

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS**

**TRABAJO DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD HEPÁTICA DURANTE EL  
POSPARTO TEMPRANO DE LAS VACAS LECHERAS EN EL TRÓPICO.**

**SAMANTHA ALEJANDRA MARTÍNEZ SANTIAGO**

**CIP. 4-795-671**

**ASESOR**

**DR. ARTURO YOVANY FUENTES CASTILLO**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2022**

**CARACTERIZACION DE LA FUNCIONALIDAD HEPATICA EN EL POSPARTO  
TEMPARNO DE LAS VACAS LECHERAS EN EL TRÓPICO.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL  
DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**DR. ARTURO FUENTES**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**DR. REGGIE GUERRA**

\_\_\_\_\_  
**JURADO**

**PROF. EDIL ARAÚZ**

\_\_\_\_\_  
**JURADO**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPUBLICA DE PANAMÁ**

**2022**

## DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios, por brindarme la sabiduría, paciencia y las fuerzas para realizar este trabajo.

A mi hijo **Luccas Alejandro Santiago Martínez**, a mi razón de vida; a mi motor, quien me dio las fuerzas y el motivo para salir adelante y culminar con éxitos esta meta. Mi Lu, eres todo para mí. Te amo osito de mamá.

Mi familia; mi madre Zaira L. Santiago Ibarra, hermanos Xiomara L. Martínez S., Arielis A. Vega S. y Omar Santiago y abuelos Felicita Ibarra Cubilla y Daniel Santiago Estribí, también es para ustedes, fueron de gran ayuda para no desistir en este largo camino.

*Con mucho amor...*  
*Samantha Alejandra Martínez Santiago*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por brindarme la oportunidad de culminar con éxito este trabajo; le agradezco a mi director de tesis el **Dr. Arturo Fuentes (Proofee)** por acompañarme, guiarme y enseñarme en cada etapa de esta investigación, fue un pilar fundamental, al profesor **José Norato (Don Norr)** por transmitirme sus conocimientos, por su ayuda en la etapa experimental y durante la redacción cuando entraba en colapso; a ambos les agradezco la paciencia y disposición para ayudarme, fueron esenciales para obtener este logro, Muchas gracias.

Al profesor **Edil E. Araúz** por ser quién me abrió camino para iniciar esta investigación, gracias.

A la amistad que coseché durante este trabajo; **Laura J. Gutiérrez** gracias por siempre decirme que si cuando necesité de su ayuda durante la etapa experimental.

A la **Ing. Dorians N. Polanco S.** quien me motivó y apoyó durante la etapa previa a mi sustentación, gracias por ser una compañera, amiga, hermana en este proceso.

Le agradezco a todos los docentes que dejaron una huella positiva en mi vida durante este importante camino y por transmitir sus enseñanzas e interés por ayudar a sus estudiantes.

Al personal de administración principalmente a la **Lic. Gisela Aguirre** y **Lic. Miriam De Araúz** por siempre apoyarme con los papeleos y solucionar los problemas con el sistema.

*Con mucho amor y agradecimiento...  
Samantha Alejandra Martínez Santiago*



## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVO ESPECÍFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Funcionalidad hepática .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Síntesis de la albúmina .....	11
2.1.2. Biosíntesis del colesterol.....	12
2.1.3. Metabolismo de ácidos grasos y colesterol .....	12
2.1.4. Síntesis de la bilirrubina.....	15
2.1.5. Metabolismo de la bilirrubina .....	15
2.1.6. Captación a nivel hepático.....	16
<b>2.2. Periodo de transición.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Inmunodepresión .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Balance energético negativo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Endocrinología de la lactancia .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6. Biología de la lactación .....</b>	<b>22</b>
2.6.1. Lactogénesis I .....	22
2.6.2. Lactogénesis II.....	23
2.6.3. Hormonas del complejo lactogénico .....	24
<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Localización experimental.....</b>	<b>25</b>
3.1. Ámbito agroecológico y topografía .....	26
3.2. Animales de estudio .....	27
3.3. Grupo experimental .....	27

<b>4. Determinación del índice de funcionalidad hepática .....</b>	<b>27</b>
4.1. Sistema de alimentación .....	28
4.2. Toma de muestras de sangre.....	33
4.3. Muestreo y parámetros de la producción de leche.....	33
<b>5. Parámetros evaluados .....</b>	<b>33</b>
5.1. Indicadores de funcionalidad hepática .....	33
5.2. Producción de leche .....	34
<b>6. Análisis estadístico .....</b>	<b>35</b>
<b>7. Análisis de beneficio económico.....</b>	<b>36</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>A. Biomarcadores Hepáticos.....</b>	<b>37</b>
<b>B. Relación de la producción de leche inicial (Kg/día) y acumulada a los 28 días (kg/28d) con el índice de funcionalidad hepática (IFH). .....</b>	<b>43</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Insumos utilizados en los tratamientos CON y MIX pre y postparto .....	28
<b>Tabla 2.</b> Bromatología de la dieta CON en el preparto. ....	29
<b>Tabla 3.</b> Balance Nutricional del tratamiento CON preparto. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Balance nutricional del tratamiento Mix para preparto. ....	30
<b>Tabla 5.</b> Balance nutricional del tratamiento CON para postparto. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Balance nutricional del tratamiento MIX para postparto. ....	32
<b>Tabla 7.</b> Análisis descriptivo de los indicadores metabólicos para la funcionalidad hepática. ....	38
<b>Tabla 8.</b> Índice de funcionalidad hepática en vacas lecheras en el postparto. ....	38
<b>Tabla 9.</b> Comportamiento de la albúmina, colesterol y bilirrubina en el postparto. ....	41
<b>Tabla 10.</b> Comportamiento de la media general de las variables albúmina, colesterol y bilirrubina en el periodo postparto. ....	41
<b>Tabla 11.</b> Correlaciones para las variables albúmina, colesterol y bilirrubina. ....	42
<b>Tabla 12.</b> Medias por tratamiento a los 3 y 28 días postparto. ....	43
<b>Tabla 13.</b> Comportamiento de la producción de leche. ....	44
<b>Tabla 14.</b> Comportamiento de la producción de leche inicial hasta los 28 días. ...	45
<b>Tabla 15.</b> Medias según tratamiento e índice de funcionalidad hepática. ....	45
<b>Tabla 16.</b> Comportamiento de la media según la condición de la funcionalidad hepática (+ ó -). ....	46
<b>Tabla 17.</b> Beneficio económico de la condición IFH positivo y negativo para Pli y Pla28. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Captación, metabolismo y transporte de la bilirrubina.....	17
<b>Figura 2.</b> Imagen de ubicación de la Finca Bijagual. ....	25

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Comportamiento de la albúmina.....	39
<b>Gráfica 2.</b> Comportamiento del colesterol.....	40
<b>Gráfica 3.</b> Comportamiento de la bilirrubina.....	40
<b>Gráfica 4.</b> Valores de producción bajo la dieta Con y Mix. ....	44

SAMANTHA. A. MARTÍNEZ. S. 2022. "CARACTERIZACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD HEPÁTICA EN EL POSPARTO TEMPRANO DE LAS VACAS LECHERAS EN EL TRÓPICO".

**Palabras clave:** Balance energético negativo (BEN), Bilirrubina, Biomarcadores metabólicos, Estado inflamatorio, Periodo de transición.

## RESUMEN

En los últimos años se ha producido un mejoramiento en materia de producción y calidad de leche, abordando componentes como mejoramiento genético, alimentación, nutrición, salud y confort. El periodo de transición se ha convertido en el estado fisiológico de mayor importancia para lograr la disminución de los problemas metabólicos para incrementar la respuesta productiva del ganado lechero. Por ello es necesario desarrollar análisis metabólicos que permitan monitorear los biomarcadores, siendo el índice de funcionalidad hepática una herramienta de diagnóstico para evaluar el estado inflamatorio y la capacidad productiva. El índice de funcionalidad hepática (IFH) contempla los marcadores de albúmina, colesterol y bilirrubina siendo de bajo costo su determinación en laboratorio, permitiendo su mayor uso para técnicos y productores. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del plan nutricional a base de forraje, ensilaje de maíz y soya forrajera durante el período de transición sobre el comportamiento metabólico y productivo bajo las condiciones tropicales de Panamá. El resultado de la investigación demostró que los niveles de albúmina, colesterol y bilirrubina estuvieron dentro de los niveles normales y por ende las condiciones de las vacas lecheras evaluadas en el trópico fueron óptimas. IFH, tuvo un impacto positivo sobre la producción de leche inicial y la producción acumulada hasta los 28 días ( $p < 0.05$ ) postpartales. Se concluye que el IFH es una excelente herramienta para mejorar la producción de leche inicial y producción de leche a los 28 días.

SAMANTHA. A. MARTÍNEZ. S. 2022. "CHARACTERIZATION OF LIVER FUNCTIONALITY IN THE EARLY POSTPARTUM OF DAIRY COWS IN THE TROPICS".

**Keywords:** Negative energy balance (BEN), Bilirubin, Metabolic biomarkers, Inflammatory state, Transition period.

## **ABSTRACT**

In recent years there has been an improvement in terms of milk production and quality, addressing components such as genetic improvement, food, nutrition, health and comfort. The transition period has become the most important physiological state to achieve the reduction of metabolic problems to increase the productive response of dairy cattle. For this reason, it is necessary to develop metabolic analyzes that allow the monitoring of biomarkers, with the liver function index being a diagnostic tool to evaluate the inflammatory state and productive capacity. The liver function index (IFH) contemplates the markers of albumin, cholesterol and bilirubin, its determination being low cost in the laboratory, allowing its greater use for technicians and producers. The objective of the research was to evaluate the effect of the nutritional plan based on forage, corn silage and forage soybean during the transition period on metabolic and productive behavior under tropical conditions in Panama. The result of the investigation showed that the levels of albumin, cholesterol and bilirubin were within normal levels and therefore the conditions of the dairy cows evaluated in the tropics were optimal. IFH had a positive impact on initial milk production and accumulated production up to 28 days ( $p < 0.05$ ) postpartum. It is concluded that IFH is an excellent tool to improve initial milk production and milk production at 28 days.

## I. INTRODUCCIÓN

El alto costo de los insumos agropecuarios, consecuencia de la crisis económica actual, ha llevado a los productores de leche a hacer un uso más eficiente del recurso forrajero disponible a fin de reducir los altos costos de producción.

En Panamá, anualmente se consumen unos 480 millones de litros de leche entre fluida y diversos productos lácteos nacional e importada, siendo la producción panameña de unos 208 millones de litros y el consumo per cápita está por 120 litros (MIDA, 2021).

La situación actual en Panamá nos demuestra que en el sector pecuario urge implementar técnicas de manejo y transformar las fincas en auto sostenibles; produciendo materia prima para la realización de alimentos, y de esta manera reducir los excesivos costos que conlleva utilizar concentrados.

El periodo de transición representa un conjunto de cambios drásticos en la anatomía, fisiología y metabolismo de la vaca lechera, especialmente en animales de alta producción. Se ha reportado una evidente reducción en el consumo de materia seca durante el posparto temprano del ganado lechero especializado, razón por la cual los mecanismos importantes de regulación fisiológica se ven alterados (Molina *et al.*, 2016). Este tipo de retos metabólicos y fisiológicos en la vida productiva normal de una vaca lechera ocurren durante la tercera a cuarta semana antes del parto y la tercera o cuarta posparto (Stalling, 1999; Drackley, 2001; Correa, 2002).

Estos cambios nutricionales caracterizados por una disminución en la ingesta de materia seca aunado al incremento de la hormona de crecimiento por la actividad



lactogénica, generan una cascada de cambios metabólicos que posteriormente se verán evidenciados en movilización de reservas energéticas a partir del tejido adiposo y de glicógeno hepático (Cuervo, 2017). Al establecerse activamente en el proceso de la lipólisis postpartal, lo cual debe ser regulada por el manejo nutricional durante el parto. Previamente la inflamación pospartal es por el exceso de ácidos grasos libres (AGL) (Contreras, Strieder-Barboza, De Koster, 2018)

El índice de funcionalidad hepática (IFH) es una herramienta para caracterizar el estado inflamatorio que sufren las vacas lecheras durante la lactancia temprana y su capacidad productiva de leche e iniciación de la actividad ovárica. Este índice es un valor que oscila entre -12 a +5, siendo ideal los valores superiores a 0, lo que indica una buena funcionalidad a nivel hepático. Este índice utiliza los niveles de colesterol, bilirrubina y albúmina; tres metabolitos esenciales para su producción por la capacidad hepática (Bertoni, 2013)

El nivel de colesterol y albúmina es influenciado por la dieta y capacidad hepática para su síntesis; si la vaca lechera experimenta una alta movilización de tejido adiposo por el balance energético negativo se disminuye la proteína de fase aguda negativa y disminución de los niveles de colesterol y un incremento de los niveles de bilirrubina sérica; ya que limita la capacidad del hígado para su excreción (Bertoni & Trevisi, 2013).

