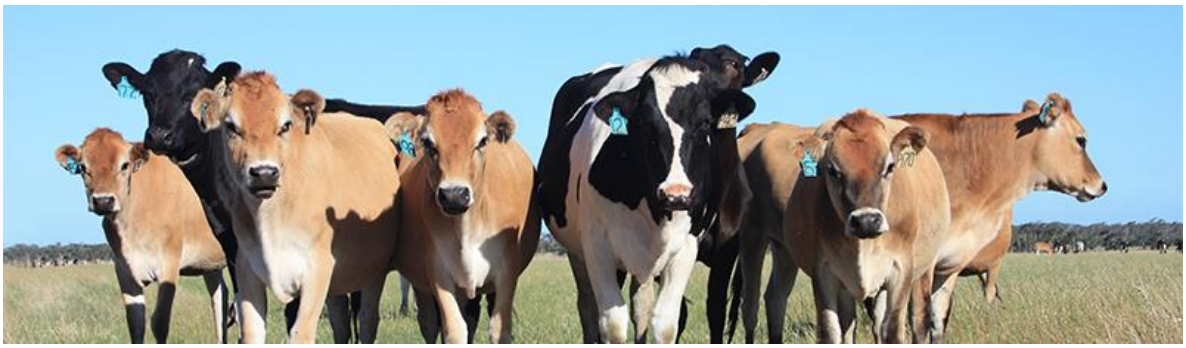


Figura 13. Ejemplares de razas de vacas lecheras Holstein y Jersey.

Fuente. Arenas, F. A., Noguera, R. R. y Restrepo, L.F. (2010).

IX. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que los tratamientos evaluados no generaron cambios significativos en el volumen de producción ni en los componentes principales de la leche (lactosa, proteína y grasa) en comparación con el grupo testigo; por tanto, no hubo un impacto directo sobre su calidad nutricional, pero se demuestra que ambos aceites son fuentes de energía seguras que no alteran la calidad nutricional del producto. No obstante, se registraron efectos notables en el peso vivo y la condición corporal, siendo el tratamiento tres el de menor desempeño, lo que evidencia su influencia en el estado fisiológico de los animales. Es decir, La grasa de palma favorece una mejor condición corporal en las vacas, lo que sugiere una mayor eficiencia en la acumulación de reservas energéticas en comparación con el aceite de aguacate. Durante el periodo de evaluación, mientras la producción y la condición corporal permanecieron estables, la composición láctea (grasa y proteína) y el peso vivo mostraron una mejora progresiva. Esto sugiere que el tiempo favoreció la calidad del producto y el bienestar animal, a pesar de no alterarse la cantidad de leche producida. Finalmente, la variabilidad individual entre vacas fue el factor determinante en todas las variables analizadas, subrayando la importancia de la genética, el estado fisiológico de las vacas y la capacidad de adaptación a la dieta de cada animal. Existe un marcado efecto animal individual y la etapa de la lactancia (periodo) sobre la respuesta productiva, donde el mayor rendimiento de sólidos ocurre en las etapas tempranas del estudio, mientras que la recuperación de peso corporal se consolida hacia el final del experimento. En consecuencia, la selección y el monitoreo individual, sumados al manejo nutricional, son estrategias fundamentales para optimizar la productividad y salud del hato.

X. RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio se alinean con los trabajos que señalan que el efecto de las grasas de sobrepaso depende de múltiples factores nutricionales, fisiológicos y de manejo. Aunque no se observaron mejoras en la producción ni en la composición de la leche, el efecto sobre la condición corporal sugiere que la suplementación lipídica sí tuvo impacto metabólico, que debería considerarse en estudios futuros.

Se recomienda el uso de aceite de palma cuando el objetivo sea recuperar o mantener la condición corporal de los animales sin comprometer el volumen de producción láctea.

Este trabajo realizado en el Rancho el Progreso es fundamental para validar la eficiencia del uso de estas grasas en la alimentación asegurando que el ganado lechero tenga un rendimiento productivo alto, mejora en la calidad de la leche y se traduzca en mejoras reales.

Futuros trabajos deberían considerar periodos experimentales más largos, con un mayor número de animales y evaluación paralela de variables como ingesta de materia seca y el perfil de ácidos grasos, con el fin de comprender de manera más precisa la respuesta a las diferentes fuentes de grasa protegida.