En nuestro país, no se cuenta con un estudio específico en el cual se dedique a la investigación sobre la funcionalidad hepática bajo un manejo durante el periodo de transición en vacas lecheras en el trópico de Panamá.

Este estudio se realizó con el fin de brindar una herramienta diagnóstica para tomar decisiones y mejorar la producción en el hato lechero brindando una dieta que supla las necesidades que presente la vaca durante la lactancia temprana. La realización de esta práctica llega a ser de un costo elevado para que pueda ser empleada por nuestros productores y en nuestro país no contamos con un programa de ayuda u orientación al productor para que pueda emplearse este método en un hato lechero.

Por lo antes mencionado, esta investigación buscó brindar una herramienta para los productores, al facilitar la toma de decisiones en las explotaciones principalmente en animales de alta producción para asegurar animales sanos, con una excelente condición metabólica como antes la del manejo listos para enfrentar los cambios que conlleva una transición, gestación- lactación, también una eficiencia reproductiva. Igualmente, estas medidas de manejo son empleadas para y productiva tomando en cuenta sus necesidades, para que de esta manera podamos prevenir futuras enfermedades que puedan presentar nuestras vacas y así, puedan expresar su mayor potencial.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar la funcionalidad hepática en vacas lecheras en el trópico.

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Medir los niveles de colesterol, albúmina y bilirrubina en los días 3 y 28 posparto en las vacas lecheras Pardo Suizo x Holstein.
- Calcular el índice de funcionalidad hepática en vacas lecheras en el posparto temprano.
- Evaluar el efecto del índice de funcionalidad hepática sobre la producción de leche inicial y acumulado hasta los 28 días posparto.

## II. MARCO TEÓRICO

El hígado es un órgano vital para el metabolismo al ser responsable de la gluconeogénesis, urea génesis, metabolismo de lípidos y procesos de detoxificación (Gao *et al.*, 2020).

Los análisis sanguíneos han recibido diferentes nombres desde hace varios años, como valores hematoquímicos, cuadro hematoquímico, cuadro sanguíneo, composición química de la sangre, bioquímica sanguínea y el más reciente, perfiles metabólicos. En 1970 fue definido este último término por un grupo de investigadores ingleses en la ciudad de Crompton (Payne *et al.*, 1970).

El hígado es un órgano funcional de gran importancia que garantiza el metabolismo, la fisiología y homeostasis correcta de la vaca lechera durante el periodo de la producción de leche (Bertoni & Trevisi, 2013). Por esto, el conocer los indicadores metabólicos a nivel sanguíneo es información relevante para mejorar el manejo de la eficiencia de la alimentación y la magnitud del desequilibrio energético y proteico, lo cual permitirá detectar y corregir a tiempo los desbalances nutricionales, mejorando la productividad de la explotación.

En los sistemas de producción láctea la vaca debe sostener una alta exigencia productiva donde el hígado cumple un rol metabólico fundamental, estando sujeto a la presentación de trastornos metabólicos y tóxicos; consecuentemente para mantener el estatus sanitario y productivo del rebaño, es fundamental monitorear su integridad en los programas de salud y nutrición. Durante el período de transición, las vacas lecheras experimentan un balance energético

negativo (BEN), asociado con el nacimiento de un ternero y el inicio de la lactancia (Grummer, 1995).

Así mismo, cualquier animal que presente un desorden metabólico, por una mala estrategia de manejo o de alimentación durante el período de transición, generará secuelas en la fase productiva, de tal manera que puede disminuir la cantidad de leche producida, entre 4 y 8 Kg durante el pico de producción, además de la reproducción (Drackley, 1999; Herve *et al.*, 2019).

El metabolismo energético es el que tiene más probabilidades de sufrir cambios, se han realizado muchos esfuerzos para diseñar y evaluar estrategias alimentarias y el uso de aditivos alimentarios que permitan reducir estos cambios. Adicionalmente, el BEN, conduce a que la vaca lechera presente un estado inflamatorio y por ende ocasione una inmunosupresión, estrés oxidativo y baja actividad metabólica hepática (Chapinal *et al.*, 2012).

La concentración de glucosa en plasma se reduce a lo largo del lapso de transición excepto por un crecimiento transitorio asociado con el parto. El glucógeno hepático se disminuye y los lípidos incrementan a lo largo de la transición. El consumo de alimento principalmente se disminuye entre un 30 y un 35 % a lo largo de las últimas 3 semanas anteriormente del parto, sin embargo, los balances negativos de energía y proteína no son tan severos como a lo largo de la semana subsiguiente al parto (Grummer, 1995).

El consumo de alimento durante el parto se correlaciona de manera positiva con el consumo de alimento posparto; por consiguiente, los esfuerzos para aumentar el consumo de la vaca, se tiene que iniciar previamente del parto. Las

vacas con condición corporal muy alto tienden a ser susceptibles en cuanto a la disminución en el consumo de alimento previo al parto.

El crecimiento de la densidad de nutrientes de la dieta a lo largo del lapso de transición puede mejorar el consumo del animal. Alimentar con más carbohidratos fermentables a lo largo del lapso de transición preparto puede aclimatar a la población microbiana a las dietas de lactación, fomentar el desarrollo de las papilas ruminales, incrementar la función de absorción del epitelio del rumen y minimizar la lipólisis por medio de la entrega de más precursores glucogénicos al hígado y el crecimiento de la insulina en sangre (Grummer, 1995).

La coordinación de los tejidos y los sistemas fisiológicos incluye una plétora de hormonas, pero la insulina y la somatotropina son dos reguladores clave del tráfico de nutrientes (Baumgard *et al.*, 2017). Al acercarse el momento del parto ocurre un aumento en la concentración de somatotropina hasta el inicio de la lactancia; la progesterona que durante el período de gestación es alta cae rápidamente para el parto, presentándose una elevación transitoria de estrógenos y glucocorticoides en el periparto, la insulina disminuye continuamente en el plasma, mientras se incrementa la concentración de la hormona de crecimiento, desacoplando el eje que presentan entre ellas en el hígado con el fin de favorecer la lipólisis y la gluconeogénesis cuando la vaca se encuentra en balance energético negativo (Vernon, 2002).

Pasado el parto, se establece una demanda adicional de glucosa, ácidos grasos y proteínas para que se dé inicio a la lactancia. Durante este periodo de transición, la vaca es incapaz de compensar cada una de las demandas

energéticas mediante el consumo de alimentos, por lo cual el animal entra en un balance energético negativo (BEN).

Una drástica reducción en las concentraciones de insulina, lleva a que la movilización de la energía se priorice por la ubre; la hipo insulinemia promueve la gluconeogénesis en el hígado (por encima de 4 kg de glucosa por día) y actúa como un iniciador de la lipólisis masiva (Vernon, 2002).

✓ Metabolitos convencionales: albúmina (constantes hematoquímicas comúnmente establecidas). Es una de las principales representantes de las vías metabólicas más importantes involucradas con la producción.

✓ Metabolitos no convencionales: bilirrubina y colesterol, son indicadores de la funcionalidad hepática (Calvo, 2004).

La bilirrubina actúa como indicador de errores en la alimentación que provocan estrés e inclusive daño hepático, tal como ocurre en los casos de acidosis del rumen debido a deficiencia de fibra, o cuando se presentan deficiencias de energía o excesos de proteína en la ración. Al contrario de lo que ocurre en los humanos, las concentraciones de bilirrubina total en los bovinos son tan extraordinariamente bajas (humano 2 mg % vs bovino 0.2 mg %), por lo que solo en casos muy raros podría diagnosticarse una ictericia (Dehning, 1988; Hincapié, 1995). Los valores normales de bilirrubina se mueven entre los siguientes rangos: Antes del parto: 0.30 mg/100 ml y después del parto: 0.45 mg/100 mmol (López, 2000).

Concentraciones elevadas de bilirrubina se observan también en casos de acetonemias clínicas o subclínicas, concurriendo con niveles de glucosa disminuidos. Valores de bilirrubina elevados en presencia de niveles fisiológicos

de glucosa constituyen un indicio de acidosis del rumen y en ese caso los niveles de calcio pueden encontrarse disminuidos. Vacas que presentan retención de placenta pueden mostrar, ya desde antes del parto, concentraciones elevadas de bilirrubina en el suero (Dehning, 1988).

En la producción lechera es fundamental cubrir las demandas energéticas para el mantenimiento y la producción (NRC, 2001). Debido a la fisiología especial que presentan los rumiantes, donde aproximadamente un 90% de la glucosa es producida por el hígado, la existencia de un déficit energético en la ración puede ser compensada movilizando las reservas energéticas almacenadas en el tejido lipídico. Cabe señalar entonces la importancia que tienen el nivel energético de la ración y la actividad metabólica del hígado.

Al incrementar los requerimientos de energía para garantizar la producción de leche, principalmente a la llegada del pico de producción, la vaca lechera requiere movilizar grasa corporal y entre mayor es el BEN, mayor será la movilización de grasa corporal y por consiguiente mayor será los problemas metabólicos como hipocalcemia, acidosis, cetosis, hígado graso, desplazamiento del abomaso, cetosis e hipocalcemia, afectando la funcionalidad uterina e incremento de período abierto y retención placentaria. Las limitaciones nutricionales o del manejo durante este período, pueden impedir que la vaca sea capaz de alcanzar su máximo potencial de producción de leche (Drackley, 1999). El hígado es el nodo central desde donde se redistribuye el flujo de lípidos hacia todo el organismo, además de ser allí donde se ensamblan las VLDL con el único objetivo de distribuir las fracciones lipídicas a los demás órganos (Osorio *et al.*,



2018). Una ración fuertemente energética, es la condición necesaria y suficiente para la adquisición de un estado de esteatosis generalizado de numerosos tejidos (músculos) y órganos (hígado y riñones). Después del parto de un rumiante con alto potencial genético lechero, el rápido desequilibrio entre la energía disponible de origen alimentario y la energía exigible para la producción de leche, obliga a la movilización de las reservas lipídicas periféricas (lipomovilización) (Castañeda et al., 2018). Este mecanismo actúa en protección al funcionamiento metabólico del animal llevando a una esteatosis anabólica preparto extrahepático, seguido de una lipólisis que inhibe el centro de la alimentación determinando un síndrome de anorexia - hiporexia. Estos dos últimos síndromes se pueden deber además a la liberación de estrógenos en la cercanía del parto, insuficientemente metabolizados en el hígado. La reducción del colesterol incluye: Excreción como esteroides en la bilis y conversión en ácidos biliares.

El principal destino del colesterol es su degradación para formar ácidos biliares y sus derivados. Otros de los destinos es la producción de hormonas esteroideas tales como: progestágenos, corticoesteroides, hormonas sexuales. La pregnenolona es la primera hormona esteroidea derivada del colesterol y su síntesis es estimulada por la hormona adrenocorticotrópica (ACTH). A partir de la cual se obtiene progesterona, la cual a su vez le da origen a los corticoesteroides y a las hormonas sexuales (Aranda et al., 2012).

La albúmina es la proteína sérica que se encuentra en mayor concentración, aproximadamente 50% de la proteína total en plasma. Ésta es sintetizada en el hígado a, partir de aminoácidos, y es por tanto en algún modo, reflejo de la

habilidad del animal para sintetizar y almacenar proteínas. Se debe tener en cuenta entonces que las insuficiencias hepáticas y los parásitos gastrointestinales también pueden producir descensos en las concentraciones de albúmina (Sykes, 1978; Topps & Thompson, 1984).

La ingesta de proteínas afecta a la concentración sanguínea de albúmina (Molina, 2000). Los niveles de albúmina antes del parto: 3.11 g/dl y después del parto: 3.02 g/dl (López, 2000).

## **2.1. Funcionalidad hepática**

El índice de funcionalidad hepática (IFH) mide los cambios en las concentraciones de albúmina, colesterol y bilirrubina entre 3 y 28 días después del parto. Este índice compuesto, basado en variables con relevancia directa para la síntesis de proteínas plasmáticas específicas del hígado (albúmina), la síntesis de lipoproteínas hepáticas/intestinales (colesterol) y la depuración de los productos de degradación del catabolismo hemo (bilirrubina), proporciona una herramienta para evaluar las manifestaciones de la enfermedad hepática. Es probable que tanto el metabolismo de la energía como el de las proteínas se vean afectados por varios desafíos fisiológicos en este período, pero no se han probado sistemáticamente (Zhou *et al.*, 2016).

### **2.1.1. Síntesis de la albúmina**

La albúmina se sintetiza en el hígado a partir de los aminoácidos obtenidos en las proteínas de la dieta. Su producción ocurre en el retículo endoplásmico de los hepatocitos (células del hígado), desde donde es liberada hacia el torrente sanguíneo donde permanecerá circulando por aproximadamente 21 días. Para

que la síntesis de albúmina sea eficiente se requieren dos condiciones fundamentales: adecuado aporte de aminoácidos y hepatocitos sanos capaces de convertir tales aminoácidos en albúmina (Sosa, 2020).

### **2.1.2. Biosíntesis del colesterol**

El hígado participa con un papel central en la regulación del metabolismo corporal del colesterol, este es capaz de absorberlo, sintetizarlo y secretarlo en forma de esteroides, además de facilitar su recirculación entre el plasma y los compartimentos enterohepáticos. Los hepatocitos captan los remanentes de quilomicrones (rQ), productos del metabolismo de los lípidos de la dieta, son el punto de partida de la vía centrífuga de los lípidos endógenos (del hígado a tejidos periféricos), también participa en el metabolismo centrípeto del colesterol (de tejidos periféricos a hígado), al recibir en esta última vía colesterol esterificado para su aclaramiento plasmático y posterior eliminación (Osio, 1992)

### **2.1.3. Metabolismo de ácidos grasos y colesterol**

Los ácidos grasos y el colesterol provenientes de la dieta son absorbidos en el intestino delgado y transportados como quilomicrones a la corriente sanguínea, por la vía del conducto torácico. Los triglicéridos son extraídos de los quilomicrones por la lipasa de lipoproteínas (LPL) y de esa manera los ácidos grasos son almacenados en el tejido adiposo u oxidados por el músculo con el fin de obtener energía. Los remanentes de quilomicrones son rápidamente desechados por el hígado, mediante los receptores y que al pasar los años su función va en proceso degenerativo. Los rQ se digieren dentro de los lisosomas

hepáticos liberándose el colesterol para luego ser guardado o usado para la síntesis de otras lipoproteínas.

La síntesis endógena de colesterol se produce fundamentalmente en el hígado y está estrechamente relacionada con las necesidades del organismo. Dentro del retículo endoplásmico de los hepatocitos, una compleja cadena metabólica fabrica colesterol a partir de su precursor de dos carbonos, la acetil - CoA. La enzima limitante del proceso es la reductasa de la hidroximetilglutaril-CoA, en su paso a mevalonato. La síntesis de la reductasa de la HMG-CoA se disminuye cuando hay una concentración intracelular aumentada de colesterol, ácidos biliares o sus productos. Una vez sintetizado, el hígado puede liberar colesterol a la sangre en la forma de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (Osio, 1992).

Un 50% de las IDL es captado rápidamente por el hígado, debido a la gran apetencia de su apoproteína E por los receptores hepáticos de LDL. Una vez las IDL pierden la apoproteína E se transforman en LDL, circulando éstas últimas más tiempo, ya que la apetencia hepática por su apoproteína B-100 es relativamente baja. Las LDL, una vez reparten su contenido de colesterol a las diferentes células del cuerpo, son captadas por mecanismos hepáticos de endocitosis mediados por receptores. Según Osio, (1992) el acúmulo de colesterol en las células, incluyendo las hepáticas, tiene tres efectos mayores:

1. Inhibe la síntesis de receptores de LDL, hasta un número adecuado para suplir las demandas celulares, mediante mecanismos de represión de su RNA mensajero.
2. Inhibe la síntesis endógena de colesterol, mediante inhibición de la síntesis de la reductasa de HMG-Co y produciendo una degradación aumentada de ella.
3. Activa el colesterol acyl transferasa, lo cual promueve la formación de ésteres de colesterol, con fines de almacenamiento. Con el fin de mantener la homeostasis lipídica, las células de los mamíferos (incapaces de catabolizar el colesterol) utilizan las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Las HDL se sintetizan en el hígado y en el intestino delgado. Son las moléculas transportadoras de colesterol libre ya que lo remueven de los tejidos periféricos y lo llevan al hígado, previa esterificación e incorporación a la lipoproteína mediante la acción de la lecitina-colesterol acyl transferasa (LCAT). Dos terceras partes del colesterol esterificado pasan de las HDL a las VDL y a las LDL. Otra parte del colesterol se elimina por vía hepática y entérica.

Un 50% (1 g/día) del colesterol sintetizado por el organismo es convertido en ácidos biliares. Los ácidos biliares se eliminan por la bilis en forma de sales, constituyendo el 50% del peso seco de ella, ya que, además, contiene lecitina, colesterol y pigmentos biliares. Los ácidos biliares actúan como emulsificadores sobre los lípidos dietarios y facilitando su absorción intestinal. Una vez cumplida su acción digestiva las sales biliares pierden sus aminoácidos, regresando los ácidos biliares al hígado, por la denominada circulación enterohepática, proceso

altamente eficiente ya que los recupera en un 99%. Si la reabsorción de los ácidos es buena, se inhibe la síntesis de la reductasa de HMG CoA, la producción de ácidos biliares de nuevo y la fabricación de receptores; si la reabsorción se dificulta, la colesterogénesis y la síntesis de nuevos receptores se incrementa. Una porción de las LDL circulantes son eliminadas por otros mecanismos accesorios, llevando eventualmente un depósito de colesterol en las paredes arteriales, en forma de placas ateroscleróticas o de xantomas de diferente localización (Osio, 1992).

#### **2.1.4. Síntesis de la bilirrubina**

La bilirrubina es un pigmento biliar de color amarillo anaranjado que resulta de la degradación del grupo hemo de varias proteínas, especialmente del catabolismo de la hemoglobina. El grupo hemo es degradado enzimáticamente liberando biliverdina, que es a su vez reducida a bilirrubina no conjugada (BNC) o indirecta, insoluble en agua, circulando en sangre ligada a albúmina. A nivel hepático, por medio de la adición de grupos glucurónico (conjugación) se transforma en hidrosoluble (bilirrubina directa) y es excretada a través de la bilis o, regresando a la circulación sanguínea, se filtra mediante el riñón y excretada vía renal (Zhou *et al.*, 2016).

#### **2.1.5. Metabolismo de la bilirrubina**

La bilirrubina se forma a partir del metabolismo del grupo hemo, mayormente de la hemoglobina procedente de la degradación de los hematíes envejecidos (80–85%). El valor restante proviene de la hematopoyesis ineficaz, así como de otras proteínas que contienen un grupo hemo (mioglobina, citocromos y peroxidasas). El

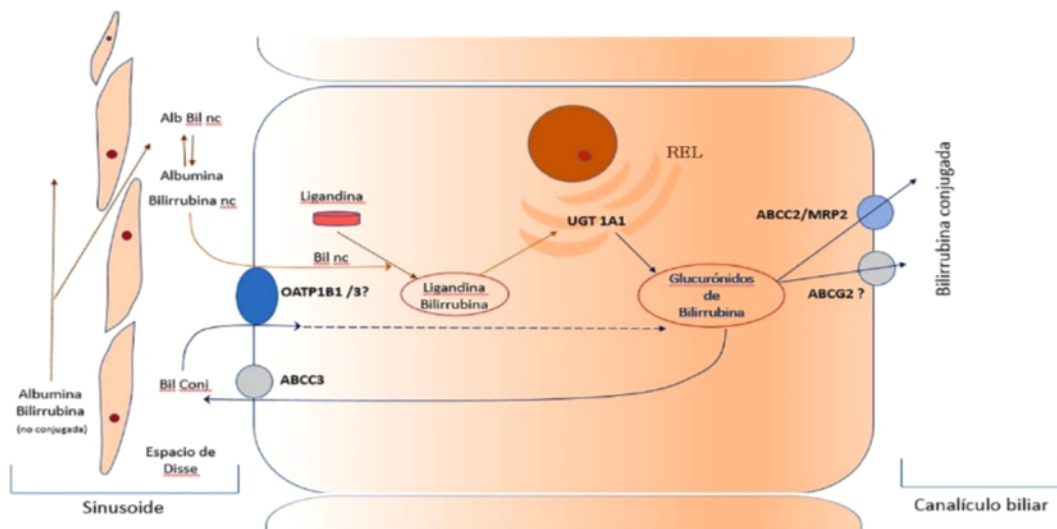
grupo hemo liberado, formado por una molécula de protoporfirina IX y un ion  $\text{Fe}^{2+}$ , es degradado por la enzima hemo-oxigenasa para dar origen a una molécula lineal de 4 anillos pirrólicos llamada biliverdina; se genera además hierro libre ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y monóxido de carbono. La biliverdina posteriormente es reducida por la enzima biliverdina reductasa para originar bilirrubina. Se forma mayoritariamente el isómero IXa, de configuración cerrada e hidrofóbica. La unión de la bilirrubina a la albúmina ( $K_d \approx 10^{-7} - 10^{-8}$  mol/L) previene su isomerización y posibilita el traslado por la circulación hasta el hígado (Guerra *et al.*, 2021).

### **2.1.6. Captación a nivel hepático**

La bilirrubina unida a la albúmina penetra en el hígado por el polo sinusoidal. Las proteínas de transporte de aniones orgánicos (OATP) 1B1 y 1B3, codificadas en la superfamilia de genes transportadores de solutos-aniones orgánicos (SLCO), son responsables de la absorción de bilirrubina en el hepatocito. Una vez dentro de las células hepáticas, la bilirrubina se une reversiblemente a proteínas solubles conocidas como ligandinas o proteínas y proteínas citosólicas de la familia de genes de la glutatión-S-transferasa, lo cual retarda el reflujo de esta de regreso al plasma. Posteriormente, en el retículo endoplásmico liso, la bilirrubina se conjuga con el ácido glucurónico, por la acción de la UDPGT-1A1, para producir glucurónidos de bilirrubina. El glucurónido de bilirrubina vuelve al citosol, donde se difundirá al polo canalicular para la secreción a la bilis, o al polo sinusoidal para su secreción al plasma, de donde es recaptada por los mismos transportadores OATP1B1/3. En el polo canalicular, el proceso está mediado por un transportador apical dependiente de ATP, ATP-binding-cassette-C2 (ABCC2), anteriormente

denominado proteína relacionada con múltiples fármacos (MRP2–multidrug related-protein-2) (Guerra *et al.*, 2021)

**Figura 1.** Captación, metabolismo y transporte de la bilirrubina.



(Guerra *et al.*, 2021)

## 2.2. Periodo de transición

Durante el período de transición se presenta un reajuste de tipo metabólico, es decir ocurre un proceso homeorrético, debido a los cambios hormonales, metabólicos, fisiológicos, conductuales, sistema inmune y en las condiciones del tracto gastrointestinal del animal, específicamente en el rumen. El cambio de los productos de la fermentación, especialmente en las cantidades y tipos de ácidos grasos volátiles (AGV) explicado por (Church, 1988) ya que es necesario un



equilibrio entre los microorganismos celulolíticos y la fermentación de los carbohidratos solubles entre las etapas (preparto –post parto).

Durante esta etapa, el BEN se profundiza, lo cual genera mayores picos de ácidos grasos no esterificados (AGNE) que afectan el hígado y disminuyen más el consumo en el tiempo, impidiendo el normal reacoplamiento del eje GH, realimentándose al proceso negativo con aparición de las típicas patologías de esta etapa y alterando fuertemente la respuesta inmunitaria del animal (Church, 1992)

### **2.3. Inmunodepresión**

La depresión del sistema inmune es uno de los problemas críticos que debe afrontar la vaca durante el PT, siendo por ende importante minimizar los efectos deletéreos que pueda tener sobre su salud ya que esta inmunosupresión es la clave para el desarrollo de enfermedades infecciosas al inicio de la lactancia. La disminución de las defensas de la vaca se produce habitualmente a partir del período de transición preparto, alcanzando su máximo durante la transición posparto (Wittwer & Sepúlveda, 2020).