XI . LITERATURA CONSULTADA

Apaza-Huallpa, Y., Loza-Murguia, M., Rojas-Pardo, A. y Achu-Nina, C. (2016). Determinación del comportamiento de la curva de lactancia y producción lechera del ganado Mestizo del Altiplano de la Provincia Omasuyos Departamento de La Paz. Journal of the Selva Andina Animal Science 3(2): 77-86. https://portal.amelica.org/ameli/journal/198/1981227002/.

Arenas, F. A., Noguera, R. R. y Restrepo, L.F. (2010). Efecto de diferentes tipos de grasa en dietas para rumiantes sobre la cinética de degradación y fermentación de la materia seca in vitro. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 23(1), 55-64. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902010000100007&lng=en&tlng=es

Barragán, W. A., Mestra-Vargas, L. I. ., Portilla-Pinzon, D. ., & Mejía-Luquez, J. A. (2020). Efecto de subproductos de palma africana en la producción y calidad de leche bovina en el sur del departamento del Atlántico, Colombia. Ciencia Y Tecnología Agropecuaria, 21(2), 1–15. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1132

Barsimantov, J., & Navia Antezana, J. (2012). Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops? Applied Geography, 32(2), 844-853. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.09.001

Bauchart, D. (1993). Lipid Absorption and Transport in Ruminants. Journal of Dairy Science. 76(12): 3864-3881. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77728-0.

Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. Annual review of nutrition, 23, 203–227. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408

Blanco-Ochoa, M. Á. (2005). Zootecnia de bovinos productores de leche. FMVZ, UNAM. 37 pp. Disponible en: https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_3_bovinosleche.pdf. Consultado: enero de 2026.

Braun, H. S., Schrapers, K. T., Mahlkow-Nerge, K., Stumpff, F., & Rosendahl, J. (2019). Dietary supplementation of essential oils in dairy cows: evidence for stimulatory effects on nutrient absorption. Animal, 13(3), 518-523. https://doi.org/10.1017/S1751731118001696

Carvajal-Hernández, M., Valencia-Heredia, E. R., & Segura-Correa, J. C. (2002). Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el Estado de Yucatán, México. Biomédica.

Chacón, G. L. R., Chávez-Martínez, A., Rentería-Monterrubio, A. L. y Rodríguez-Figueroa, J.C. (2017). Proteínas del lactosuero: usos, relación con la salud y bioactividades. INTERCIENCIA. 42 (11): 712-718.

Côrtes, C., Chouinard, P. Y., Hassanat, F., Bélanger, G., & Benchaar, C. (2010). Milk composition, milk fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation of dairy cows fed diets containing different calcium salts of fatty acids. Journal of Dairy Science, 93(1), 280–292.

Demeyer, D. y Doreau, D. (1999). Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. Proceedings of the Nutrition Society. 58(3):593-607. doi:10.1017/S0029665199000786.

Doreau, M. y Ferlay, A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology. 45*(3): 379-396. https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90039-6.

Duarte, V., Ramírez, Z.J.G. y Castañeda. S.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. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=595879100013.

Edmondson, A.J., Lean, I.J., Weaver, C.O., Farver, T. y Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. Journal of Dairy Science. 72:68-78.

FAO. (2019). Composición de la leche. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/#:~:text=Leche%20de%20vaca%3A%20las%20grasas,vaca%20var%C3%ADa%20seg%C3%BAn%20la%20raza.

FAO. (2026). Portal lácteo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es. Consultado: enero de 2026.

Frank, E., Livshitz, L., Portnick, Y., Kamer, H., Alon, T., & Moallem, U. (2022). The Effects of High-Fat Diets from Calcium Salts of Palm Oil on Milk Yields, Rumen Environment, and Digestibility of High-Yielding Dairy Cows Fed Low-Forage Diet. Animals, 12(16), 2081. https://doi.org/10.3390/ani12162081

Gallardo, W.B. y Teixeira, I.A.M.A. (2023). Associations between dietary fatty acid profile and milk fat production and fatty acid composition in dairy cows: A meta-analysis. Animals (Basel). 13(13): 2050-2063. doi: 10.3390/ani13132063.

GEJ. (1995). Tepatitlán de Morelos. Gobierno del Estado de Jalisco. Disponible en: https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/tepatitlan-de-morelos. Consultado: enero de 2026.

Glauber, C. E. (2007). Fisiología de la lactación en la vaca lechera. Veterinaria Argentina. Recuperado de www.produccion-animal.com.ar.