La inmunodepresión se presenta como consecuencia de la pérdida en la capacidad de homeorresis de las vacas, asociada al fuerte estrés metabólico de los cambios fisiológicos, metabólicos, hormonales y nutricionales, además de los cambios de manejo que se ve enfrentada la vaca en este período. El resultado de la inmunodepresión es la elevada incidencia de patologías en el periparto ya que entre el 60 y el 80% de las patologías infecciosas del vacuno lechero tienen

lugar durante el parto y las primeras semanas postparto (mastitis, metritis, retención de placenta) (Wittwer, 2020).

#### **2.4. Balance energético negativo**

Los primeros comentario entre la diferencia entre el consumo de materia seca y el requerimiento nutricional para la producción de leche se le denominó balance energético negativo (Broster, 1972); Sin embargo las investigaciones ha demostrado que también ha existido cambios en el requerimiento nutricional por el tamaño corporal, en la composición corporal especialmente del tejido adiposo y tamaño de los órganos metabólicos en las vacas de alta producción y comparaciones con respecto a la pérdida de peso en ganado de carne con baja producción de leche y amamantamiento con ternero. Luego desde 1980 hasta 2006 se ha demostrado que el balance energético negativo (BEN) ha incrementado desde 4 semanas, 8 semanas, 11 semanas y hoy sabemos que puede ser mayor a los 100 días durante el post parto. Si se considera el potencial lechero de la vaca (De Vries y Veerkampt, 2000)

El balance energético negativo causa movilización de tejido, provocando pérdida de peso de 41.6 kg, observando la mayor pérdida de peso desde parto hasta presentarse el mayor balance energético negativo, vacas sobre condicionada y vacas con alto merito genético entre las segunda y tercera lactancia. La pérdida de peso de 40 a 80 Kg representa mayores pérdidas de peso (Edmondson *et al.*, 1989). Sin embargo, la pérdida de peso al inicio de la lactación es compensada por la ganancia de peso al final de lactación y periodo seco. Sin embargo,

(Veerkamp y Koenen, 1999) indican que "la selección de un alto rendimiento de la leche y menos aumento de peso vivo", y (Coffey *et al.*, 2004) han observado, en vacas de alto mérito genético durante 3 lactancias en una dieta de bajo concentrado, una disminución del BCS de 0,54 o una pérdida de 274.38 mcal (calculado según NRC, (2001) y una pérdida neta de energía no se limita a las vacas de alta producción (Hurley *et al.*, 2018)

El BEN es una característica fisiológica importante de las vacas en el período de transición, particularmente en animales de alto rendimiento, debido al resultado integral de una ingesta reducida (CMS) y una mayor demanda de energía para mantenimiento y producción. La hormona de crecimiento activa la lipólisis, disminuye la insulina y la utilización de la glucosa en hígado y otros tejidos, activando los mecanismos homeorréticos. Los ácidos grasos no esterificados (AGNE) y el Acido Beta- Hidroxibutírate (BHB) son metabolitos energéticos importantes que se usan tradicionalmente como indicadores de BEN durante el período de transición (Duffield *et al.*, 2009). Sin embargo, una elevación excesiva de estos metabolitos está asociada a con un bajo rendimiento productivo, retardo en el inicio de la actividad ovárica, inmunosupresión, estrés oxidativo y enfermedades metabólicas, siendo necesario el análisis de las alteraciones durante el periodo de transición.

Un buen manejo nutricional en la transición y período de lactancia, disminuye el balance energético negativo (BEN), mantiene y mejora la condición corporal y de igual manera se disminuyen las concentraciones de BHB, AGNE y se mantiene e

incrementa la GH e IGF-I; evitando los problemas metabólicos e iniciación de actividad ovárica, garantizando el potencial productivo de la vaca lechera.

La vaca lechera, especialmente la de alta producción, requiere un balance nutricional en todas las etapas productivas; una subnutrición puede conducir a muerte embrionaria temprana o fetal, causando un incremento en la producción de prostaglandina que causaría una leuteólisis del cuerpo lúteo (Bo-fei *et al.*, 2020). El problema aparece cuando el consumo se deprime más allá de lo fisiológico por factores nutricionales (dietas desbalanceadas en proteína, energía, fibra, calcio, magnesio, antioxidantes, etc.), ambientales (calor, barro, humedad,) o de manejo (preparación dieta, falta de comederos, competencia, vacas gordas al parto) y el stress aumenta por factores ajenos al parto y relacionados con lo anterior.

## **2.5. Endocrinología de la lactancia**

Los diversos cambios endocrinos y metabólicos observados en el período transición en vacas lecheras son coordinados en gran parte por la hormona del crecimiento (GH); indicando que a mayor concentración de GH durante la lactancia temprana estimula la gluconeogénesis hepática, para aumentar el suministro de glucosa a la glándula mamaria. Simultáneamente, la GH también genera una resistencia a la insulina, que reduce la utilización de la glucosa por el hígado, músculo o tejido adiposo y estimula la lipólisis, aumentando la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE) en la circulación sanguínea, que serán utilizados para la síntesis de leche o usados como fuente de energía hasta cierto punto en el posparto de la vaca (Wankhade *et al.*, 2017).

Además, el factor de crecimiento insulínico (IGF-1) presenta un consistente papel endocrino en el control nutricional de la secreción de GH en la hipófisis, y se ha demostrado que el IGF-1 exógeno actúa como estimulante en la secreción de la misma.

La producción de leche tiene prioridad sobre el consumo de materia seca, con correlaciones negativa. La disminución del consumo de materia seca e incremento de la producción ocasiona balance energético negativo, con una mayor movilización de tejido (adiposo), incremento de ácidos grasos no esterificados y betahidroxibutirato, disminución de la insulina al inicio de la lactancia. Por lo que en las vacas de baja producción existe una interdependencia entre consumo de materia seca, producción de leche, movilización de grasa y la partición de los nutrientes para la vaca y la leche, con riesgos insignificante para la salud. Sin embargo, en vacas altas productoras existe una correlación negativa entre la producción de leche y consumo de materia seca pero una correlación positiva entre producción de leche, movilización de tejido y partición de los nutrientes con prioridad en la glándula mamaria, con un incremento del balance energético negativo con necesidad de ordeño frecuente (Manimaran *et al.*, 2017)

## **2.6. Biología de la lactación**

### **2.6.1. Lactogénesis I**

Es caracterizada por los cambios enzimáticos y citológicos de las células alveolares durante el tercio final de la gestación; las células epiteliales mamarias

(lactocitos) pasan de un estado no secretorio a uno secretorio. Este periodo se destaca por la formación del calostro y la inclusión de inmunoglobulinas.

La actividad de las células epiteliales mamarias se determina por la concentración de ARN o ARNm, causando un cambio en la relación entre ADN y ARN, que es menor de 1 cuando la vaca está seca, y aumenta a 2:1 inmediatamente previo al parto (Salama, 2005). Durante este periodo los números de ribosomas muestran un aumento, la incorporación de aminoácidos y se incrementa el consumo de oxígeno, lo cual indica, también el aumento de funciones secretoras (Ávila & Romero, 1992).

### **2.6.2. Lactogénesis II**

Entre 0 y 4 días antes del parto y hasta 2 a 3 días posparto, se produce la llamada Lactogénesis II, caracterizada por la secreción copiosa de todos los componentes de la leche. Esta etapa es mucho más corta que la lactogénesis I. (McManaman & Neville, 2003). Al inicio disminuye el nivel plasmático inhibitorio de la progesterona e incrementan las concentraciones sanguíneas de prolactina, glucocorticoides y estrógenos asociados al parto (Hurley, 2013, 2010). Al mismo tiempo se completa el cierre de las uniones estrechas entre los lactocitos, que incrementan la tensión de unión entre ellos, impidiendo el intercambio de solutos entre el lumen alveolar y la membrana basolateral (Nguyen, Parlow & Neville, 2001). Estas uniones estrechas impiden el paso de la lactosa desde el lumen alveolar hacia el espacio intercelular basal y de Na<sup>+</sup> hacia el lumen alveolar (Anderson et al., 2007). El

aumento de fuerza de las uniones estrechas cuenta como el evento celular más relevante y marca el inicio de la etapa II de la lactogénesis.

### **2.6.3. Hormonas del complejo lactogénico**

Los cambios hormonales son los inductores de la lactogénesis antes del parto. Las principales hormonas del complejo lactogénico son la progesterona, los corticoides y la prolactina (Capuco & Ellis, 2013; Macias & Hinck, 2013). La concentración de progesterona alta durante la gestación induce la proliferación de los lactocitos en la preparación de las organelas (núcleo, ribosomas, retículo endoplásmico liso y rugoso, entre otros); sin embargo, estos niveles de progesterona mantienen una acción inhibitoria sobre la lactogénesis (Hurley, 2013; Neville & Morton, 2001).

Al momento del parto, el incremento de los glucocorticoides, cortisol y corticosterona y el descenso de progesterona están asociados con el incremento de disponibilidad de glucosa que actúa como precursor de la lactosa en el tejido mamario (Wall & Mcfadden, 2012). La prolactina incrementa significativamente dos o tres días antes del parto y directamente o por factores de transcripción participa activamente en el desarrollo mamario (Capuco & Ellis, 2013). Esta hormona es el mayor contribuyente de la regulación, porque induce la expresión de los receptores GLUT insulino-independientes de la glándula mamaria, así como la expresión de los genes de la  $\alpha$ -lactoalbúmina (LALBA) y  $\beta$ -1,4-galactosil transferasa (B4GALT1) (Bionaz & Loor, 2011). La prolactina (PRL) y la hormona de crecimiento (GH) inducen en la CEM la producción del factor de crecimiento insulínico (IGF) - I, IGF-II, IGF-III, IGF-IV, IGF-V, IGF-VIII e IGF-XII, además inducen la expresión de receptores de insulina, de proteínas de unión a la IGF y

de cotransportadores de sodio/ glucosa (Ostrowska, Jarczak & Zwierzchowski, 2015).

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización experimental**

La finca se ubica en el Corregimiento de Bijagual, Distrito de David, Provincia de Chiriquí. Sus coordenadas a la entrada de la finca son: N8 37.950 W82 37.991 y a 100 metros de la finca: N8 37.941 W82 38.044

***Figura 2. Imagen de ubicación de la Finca Bijagual.***





### 3.1.1. **Ámbito agroecológico y topografía**

La finca se conforma de 20 Has medidas con GPS (global Position System) dedicadas a pastoreo y producción, las cuales están destinadas para la conformación del módulo lechero, con división de parcelas y manejo de pasturas. La finca posee una temperatura que oscila entre los 26 y 32 grados centígrados, el clima es tropical húmedo según la clasificación Holdrige (1971).

La época seca es muy marcada en los meses de enero, febrero, marzo y abril y la época lluviosa es marcada en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Cuenta con un verano de aproximadamente de 95 días y la época restante es de estación lluviosa; con una humedad relativa de 30% en el periodo seco y de hasta un 80% en periodo de lluvia; los suelos poseen un pH

ácido de aproximado de 4 - 5. La precipitación se encuentra entre 5000 a 6000 mm/año.

### **3.1.2. Animales de estudio**

Se utilizaron 30 animales de razas especializadas, distribuidos igualmente al azar, en dos grupos experimentales de 15 vacas en cada grupo. Las vacas tuvieron un período gestacional similar para evitar heterogeneidad entre los días de partos, igualmente con el peso. El grupo experimental estuvieron animales de cruces entre Pardo Suizo x Holstein.

### **3.1.3. Grupo experimental**

Se establecieron 2 grupos experimentales tratamiento CON en pastoreo bajo condiciones de manejo y suplementación con concentrado y tratamiento MIX en pastoreo con suplementación de ensilado de maíz y forraje de soya.

## **4. Determinación del índice de funcionalidad hepática**

Con los niveles de albúmina (g/dl), colesterol total (mg/dl) y bilirrubina (mg/100mL) se consideró un subíndice para conocer la índice funcionalidad hepática (IFH), y establecido en la fórmula por Bertoni & Trevisi (2013).

$$\text{Subíndice de albúmina (Alb-I)} = 50\% V3 + 50\% (V28 - V3)$$

$$\text{Subíndice de colesterol (Cho-I)} = 50\% V3 + 50\% (V28 - V3)$$

$$\text{Subíndice de bilirrubina (Bil-I)} = 67\% + 333\% (V3 - V28)$$

$$\text{LFI} = (\text{Alb-I} - 17.71)/1.08 + (\text{Chol-I} - 2.57)/0.43 - (\text{Bil-I} - 6.08)/2.17$$

Índice albúmina (g/dl) = 0.5 (Concentración albúmina día 3) + 0.5 (Concentración albúmina día 28 - Concentración albúmina día 3)

Índice colesterol (mmol/l): 0.5 (Concentración colesterol día 3) + 0.5 (Concentración colesterol día 28 - Concentración albúmina día 3)

Índice bilirrubina (µmol/l): 0.67 (Concentración bilirrubina día 3) + 0.33 (Concentración bilirrubina día 28 - Concentración bilirrubina día 3).

Una vez calculado los subíndices, se calculó el índice de funcionalidad hepática de la siguiente manera:

**IFH**= (Índice albúmina-17.71) / 1.08 + (Índice colesterol-2.57) / 0.43 + (Índice de bilirrubina -6.08) / 2.17.

#### 4.1. Sistema de alimentación

Los grupos experimentales fueron alimentados de acuerdo a la (tabla 1)

**Tabla 1.** *Insumos utilizados en los tratamientos CON y MIX pre y postparto*

Tratamiento	Insumos	Preparto (kg)	Postparto (kg)
<b>1 CON</b>	Concentrado	1.8	4.5
	Harina de soya	0.45	-
	Forraje verde	25	35
<b>2 MIX</b>	Ensilado de maíz	2.27	2.27
	Soya forrajera	2.27	2.27
	Harina de soya	0.45	0.45
	Concentrado	-	2.72
	Forraje verde	33	30

La metodología consistió en administrar la dieta ya mencionada al grupo experimental durante sus dos etapas; durante los 28 días antes del parto y los 28 días después del parto. Para ello se tomaron para el estudio 30 vacas; estas vacas se mantuvieron separadas del hato y se les rotó cada día en las 8 mangas prepartos destinados para el pastoreo rotacional continuo con pasto *Urochloa*

*brizantha*. Las mangas contaron con una medida de cuadras de 5000 m<sup>2</sup> cada una y contaron con una fuente de agua permanente. Los tratamientos se organizaron de la siguiente manera, 15 animales para el tratamiento CON y 15 animales para el tratamiento MIX, los cuales fueron suplementados en dos periodos pre y posparto siendo las dietas isoenergética – isoproteicas (tabla 2)

**Tabla 2.** Bromatología de la dieta CON en el parto.

<b>Análisis bromatológico</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CON Parto</b>				
<b>Materia Prima</b>	<b>M. S. (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Energía (Mcal/día)</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>FDA (%)</b>
Concentrado parto	84.5	18.8	1.8	35.7	19
Forraje verde	29.5	8.7	0.88	72.7	35.9
H. Soya	89	44	1.80	14.9	38
	<b>CON Postparto</b>				
Concentrado postparto	90.1	19.4	1.78	37.9	19.4
Forraje verde	21.5	13.8	1.2	66.7	34.8
	<b>MIX Parto</b>				
Ensilado de maíz	26.2	9	1.04	68.3	39.8
Soya forrajera	26.2	16.2	1.42	49	28
Forraje verde	29.5	8.7	0.88	72.7	35.9
H. Soya	89	44	1.80	14.90	38
	<b>MIX Postparto</b>				
Concentrado postparto	90.1	19.4	1.78	37.9	19.4
Ensilado de maíz	26.2	9	1.04	68.3	39.8
Soya forrajera	26.2	16.2	1.42	49	28
Forraje verde	21.5	13.8	1.2	66.7	34.8
H. Soya	89	44	1.80	14.90	38

CON: concentrado; MIX: ensilados y harina de soya; prep: FND: fibra neutro detergente; FDA: fibra ácido detergente; M.S: materia seca; Mcal: mega calorías.

**Tabla 3.** Balance Nutricional del tratamiento CON preparto.

Descripción	Balance nutricional preparto				
	Tratamiento CON				
Dieta	M. S. (kg)	Proteína (gr)	Energía (Mcal/día)	FDN (kg)	FDA (kg)
Concentrado prep.	1.52	285.95	2.74	0.54	0.29
Forraje verde	7.38	641.63	6.49	5.36	2.65
H. Soya	0.41	176.22	0.72	0.06	0.15
<b>Aporte</b>	9.3	1103.79	9.95	5.96	3.09
<b>Req. NRC, 2001</b>	5.6	890.00	9.30	4.75	2.88
<b>Balance Nutricional</b>	+3.7	+213.8	+0.6	+1.2	+0.21

Durante el preparto, la dieta del grupo CON se les administró 4 lb de concentrado preparto + 1 lb de soya en grano (Tabla 3) y la dieta del grupo MIX consistió en 5 lb de ensilado de maíz + 5 lb de soya forrajera + 1 lb de soya en grano (Tabla 4).

**Tabla 4.** Balance nutricional del tratamiento Mix para preparto.

Descripción	Balance nutricional preparto				
	Tratamiento MIX				
Dieta	M. S. (kg)	Proteína (gr)	Energía (Mcal/día)	FDN (kg)	FDA (kg)
Ensilaje de maíz	0.59	53.53	0.62	0.40	0.23
Soya forrajera	0.59	96.35	0.84	0.29	0.16
Forraje verde	9.74	846.95	8.57	7.08	3.49
H. Soya	0.40	176.22	0.84	0.06	0.15
<b>Aporte</b>	11.32	1173.04	10.75	7.83	4.03
<b>Req. NRC, 2001</b>	6.75	973.00	10.16	4.75	3.17
<b>Balance Nutricional</b>	+4.5	+200.0	+0.6	+3.08	+0.86

Durante el posparto, la dieta del grupo CON consistió en administrar 10 lb, esas 10 lb de concentrado del grupo CONC se subdividió en 3 lb en la mañana + 4 lb al medio día + 3 lb en la tarde (Tabla 5)

**Tabla 5.** Balance nutricional del tratamiento CON para posparto.

Descripción	Balance nutricional posparto				
	Tratamiento CON				
Dieta	M. S. (kg)	Proteína (gr)	Energía (Mcal/día)	FDN (kg)	FDA (kg)
Concentrado postparto	4.05	786.57	7.22	1.53	0.79
Forraje verde	7.73	1038.00	9.03	5.15	2.69
<b>Aporte</b>	11.58	1825.02	16.25	6.68	3.48
<b>Req. NRC, 2001</b>	10.4	1825.92	16.07	4.18	2.74
<b>Balance Nutricional</b>	+1.2	+599.1	+0.2	+2.5	+0.7

Mientras que la dieta del grupo MIX consistió en 5 lb de ensilado de maíz + 5 lb de soya forrajera + 6 lb de concentrado posparto, En esas 6 lb más, fueron subdivididas en 2 lb en la mañana + 2 lb al medio día y 2 lb por la tarde (Tabla 6).

**Tabla 6.** Balance nutricional del tratamiento MIX para posparto.

Descripción	Balance nutricional posparto				
	Tratamiento Mix				
<b>Dieta</b>	M.S. (kg)	Proteína (gr)	Energía (Mcal/día)	FDN (kg)	FDA (kg)
Concentrado postparto	2.45	475.44	4.36	0.93	0.47
Ensilaje de maíz	0.59	53.53	0.62	0.40	0.23
Soya forrajera	0.59	96.35	0.84	0.28	0.16
Forraje verde	7.31	374.00	8.98	4.87	2.54
H. Soya	0.40	176.22	0.72	0.06	0.15
<b>Aporte</b>	10.49	1691.63	14.29	6.54	3.55
<b>Req. NRC, 2001</b>	10.40	1173.96	14.19	4.18	2.74
<b>Balance Nutricional</b>	+0.1	+517.7	+0.10	+2.36	+0.81

#### **4.2. Toma de muestras de sangre**

- Para realizar estos muestreos se utilizaron agujas de 18G, tubos sin anticongelante y viales para la conservación del suero bovino.
- La primera muestra de cada vaca se tomó el día 3 después del parto y la segunda 28 días después del parto.
- Seguido de la toma de muestras se procedió a centrifugar a 3500 rpm durante 15 min las muestras de sangre para separar el suero, ya contando con este suero, se extrajo utilizando una micro pipeta y se procedió a almacenar con su debida rotulación a -20°C para su congelación. Posteriormente, se realizó el análisis con el equipo multiparamétrico automatizado Mindray pro 240.

#### **4.3. Muestreo y parámetros de la producción de leche.**

El ordeño se realizó de manera mecánica con un equipo marca de Laval de 4 puntos con medidor de flujo para medir la producción de leche. La producción de leche se tabuló cada 7 días, con la información de número de vacas, pesa de leche AM, pesa de leche PM, pesa de leche total hasta los 28 días de producción.

Variables de producción evaluar: Producción de leche inicial (kg/d), producción de leche acumulada a los 28 días (kg/28d).

### **5. Parámetros evaluados**

#### **5.1. Indicadores de funcionalidad hepática**

- Albúmina (g/dl) según manual Wiener Lab. Cod 1008135.



- Colesterol (mg/dl) según manual Wiener Lab. Cod 1221221.
- Bilirrubina Total (mg/dl) según manual Wiener Lab. Cod 1120008.

## **5.2. Producción de leche**

- Producción de leche inicial (kg/día).
- Producción de leche acumulada a los 28 días (kg/28día).

## 6. Análisis estadístico

La matriz de datos se realizó una estadística descriptiva, donde se consideró la medidas de tendencia central y las medidas de dispersión.

Los parámetros de producción de leche inicial, la acumulada a los 28 días y el índice de funcionalidad hepática se analizaron usando los procedimientos mixtos de (SAS, 2000) por el siguiente modelo matemático:

$$Y = \mu + B_i + T_j + E_{ij}$$

Y = Índice de funcionalidad hepática.

$\mu$  = media general

$B_i$  = efecto de la condición positivo o negativo del IFH

$T_j$  = efecto de las dietas (Efecto Fijo)

$E_{ij}$  = error general.

Los niveles de albúmina, colesterol y bilirrubina se analizaron con un diseño de medida repetidas; usando los procedimientos Mixtos de (SAS, 2000). Descrito por el siguiente modelo matemático:

$$Y = \mu + T_i + A(T)_{ij} + P_k + TP_{ik} + E_{ijk}$$

Y = parámetros metabólicos y producción de leche

$\mu$  = media general

$T_i$  = efecto de tratamiento (Efecto Fijo)

$A(T)_{ij}$  = error A; animales anidados dentro de los tratamientos (efecto aleatorio)

$P_k$  = efecto del período 3 y 28, para albúmina, colesterol y bilirrubina respectivamente.

$TP_{ik}$  = efecto de la interacción tratamiento por período.

$E_{ijk}$  = error general.

## **7. Análisis de beneficio económico**

Se realizó el análisis de beneficio económico de acuerdo a las dietas y a la condición IFH positivo y negativo para las variables Pli y Pla28, teniendo en cuenta las dietas y la condición positiva y negativa del IFH.

Contando con los precios de venta, el precio por litros de leche; se tomó el ingreso bruto de la finca menos el costo neto de litros de leche y se determinó el beneficio económico en la finca.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hígado es el encargado de la formación de albúmina, mientras que el sistema inmune de la formación de globulinas (Cattaneo *et al.*, 2021), sin embargo, el funcionamiento normal de estos órganos esta ligado al aporte proteico de la dieta, tal como se observó en este estudio, donde, se balancearon ambas dietas por proteína y energía.

Las vacas alimentadas con dieta CON, mostraron un menor IFH debido a mayores niveles de colesterol y albúmina; evidenciando la capacidad de síntesis a nivel hepático (Curone *et al.*, 2018).

##### **A. Biomarcadores Hepáticos**

Los indicadores metabólicos durante el postparto para ambos tratamientos, estuvieron dentro del rango normal, según lo encontrado por Roa *et al* (2017), quién encontró valores en albúmina de 2.8 a 3.8 g/dl, en donde la media en ambos periodos fue de 2.99 g/dl (tabla 7)

La media y moda del colesterol fue de 99.11 mg/dl y 84 mg/dl respectivamente, por lo tanto, la concentración de este indicador en ambos tratamientos se mantuvo dentro de los límites normales según (Galvis, Agudelo, & Saffon, 2007).