Gutiérrez León, F. A. (2022). Efectos de la adición de grasas vegetales en la alimentación de vacas holstein en el primer tercio de lactación. Revista Del Centro De Investigación De La Universidad La Salle, 15(58), 143–162. https://doi.org/10.26457/recein.v15i58.2963

Hazard-Torres, S. R. H. (2015). Condición corporal de las vacas lecheras: un método para conocer el estado nutricional de las vacas lecheras y como enfrentar en mejor forma los aspectos reproductivos. Engormix. Disponible en: https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/condicion-corporal-vacas-lecheras-t32210.htm. Consultado: enero de 2026.

Hidalgo B, G. A. (2020). Efecto de la grasa sobrepasante sobre la producción láctea en vacas lecheras en el subtrópico del Ecuador. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, *12*(1), 717. https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.717.

Hidalgo B, G. A. (2020). Efecto de la grasa sobrepasante sobre la producción láctea en vacas lecheras en el subtrópico del Ecuador. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 12(1), 717. https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.717

Hidalgo. B.G.A. (2020). Efecto de la grasa sobrepasante sobre la producción láctea en vacas lecheras en el subtrópico del Ecuador. Revista Colombiana de Ciencia Animal – RECIA. 12(1): 717. https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.717.

Kristensen, T., Jensen, C., Østergaard, S., Weisbjerg, M. R., Aaes, O., & Nielsen, N. I. (2015). Feeding, production, and efficiency of Holstein-Friesian, Jersey, and mixed-breed lactating dairy cows in commercial Danish herds. Journal of Dairy Science, 98(1), 263-274. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8532

La Torre, W. (2001). Métodos de reducción de los días abiertos en bovinos lecheros. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 12(2): 179-184. https://doi.org/10.15381/rivep.v12i2.1649.

Lindberg, M. (2020). Milk fatty acid profiles from inclusion of different calcium salts in dairy cow diets. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A. Animal Science, 69(4): 249-253. https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1781925.

Lowman, B.G. (1973) Condition scoring beef cattle. East of Scotland College of Agriculture, Edinburgh. Bulletin 6. 8 pp.

Martínez-Marín, A. L., Pérez-Hernández, M., Pérez-Alba, L. M., Carrión-Pardo, D., Gómez-Castro, G. y Garzón-Sígler, A. I. (2013). Efecto de los aceites y semillas en dietas para rumiantes sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. *4*(3): 319-338. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300005&lng=es&tlng=es.

Martínez-Marín, A. L., Pérez-Hernández, M., Pérez-Alba, L., Gómez-Castro, G., Carrión-Pardo, D. (2010). Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. 11: (8): 1-21. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet.

Méndez, A. M. T. (2013). Desempeño productivo y análisis económico de vacas lecheras primíparas suplementadas con grasa sobre pasante en una ración totalmente mezclada. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 18 pp.

Moscoso-Piedra, A., Cabrera-Córdova, B., Maldonado-Cornejo, M. y Herrera-Herrera, R. (2019). Efecto de tres niveles de la inclusión de grasa de sobrepaso sobre la ciclicidad ovárica de hatos lecheros en los Andes Ecuatorianos. Abanico veterinario. 9: (16).1-13. https://doi.org/10.21929/abavet2019.916.

Muñoz, C., Sánchez, R., Peralta, A. M. T., Espíndola, S., Yan, T., Morales, R., & Ungerfeld, E. M. (2019). Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows. Animal Feed Science and Technology, 249, 18-30. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.015.

National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Revised Edition, Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/9825

Ninabanda, J. J. (2018). Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. Revista Veterinaria. 29(1): 68-72. https://doi.org/10.30972/vet.2912794.

Ojeda A y Escobar A 1995: Suplementación con aceite crudo de palma africana de bovinos para ceba en pastoreo. Livestock Research for Rural Development. Volume 7, Article #3. Retrieved April 28, 2026, from http://www.lrrd.org/lrrd7/1/9.htm

Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (1980). Fat in Lactation Rations1, 2: Review. Journal of Dairy Science, 63(1), 1-14. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82881-5.

Patiño-Puga, W. I. (2019). Efectos del suministro de aceite de palma sobre la reproducción programada en vaquillas Holstein mestizas manejadas bajo un sistema semiextensivo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Loja.

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ecuador. 62 pp. https://dspace.unl.edu.ec/items/595fdd2e-64f8-4770-add7-3038761642e0

Pérez-Rosales, R., Villanueva-Rodríguez, S., & Cosío-Ramírez, R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. e-Gnosis, 3(10), 1-12. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000310

Pérez-Rosales, R., Villanueva-Rodríguez, S., & Cosío-Ramírez, R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. e-Gnosis, (3), 1-12. www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000310

Prieto-Manrique, E., Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J. y Vargas-Sánchez, J. E. (2016). Effect of lipid supplementation on milk fatty acid focus on rumenic acid. *Agronomía Mesoamericana*, *27*(2), 421–437. https://doi.org/10.15517/am.v27i2.22022.