López (2000), señala que la concentración normal de bilirrubina en vacas lecheras oscila entre 0.3 a 0.45 mg/dl. Sin embargo, las medias encontradas para ambos tratamientos, en este estudio fueron de 0.18 mg/dl para el día 3 y 28 postparto (tabla 7). Otros autores tales como Sigua (2019), señalan que este valor oscila entre 0.13 mg/dl hasta 0.38 mg/dl, en vacas secas Holstein.

**Tabla 7.** Análisis descriptivo de los indicadores metabólicos para la funcionalidad hepática.

Variables	Unidad	N	Media	Mediana	Moda	CV %
<b>Albúmina</b>	g/dl	64	2.99	3.08	2.94	13.14
<b>Colesterol</b>	mg/dl	62	99.11	92	84	33.04
<b>Bilirrubina</b>	mg/dl	64	0.18	0.16	0.13	37.11

Und: unidades; N: número de individuos; CV: Coeficiente de variación.

Índice de funcionalidad hepática (IFH) es una herramienta para caracterizar el estado inflamatorio que sufren las vacas lecheras durante la lactancia temprana (Bertoni & Trevisi, 2013) (Zhou *et al.*, 2016).

El estudio indicó que el IFH fue negativo al promedio de las vacas en estudio (-0.31) y valores de -7.8 hasta 5, siendo valores establecidos según (Bertoni & Trevisi, 2013), Las dietas no afectaron ( $p>0.05$ ) el índice de funcionalidad hepática, según el agrupamiento de las vacas basados en la condición positiva y negativas del IFH, las medias fueron 1.62 y -3.16 respectivamente, indicando que el 43.7 % de las vacas presentaron IFH negativo (tabla 8)

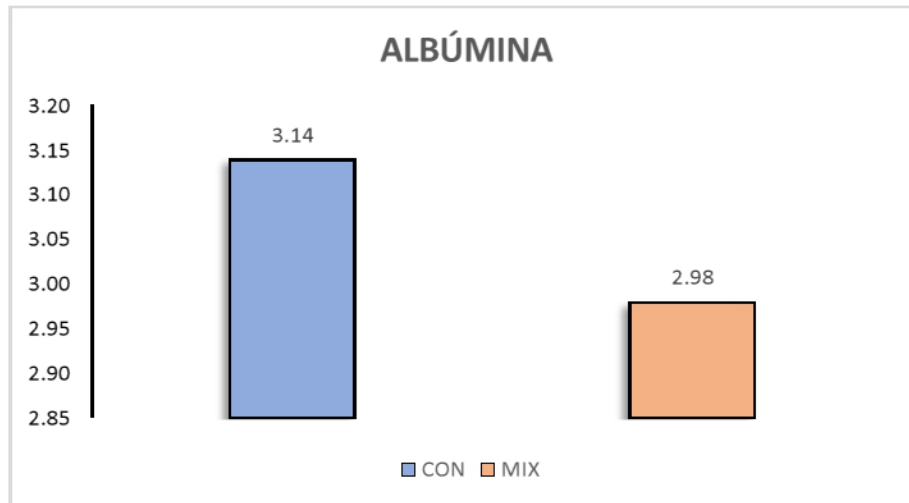
**Tabla 8.** Índice de funcionalidad hepática en vacas lecheras en el posparto.

Variables	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Moda
<b>IFH</b>	32	-7.8	5	-0.31±3.13	0.34	-1.17

IFH: índice de funcionalidad hepática; N: número de individuos.

La albúmina sérica en el postparto, no fue diferente ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos y tampoco se observó diferencias entre los tratamientos por los períodos ( $p>0.05$ ) y tampoco se observó diferencias, durante los periodos para ambos tratamientos ( $p>0.05$ ).

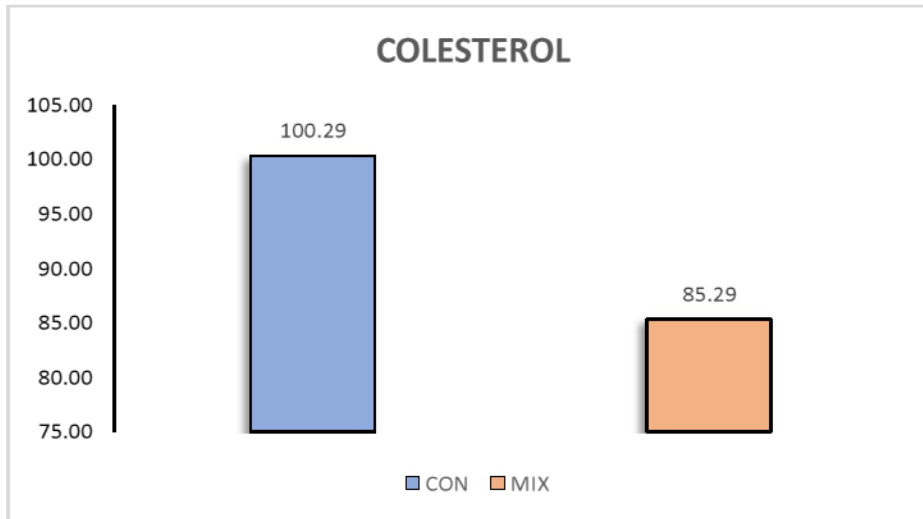
**Gráfica 1. Comportamiento de la albúmina.**



*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado.*

El colesterol durante el postparto, evidenció diferencias estadísticas ( $p<0.05$ ) entre los tratamientos, sin embargo, no se observó diferencias entre los tratamientos por periodos ( $p>0.05$ ), pero, para el período en ambos tratamientos si hubo diferencias altamente significativas ( $p<0.001$ ) (tabla 9)

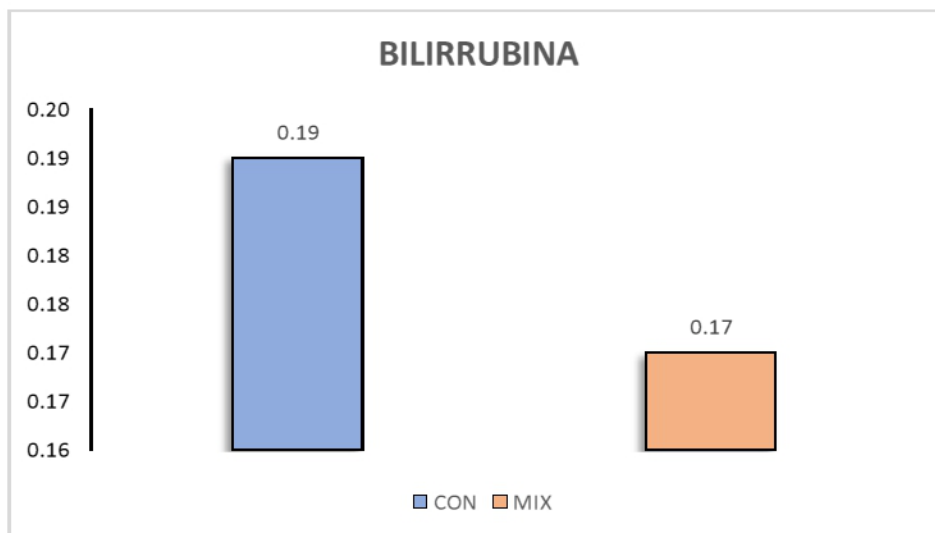
**Gráfica 2.** Comportamiento del colesterol.



*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado.*

La bilirrubina durante el postparto, no evidenció diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), de igual manera en el tratamiento por periodo ( $p > 0.05$ ), de igual manera, entre los periodos no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (tabla 9)

**Gráfica 3.** Comportamiento de la bilirrubina.



*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado.*

**Tabla 9.** Comportamiento de la albúmina, colesterol y bilirrubina en el posparto.

Variable	Unidad	Trat	Medias	3días	28días	Sem	T	P	T*p
<b>Albúmina</b>	g/dl	Con	3.14	3.04	3.09	0.08	0.235. ns	0.861. ns	0.330. ns
		Mix	2.98	2.94	2.88	0.08			
<b>Colesterol</b>	mg/dl	Con	100.29	84.62	127	4.76	0.045. **	<.0001. ***	0.951. ns
		Mix	85.29	68.76	110.62	4.77			
<b>Bilirrubina</b>	mg/dl	Con	0.196	0.18	0.18	0.01	1.000 ns	0.811. ns	0.961. ns
		Mix	0.17	0.18	0.18	0.01			

Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado; Trat: tratamiento; T: tratamiento; P: periodo; T\*p: tratamiento por periodo.

Para la variable de la albúmina y bilirrubina no se encontraron variaciones entre las medias generales para ambos periodos (tabla 10)

La media general de colesterol en sangre, fue de 78.1 mg/dl y 120.03 mg/dl en los días 3 y 28 postparto respectivamente; Roa *et al.*, (2017), indican que los valores normales de colesterol en vacas lecheras oscilan entre 80 – 180 mg/dl. Si hubo diferencias entra los periodos (41.93%) (tabla 10)

**Tabla 10.** Comportamiento de la media general de las variables albúmina, colesterol y bilirrubina en el periodo posparto.

Variable	Unidad	Periodo (días)		Dif.
		3 días	28 días	
<b>Albúmina</b>	g/dl	2.99	2.99	0
<b>Colesterol</b>	mg/dl	78.1	120.03	41.93
<b>Bilirrubina</b>	mg/dl	0.18	0.18	0

Ns: ( $P > .05$ );  $P < .10$ ;  $** (P < .01)$

El análisis de correlación de las variables albúmina, colesterol y bilirrubina presentan una relación positiva y significativa ( $p < .010$ ); indicando que las vacas que en la medida que aumentaron los niveles de albúmina aumentaron los niveles



de colesterol . Sin embargo; el colesterol no marcó una relación con la bilirrubina siendo un valor no significativo ( $p > .005$ ). Indicando una capacidad en la vaca de no elevar los niveles de la bilirrubina al momento que iba mejorando el consumo de alimento y materia seca en general (tabla 11)

**Tabla 11.** *Correlaciones para las variables albúmina, colesterol y bilirrubina.*

	<b>Albúmina</b>	<b>Colesterol</b>	<b>Bilirrubina</b>
<b>Albúmina</b>	1	0.338 p.007	0.21 p.095
<b>Colesterol</b>	0.338 p.007	1	-0.049 p.704
<b>Bilirrubina</b>	0.21 p.095	-0.049 p.704	1

La media de ambos tratamientos (Con y Mix), se mantuvo dentro del rango normal descrito anteriormente, sin embargo, los animales del tratamiento Con, mostraron superior concentración de albúmina y colesterol sérico en comparación al tratamiento Mix; Sin embargo en el caso de la bilirrubina los niveles séricos para los días 3 y 28 se mantuvieron iguales; no obstante el diferencial de ambos tratamientos. fue de 0.15% descrito en la (tabla 12)

**Tabla 12.** Medias por tratamiento a los 3 y 28 días postparto.

	Und.	Trat.	Medias	Periodo (días)	
				3 días	28 días
<b>Albúmina</b>	g/dl	Con	3.06	3.04	3.09
		Mix	2.91	2.94	2.88
<b>Colesterol</b>	mg/dl	Con	105.81	84.62	127
		Mix	89.69	68.76	110.62
<b>Bilirrubina</b>	mg/dl	Con	0.18	0.18	0.18
		Mix	0.18	0.18	0.18

*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado; Trat: tratamiento.*

El índice de funcionalidad hepática superior a cero indica, un bajo estado inflamatorio, funcionamiento reproductivo normal y un buen comportamiento de la producción de leche (Bertoni & Trevisi, 2013).

**B. Relación de la producción de leche inicial (Kg/día) y acumulada a los 28 días (kg/28d) con el índice de funcionalidad hepática (IFH).**

La producción de leche inicial y acumulada a los 28 días de lactación fue de 11.36 y 309.92 Kg respectivamente para las vacas lecheras durante el estudio (Tabla 13). Cabe destacar que el impacto de las dieta CON y MIX no causan grandes alteraciones en la producción inicial y a los 28 días ( $p > 0.05$ ), por ende, la condición positiva del IFH nos indicó una mayor capacidad en la producción inicial y a los 28 días; evidenciando la utilidad de IFH en la capacidad lactacional en los primeros 28 días posparto.