Ramos, L., Apraez, J. E., David, D. M., & Navia, J. F. (2022). Effect of bypass fat on milk lipid quality and reproductive efficiency of dairy cows. Revista De Ciencias Agrícolas, 39(2), 4–13. https://doi.org/10.22267/rcia.223902.178

Reaves, M. W. y Etgen, M. P (1985). Ganado lechero alimentación y administración. LIMUSA. México. 613 pp.

Robledo-Padilla, R. (2015). Los Altos de Jalisco y la Comarca Lagunera dentro del contexto nacional de la producción de leche. 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca, Morelos del 17 al 20 de noviembre de 2015. AMECIDER – CRIM, UNAM. Disponible en: https://ru.iiec.unam.mx/2919/1/Eje5-011-Robledo.pdf. Consultado: enero de 2026.

Schingoethe, D. J. (1996). Dietary influence on protein level in milk and milk yield in dairy cows. Animal Feed Science and Technology, 60(3), 181-190. https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00975-3.

SE. (2012). Análisis del sector lácteo en México. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf. Consultado: enero de 2026.

SIAP. (2022). Escenario leche de bovino febrero 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/621458/Escenario_leche_de_bovino_feb_2021.pdf. Consultado: enero de 2026.

SIAP. (2023). Panorama de la lechería en México. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940824/Panorama_de_la_lecher_a_en_M_xico_2023.pdf. Consultado: enero de 2026.

Sigl, S. J., Van Os, J. M. C., Burney, S. y Creutzinger, K. C. (2025). Characterizing dry and early-lactation dairy cow management practices in Wisconsin and Minnesota. Journal of Dairy Science. 108(4): 4049-4061. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25741.

Vadiveloo J, Holmes W. (2010). The effects of forage digestibility and concentrate supplementation on the nutritive value of the diet and performance of finishing cattle. Animal Science. 29(1): 121-129. https://doi:10.1017/S0003356100012216

Vargas, E. (1994). Utilización de excretas de las aves en alimentación de rumiantes. Nutricion Animal Tropical. 212: 1-12. https://www.academia.edu/22798417/Utilizaci%C3%B3n_de_excretas_de_las_aves_en_alimentaci%C3%B3n_de_rumiantes.

Vargas-Bello-Pérez, E., Cancino-Padilla, N., Romero, J., & Garnsworthy, P. C. (2016). Quantitative analysis of ruminal bacterial populations involved in lipid metabolism in dairy cows fed different vegetable oils. Animal, 10(11), 1821-1828. https://doi.org/10.1017/S1751731116000756

Vargas-Bello-Pérez, E., Robles-Jiménez, L. E., Ayala-Hernández, R., Romero-Bernal, J., Pescador-Salas, N., Castelán-Ortega, O. A., & González-Ronquillo, M. (2020). Effects of calcium soaps from palm, canola and safflower oils on dry matter intake, nutrient digestibility, milk production, and milk composition in dairy goats. *Animals. 10*(10): 1728. https://doi.org/10.3390/ani10101728.

Wilke, K., Mulliniks, T. y McCarthy, K. (2020). Guide to Body Condition Scoring Your Beef Cow Herd. Institute of Agriculture and Natural Resources NUNL Beef. Disponible en: https://beef.unl.edu/learning/condition1a.shtml#:~:text=Body%20condition%20scoring%20can%20be,that%20you%20can%20consistently%20determine. Consultado: enero de 2026.

Zárate-Martínez, J.P., Vinay-Vadillo, J.C. Carballo, C., Hernández-Hernández, O., Delio, V. y Amezcua-Manjarres, E.V. (2011). Efecto de la alimentación con grasas protegidas en vacas de doble propósito. Agronomía Mesoamericana. 22(2): 359-366. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000200012&lng=en&tlng=es.

ANEXOS

Anexo 1. Ejemplares Jersey en el Rancho El Progreso



Fuente: Autoría propia.



Anexo 2. Ordeña mecánica.

Fuente: FAO, 2019.

Anexo 3. Ejemplares de Rancho El Progreso siendo ordeñadas de manera mecánica.



Fuente: Autoría propia (2025).

Anexo 3. Ejemplares Rancho El Progreso



Fuente: Autoría propia (2025)

Anexo 4. Ejemplar Jersey Rancho El Progreso



Fuente. Autoría propia (2025).