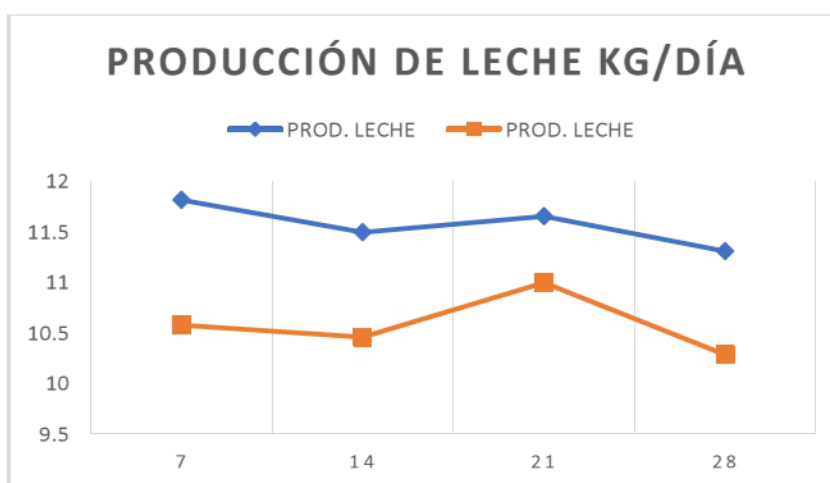
**Tabla 13.** Comportamiento de la producción de leche.

Variables	N	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Moda	Und.
<b>Pli</b>	31	3.8	18.8	11.36 ± 2.87	11.40	8.60	Kg/d.
<b>Pla28</b>	31	211.4	527.8	309.92 ± 60.78	316.40	-	Kg/28d

*Pli: producción de leche inicial; Pla28: producción de leche acumulada a los 28 días; Und: unidad.*

El comportamiento de la producción de leche promedio en los primeros 28 días de lactancia fue de 11.92 kg/día en el tratamiento Con y 10.57 kg/día para el tratamiento Mix y no significativa (tabla 16) presentó una diferencia de 0.46 kg/vaca/día en los primeros días de lactancia; mostrando una baja diferencia en la capacidad secretora de la glándula mamaria por efecto que los aporte de nutrientes, manejo y el ambiente fueron iguales para ambos tratamientos (tabla 14)

**Gráfica 4.** Valores de producción bajo la dieta Con y Mix.



*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado.*

**Tabla 14.** Comportamiento de la producción de leche inicial hasta los 28 días.

Variable	Unidad	Trat	Medias por trat.	Periodo (días)			
				7	14	21	28
Produc. Leche	kg/día	Con	11.92	10.39	11.33	11.56	11
		Mix	10.57	10.57	10.45	11	10.42

Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado; Trat: tratamiento.

Las vacas con IFH positivo obtuvieron un diferencial para la producción de leche inicial 1.35 kg de leche más que las de IFH negativo, sin embargo, la condición de IFH positiva para la producción de leche acumulada a los 28 días fue de 27,13 kg de leche (tabla 16)

**Tabla 15.** Medias según tratamiento e índice de funcionalidad hepática.

Variable	Und.	Trat.	Medias por Tratamiento	SEM	Valor p
					T
Pli	kg/día	Con	11.92	0.68	0.168
		Mix	10.57	0.66	
Pla28	Kg	Con	321.48	14.84	0.198
		Mix	294.35	14.31	
IFH		Con	-0.27	0.49	0.163
		Mix	-1.26	0.47	

Pli: producción de leche inicial; Pla28: producción de leche acumulada a los 28 días; Und: unidad; Trat: tratamiento; IFH: Índice de funcionalidad hepática.

Una herramienta efectiva para medir el comportamiento en la producción inicial y acumulada a los 28 días es el IFH; indicando una mayor capacidad en la síntesis de leche con IFH positivo, debido a un mejor funcionamiento hepático y a la reducción

del estado inflamatorio por disminución de las proteínas en la fase aguda (Montagner *et al.*, 2016 )(Bionaz *et al.*, 2007). Por otro lado es un reflejo del balance de la nutrición y alimentación durante el pre y post parto temprano (Girma *et al.*, 2019).

**Tabla 16.** Comportamiento de la media según la condición de la funcionalidad hepática (+ ó -).

Variable	Und.	Medias x Tratamiento	Condición De IFH	Medias condición De IFH	SEM	Valor p
						C
Pli	kg/día	11.92	+	12.15	0.68	0.074
		10.57	-	10.34	0.66	
Pla28	Kg	321.48	+	324.36	14.84	0.128
		294.35	-	291.48	14.31	

*Pli: producción de leche inicial; Pla28: producción de leche acumulada a los 28 días; Und: unidad; Trat: tratamiento; IFH: Índice de funcionalidad hepática; C: condición.*

La condición de IFH positiva tuvo un impacto sobre la producción de leche acumulada a los 28 días de B/. 3.80 más por cada vaca; mientras que, en la producción de leche inicial fue de B/. 0.2 más por cada vaca (tabla 17)

**Tabla 17.** Beneficio económico de la condición IFH positivo y negativo para Pli y Pla28.

Variable	Und.	Trat.	Cond. IFH	Medias por Tratamiento	Precio venta (B/.)	Ingreso bruto (B/.)	Costo/litro (B/.)	Costo (B/.)	Beneficio económico (B/.)
Pli	kg/día	Con	+	11.92	0.62	7.40	0.48	5.72	1.68
		Mix	-	10.57	0.62	6.55	0.48	5.07	1.48
Pla28	Kg	Con	+	321.48	0.62	199.32	0.48	154.31	45.01
		Mix	-	294.35	0.62	182.50	0.48	141.29	41.21

*Con: concentrado; Mix: soya de maíz+soya grano+concentrado; Trat: tratamiento; Und: unidad; Cond. IFH: condicion de índice de funcionalidad hepática.*

El estudio de la producción de leche acumulada se observó que el comportamiento de la producción de leche fueron similares en ambos tratamientos, por efecto que las dietas fueron balanceadas en términos de energía y proteína. (López *et al.*, 2012) encontró valores de producción de leche en el trópico de 9.3 kg/día. También, con datos parecidos a Gallego-Castro, Mahecha-Ledesma, & Angulo-Arizala (2017); García- Flores, & Ramos-Sosa (2021) indicaron que dietas balanceadas en términos de energía y proteína no afectan comportamiento de producción de leche.

La energía de la dieta es el factor nutricional de gran importancia, ya que afecta la producción. Altos niveles de energía dietaria produce un aumento de la producción de leche y del porcentaje de proteína (Hernández & Ponce, 2003).

Ambos tratamiento presentaron una pequeña disminución en la producción de leche a partir de los 21 días. El mismo comportamiento se observó en el estudio realizado por Mcnamara *et al.*, (2003) donde se encontró que el máximo de producción de leche fue a los 21 días siendo el reflejo de la dieta preparto, durante el período de transición quien favoreció el comportamiento de la producción de leche.

La albúmina está asociada con el estado inflamatorio en la vaca lechera, donde su clasificación es dentro de las proteínas de fase aguda negativas (Osorio *et al.*, 2014). Al encontrar valores bajos de albúmina, el animal se muestra con un mayor estado inflamatorio, no obstante, en este estudio, se observaron valores óptimos

de albúmina según lo descrito por (Roa-Vega, Ladino-Romero., & Hernández-Martínez, 2017), en ambos tratamientos, por lo tanto, el estado inflamatorio en estos animales fue mínimo.

El colesterol es un metabolito clave en el funcionamiento hepático, ya que sirve como sustrato para la formación de sales biliares, y la movilización de triglicéridos (Schlegel *et al.*, 2012).

En este estudio se observó que el colesterol en ambos tratamientos fue aumentando progresivamente comparando el día 3 y 28 respectivamente, esto, debido a la recuperación del consumo (Zhou *et al.*, 2016).

El hígado es el principal órgano encargado de excretar la bilirrubina hepática y extrahepática producida por el sistema retículo endotelial, por lo tanto, niveles bajos de bilirrubina en sangre, están ligados a un excelente funcionamiento hepático Bossaert *et al.*, (2012) y un estado orgánico y sistémico sin alteraciones bioquímicas, hormonales y autofuncionales durante la fase temprana de la lactación a partir de una buena planificación de la alimentación y nutrición aplicados en la fase prepartal y postpartal en una lechería.

## CONCLUSIONES

- El aumento del colesterol reflejó la capacidad de resiliencia de la vaca; sin embargo, valores elevados de colesterol y albúmina están correlacionados con una condición de IFH positiva, mientras que, valores altos de bilirrubina están relacionados a IFH negativo.
- Las vacas con IFH positivo presentaron un mejor desempeño al inicio de la producción de leche y la acumulada a los 28 días, por lo tanto, se considera una herramienta clave para medir la influencia del parto en la vaca lechera.
- El IFH positivo indicó un mayor beneficio económico, ya que, las vacas respondieron a un mismo rendimiento en producción consumiendo las dietas isoenergéticas – isoproteicas.



## RECOMENDACIONES

- Evaluar el índice funcionalidad hepática bajo otras condiciones y pisos ecológicos. También, realizar esta prueba metabólica en otro grupo genético y contrastarlo con los diferentes cruces genéticos.
- Realizar estudios con distintos niveles de proteína y energía durante el pre y postparto en el trópico.
- Evaluar el IFH de acuerdo con el número de partos en el mismo animal para verificar si es una condición propia del metabolismo en la lactación o se mantienen los valores en las diferentes etapas de lactación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, S. M., Rudolph, M. C., McManaman, J. L., & Neville, M. C. (2007). Key stages in mammary gland development. Secretory activation in the mammary gland: It's not just about milk protein synthesis! *Breast Cancer Research*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/bcr1653>
- Aranda MV, Brave N, Casagrande R. (2012). Colesterol en bovinos. Sitio Argentino de Producción Animal.
- Ávila S. y Romero L. (1992). Anatomía y Fisiología de la Glándula Mamaria. En: Producción de Leche con Ganado Bovino. Capítulo 6. 217-251 p.
- Baumgard, L. H., Collier, R. J., & Bauman, D. E. (2017). A 100-Year Review: Regulation of nutrient partitioning to support lactation. *Journal of dairy science*, 100(12), 10353–10366.
- Bertoni, G., & Trevisi, E. (2013). Use of the liver activity index and other metabolic variables in the assessment of metabolic health in dairy herds. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 29(2), 413–431.
- Bionaz, M., Trevisi, E., Calamari, L., Librandi, F., Ferrari, A., & Bertoni, G. (2007). Plasma Paraoxonase, Health, Inflammatory Conditions, and Liver Function in Transition Dairy Cows. *J. Dairy Sci*, 90, 1740–1750. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-445>

- Bionaz, M., & Loor, J. (2011). Gene networks driving bovine mammary protein synthesis during the lactation cycle. *Bioinformatics and Biology Insights*, 5, 83–98. <https://doi.org/10.4137/BBI.S7003>
- Broster, W. (1972). Effect on milk yield of the cow of the level of feeding during lactation. *Dairy Science Abstracts*, 24, 265-288.
- Bo-fei, SUN, Yang-chun, CAO, Chuan-jiang, CAI, Chao, YU, Sheng-xiang LI, & Jun-hu YAO. (2020). Temporal dynamics of nutrient balance, plasma biochemical and immune traits, and liver function in transition dairy cows. *Journal of Integrative Agriculture* 19(3): 820–837. [doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63153-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63153-7)
- Bossaert, P., Trevisi, E., Opsomer, G., Bertoni, G., de Vlieghe, S., & Leroy, J. L. M. R. (2012). The association between indicators of inflammation and liver variables during the transition period in high-yielding dairy cows: An observational study. *Veterinary Journal*, 192(2), 222–225. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.06.004>
- Calvo, J. L. A. (2004). *Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico*. Universidad de Antioquia.
- Capuco, A. V., & Ellis, S. E. (2013). Comparative aspects of mammary gland development and homeostasis. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1(1), 179–202. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103632>
- Cattaneo, L., Lopreato, V., Piccioli-Cappelli, F., Trevisi, E., & Minuti, A. (2021). Plasma albumin-to-globulin ratio before dry-off as a possible index of inflammatory status and performance in the subsequent lactation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 8228–8242. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19944>

- Coffey, M., Simm, G., Oldham, J., Hill, W., & Brotherstone, S. (2004). Genotype and diet effect on energy balance in the first three lactations of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 4318-4326. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73577-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73577-8)
- Contreras, G. A., Strieder-Barboza, C., & De Koster, J. (2018). Symposium review: Modulating adipose tissue lipolysis and remodeling to improve immune function during the transition period and early lactation of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 2737–2752. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13340>
- Correa H. (2002). Caracterización del periodo de transición, Universidad Nacional de Colombia Departamento de Producción Animal
- Cuervo Vivas, W. A. (2017). Factores limitantes de la Gluconeogenesis en el periodo de transición de la vaca lechera. *Documentos De Trabajo ECAPMA*, (2). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1823>
- Curone, G., Filipe, J., Cremonesi, P., Trevisi, E., Amadori, M., Pollera, C., Castiglioni, B., Turin, L., Tedde, V., Vigo, D., Moroni, P., Minuti, A., Bronzo, V., Addis, M. F., & Riva, F. (2018). What we have lost: Mastitis resistance in Holstein Friesians and in a local cattle breed. *Research in Veterinary Science*, 116, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.11.020>
- Chapinal, N., Carson, M. E., Le Blanc, S. J., Leslie, K. E., Godden, S., Capel, M., & Duffield, T. F. (2012). The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1301-1309.

- Church, D. C. (1988). The ruminant animal digestive physiology and nutrition. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. USA. 54pp.,
- Dehning, R. (1988). Diagnóstico y mejoramiento de la fertilidad en el hato (No. RISPAL-052). CICADEP, Bogotá (Colombia) Universidad de La Salle, Medellín (Colombia) Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá (Colombia) Sociedad Alemana de Cooperación Técnica-GTZ (Alemania).
- De Vries, M. J., & Veerkamp, R. F. (2000). Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *Journal of Dairy Science*, 83(1), 62–69. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74856-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74856-9)
- Drackley, J. (2001). Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? Department of Animal Sciences University of Illinois. *J Dairy Sci* 82:2259–2273
- Drackley, J. K., Overton, T. R., Douglas, G. N., Wkh, R. U., Ri, O., Kdyh, F., & Ehhq, Q. R. W. (2001). Adaptations of Glucose and Long-Chain Fatty Acid Metabolism in Liver of Dairy Cows During the Periparturient Period. *Journal of Dairy Science*, 84, E100–E112. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70204-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70204-4)
- Duffield, T. F., Lissemore, K. D., McBride, B. W., & Leslie, K. E. (2009). Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 571–580. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1507>
- Gallego-Castro, L. A; Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Milk production, quality and benefit:cost ratio of supplementing Holstein cows with *Tithonia diversifolia*. *Agron. Mesoam.* vol.28, n.2, pp.357-370. ISSN 2215-3608. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>.

Galvis, R., Agudelo, D., & Saffon, A. (2007). Condición corporal, perfil de lipoproteínas y actividad ovárica en vacas Holstein en lactancia temprana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 20:1. 16-29. Recuperado en el URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n1/v20n1a03.pdf>

García- Flores R.A., & Ramos-Sosa R.A. (2021). "Alimentación de vacas lecheras con dietas basadas en ensilado elaborado con mezcla de canavalia (*Canavalia ensiformis*) Y SORGO (*Sorghum bicolor*) y su efecto en la producción, eficiencia en el uso de nutrientes y rentabilidad". Departamento De Zootecnia, Facultad De Ciencias Agronómicas Universidad De El Salvador. 1-100. Disponible en el URL: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/983/1/13101238.pdf>

Gao, S., Zhou, Z., Wang, J., Looor, J., Bionaz, M., Ma, L., & Bu, D. (2020). Diet Composition Affects Liver and Mammary Tissue Transcriptome in Primiparous Holstein Dairy Cows. *Animals : an open access journal from MDPI*, 10(7), 1191. <https://doi.org/10.3390/ani10071191>

Giraldo Salazar, L. F., Loaiza Echeverri, A. M., Botero, S. Á., & Uribe-Velásquez, L. F. (2009). Parámetros metabólicos séricos y condición corporal durante el pre y posparto en vacas Brahman: Serum Metabolic Parameters and Body Condition During Pre and Postpartum in Brahman Cows. *Revista científica (Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. Division de Investigacion)*, 19(4), 350–355.

Girma, D., Ma, L., Wang, F., Jiang, Q., Callaway, T., Drackley, J., & Bu, D. (2019). Effects of close-up dietary energy level and supplementing rumen-protected

lysine on energy metabolites and milk production in transition cows.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15962>.

Grummer, Impacto de los cambios en el metabolismo de los nutrientes orgánicos en la alimentación de la vaca lechera en transición, *Journal of Animal Science*, volumen 73, número 9, septiembre de (1995), páginas 2820–2833.

Guerra-Ruiz, A., Crespo, J., López Martínez, R., Iruzubieta, P., Casals Mercadal, G., Lalana Garcés, M., Lavin Gomez, B. & Morales Ruiz, M. (2021). Bilirrubina: Medición y utilidad clínica en la enfermedad hepática. *Advances in Laboratory Medicine / Avances en Medicina de Laboratorio*, 2(3), 362-372.  
<https://doi.org/10.1515/almed-2021-0016>

Hernandez, R y Ponce, P. (2003). Caracterización de la composición láctea en Cuba y factores asociados a su variación. *Revista Electrónica De Veterinaria Vol.4*, pp.133-152

Herve, L., Quesnel, H., Veron, M., Portanguen, J., Gross, JJ, Bruckmaier, RM y Boutinaud, M. (2019). La pérdida de producción de leche en respuesta a la restricción de alimentación está asociada con la exfoliación de células epiteliales mamarias en vacas lecheras. *Journal of Dairy Science*. 102:1–16. doi: 10.3168 / jds.2018-15398

Hurley, W. . L. (2013). Proceedings of the london swine conference. In *Lactation in motion* (pp. 25–28). London.

McManaman, J. L., & Neville, M. C. (2003). Mammary physiology and milk secretion. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 55(5), 629–641. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(03)00033-4)

Mcnamara, S., Mara, F. P. O., Rath, M., & Murphy, J. J. (2003). Effects of Different Transition Diets on Dry Matter Intake , Milk Production , and Milk Composition in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 2397–2408. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73834-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73834-X).

MIDA: Sector lechero presenta oportunidad de crecimiento. (2022, marzo 2). ECO TV Panamá.

Molina, R., Sanchez, H., Uribe, J. & Stanislao, A. (2016). Efecto de la edad al primer parto y los días abiertos en un bovino doble propósito sobre la huella hídrica y de carbono. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 7 (2), 107-119.

Molina, S. (2000). Concentraciones de las variables sanguíneas del metabolismo proteico y de las inmunoglobulinas G (Ig G) circulantes en vacas lecheras preparto, suplementadas con una pequeña cantidad de afrecho de soya, con y sin minerales trazas quelados. Memoria de Título.

Montagner, P., Krause, A. R. T., Schwegler, E., Weschenfelder, M. M., Rabassa, V. R., Schneider, A., Pereira, R. A., Brauner, C. C., del Pino, F. A. B., Gonçalves, F. M., & Corrêa, M. N. (2016). Reduction of liver function delays resumption of postpartum ovarian activity and alters the synthesis of acute phase proteins in dairy cows. *Research in Veterinary Science*, 106, 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.02.015>

Néstor Villa, Alfredo Bohórquez, Graciela Giraldo, Alejandro Ceballos, Martín Jaramillo, Jaime Quinceno (2002). Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15(1).



- Neville, M. C., & Morton, J. (2001). Physiology and endocrine changes underlying human lactogenesis II. *Pediatric Clinics of North America*, 48, 35–52. DOI: 10.1093/jn/131.11.3005S58 55 Capítulo 3. Lactogénesis
- Neville, M. C., Neville, M. C., Mcfadden, T. B., & Forsyth, I. (2002). Hormonal regulation of mammary differentiation and milk secretion. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 7(1), 49–66. <https://doi.org/10.1023/A>.
- Nguyen, D. A., Parlow, A. F., & Neville, M. C. (2001). Hormonal regulation of tight junction closure in the mouse mammary epithelium during the transition from pregnancy to lactation. *Journal of Endocrinology*, 170(2), 347–356. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1700347>.
- Ninabanda, J. J. (2018). Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. *Revista veterinaria*, 29(1), 68-72.
- NRC. (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7<sup>a</sup> Ed.)*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Osio O. (1992). El metabolismo del colesterol. Departamento Medicina Interna, Universidad de Antioquia. *Acta Medica Colombiana* Vol. 17 N° 3.
- Osorio, J.S., Trevisi, E., Ji, P., Drackley, J.K., Luchini, D., Bertoni, G., & Loor, J.J. (2014). Biomarkers of inflammation, metabolism, and oxidative stress in blood, liver, and milk reveal a better immunometabolic status in peripartal cows supplemented with Smartamine M or MetaSmart. *Journal of Dairy Science*. 97(12), 7437–7450. doi:10.3168/jds.2013-7679

- Osorio, José Henry, & Castañeda, Jorge Abel. (2018). Determinación de los niveles de colesterol LDL en ganado bovino comparando dos métodos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(1), 126-131.
- Ostrowska, M., Jarczak, J., & Zwierzchowski, L. (2015). Glucose transporters in cattle - A review. *Animal Science Papers and Reports*, 33(3), 191–212.
- Roa-Vega, M., Ladino-Romero, E., & Hernández-Martínez, M., (2017). Indicadores de bioquímica sanguínea en bovinos suplementados con *Cratylia argentea* y *Saccharomyces cerevisiae*. *Pastos y Forrajes*, Vol.40, n.2, 144-151. Disponible en el URL: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0864-03942017000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942017000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)
- Rodríguez, Daniela. (20 de junio de 2019). Zonas de vida de Holdridge. Lifeder.
- Salama A. 2005. Modifying the lactation curve in Dairy goats: effects of milking frequency, dry period and kidding Interval. Universidad Autonoma de Barcelon Tesis Doctoral. 163 p.
- Schlegel, G., Ringseis, R., Keller, J., Schwarz, F. J., & Eder, K. (2012). Changes in the expression of hepatic genes involved in cholesterol homeostasis in dairy cows in the transition period and at different stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3826–3836. doi:10.3168/jds.2011-5221
- Sigua Ochoa, J., (2019). Determinación de valores referenciales en hemograma y química sanguínea en bovinos hembras de la raza Holstein en altitud. 1st ed. [ebook] Cuenca Ecuador. Available at: <<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18240/1/UPS-CT008663.pdf>> [Accessed 8 August 2022].

Sosa, Sandra. (24 de noviembre de 2020). Albúmina: funciones, síntesis, deficiencia, tipos. Lifeder. Recuperado de <https://www.lifeder.com/albumina/>.

Veerkamp, R., & Koenen, E. (1999). Multi-trait covariance functions to estimate genetic correlations between milk yield, dry-matter intake and live during lactation. In J. Oldham, G. Simm, A. Groen, B. Nielsen, J. Pryce, & T. Lawrence (Eds.), *Metabolic stress in dairy cows*. British Society of Animal Science Occasional Publication (No. 24, pp. 247-151). Pencil, Midlothian: British Society of Animal Science. <https://doi.org/10.1017/S146398150004316>.

Vernon, R. G. (2002, August). Nutrient partitioning, lipid metabolism and relevant imbalances. In *Proceedings of the 12th World Buiatrics Congress Vol. 18*, p. 23.

Wall, E., & Mcfadden, T. (2012). Regulation of mammary development as it relates to changes in milk production efficiency. In Narongsak Chaiyabutr (Ed.), *Milk Production - An Up-to-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health* (pp. 257–288). InTech.

Wankhade, P. R., Manimaran, A., Kumaresan, A., Jeyakumar, S., Ramesha, K. P., Sejian, V., & Rajendran, D. (2017). Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: A review, *Veterinary World*, 10(11): 1367-1377. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017>.

Wittwer, F. & Sepúlveda, P. (2020, 13 mayo). Periodo de transición: Importancia en la salud y bienestar de vacas lecheras. Engormix. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/periodo-transicion-importancia-salud-t45057.htm>

Zhou, Z., Loo, J. J., Piccioli-Cappelli, F., Librandi, F., Lobley, G. E., & Trevisi, E. (2016). Circulating amino acids in blood plasma during the peripartal period in dairy cows with different liver functionality index. *Journal of dairy science*, 99(3), 2257-2267.