

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE EN VACAS MESTIZAS Y SU RELACIÓN CON EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

CHEMICAL COMPOSITION OF MILK IN CROSSBRED COWS AND ITS RELATIONSHIP WITH MEETING NUTRITIONAL REQUIREMENTS

Nilson Hernán Ávila Loor ¹

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ESPAM MFL, Carrera de Medicina Veterinaria, Calceta, Bolívar, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9273-6698>.

Correo: nilson.avila@espam.edu.ec

Víctor Hugo Montero-Narváez ^{2*}

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ESPAM MFL, Carrera de Medicina Veterinaria, Calceta, Bolívar, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9894-7863>.

Correo: victor_montero@espam.edu.ec

Gustavo Adolfo Campozano-Marcillo ³

³ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ESPAM MFL, Carrera de Medicina Veterinaria, Calceta, Bolívar, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-2856>.

Correo: gustavo.campozano@espam.edu.ec

* Autor para correspondencia: victor_montero@espam.edu.ec

Resumen

El presente estudio evaluó la composición química de la leche de 30 vacas mestizas en sistemas de pastoreo con suplementación mineral (sal Allivium) y baja condición corporal, analizando los contenidos de proteína, grasa y lactosa durante tres tercios de lactancia. Las muestras, obtenidas mensualmente y procesadas mediante ultrasonido LACTOSCAN S®, permitieron estimar los requerimientos nutricionales según el NRC (2001), ajustados por peso corporal, producción y etapa lactacional. Los resultados mostraron que la concentración de proteína se mantuvo estable entre 2,81 % y 2,90 % sin diferencias significativas entre tercios, indicando una adaptación metabólica limitada en vacas con condición corporal baja y dieta de pastoreo. La lactosa permaneció constante (4,32–4,39 %), reflejando un metabolismo glucídico preservado y una función secretora adecuada. En contraste, el contenido de grasa fue bajo (0,83–1,31 %) y variable, evidenciando un déficit energético sostenido que no fue corregido por la suplementación mineral, afectando la síntesis lipídica en la

glándula mamaria. Este estudio resalta la importancia de ajustar la dieta energética en vacas lecheras en pastoreo para optimizar la composición láctea y el estado nutricional.

Palabras clave: composición de la leche, lactancia bovina, deficiencia energética

Abstract

This study evaluated the chemical composition of milk from 30 crossbred cows under grazing systems with mineral supplementation (Allivium salt) and low body condition, analyzing protein, fat, and lactose content across three lactation stages. Monthly samples processed by LACTOSCAN S® ultrasound enabled estimation of nutritional requirements according to NRC (2001), adjusted for body weight, production, and lactation stage. Protein concentration remained stable between 2.81% and 2.90% without significant differences among stages, indicating limited metabolic adaptation in cows with low body condition and grazing diet. Lactose levels were consistent (4.32–4.39%), reflecting preserved carbohydrate metabolism and adequate secretory function. Conversely, fat content was low (0.83–1.31%) and variable, revealing a sustained energy deficit not corrected by mineral supplementation, impairing mammary lipid synthesis. This study highlights the need to adjust energy supply in grazing dairy cows to optimize milk composition and nutritional status.

Keywords: Milk composition; Bovine lactation; Energy deficiency

Fecha de recibido: 02/01/2025

Fecha de aceptado: 16/05/2025

Fecha de publicado: 21/05/2025

Introducción

En Latinoamérica, las pasturas constituyen la principal fuente de alimento para la producción de leche bovina (Campo, 2019), ya que aportan carbohidratos, proteínas, lípidos, fibras, lignina, minerales y vitaminas (Magan et al., 2021; Chand et al., 2022). Sin embargo, los sistemas de cría, generalmente manejados de forma extensiva, enfrentan diversos desafíos, los factores como la estacionalidad de las lluvias, la baja fertilidad de los suelos, el reducido contenido de materia orgánica y los altos niveles de aluminio intercambiable limitan la disponibilidad de nutrientes en los forrajes. Esto, a su vez, se traduce en niveles productivos bajos (García et al., 2019).

El aumento en la producción de leche enfrenta diversos factores limitantes, siendo la disponibilidad de energía y proteínas en la dieta uno de los principales desafíos en vacas en lactancia (Gross & Bruckmaier, 2019). Estas limitaciones son especialmente críticas durante el primer tercio de la gestación, etapa en la que la ingesta energética resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de mantenimiento y producción de leche, lo que genera un balance energético negativo y una elevada movilización de reservas energéticas, lo que ocasiona desequilibrios metabólicos; las vacas se vuelven más susceptibles a problemas como retención de placenta,

mastitis, cojera y disminución en la producción de leche, con considerables pérdidas económicas para los ganaderos (Zachut et al., 2020; Walter et al., 2022).

La composición química de la leche refleja el equilibrio entre la ingesta, el metabolismo y la excreción de nutrientes provenientes de la dieta en los animales; este equilibrio se evidencia particularmente en el perfil de ácidos grasos, el cual puede variar significativamente ante cambios en la alimentación (Allothman et al., 2019; Timlin et al., 2021). Además, la calidad de la leche está influenciada tanto por sus componentes químicos como por factores metabólicos inherentes, tales como la raza de la vaca, el número de partos y la etapa de lactancia. También intervienen factores externos, como la dieta, la estación, el origen geográfico, la presencia de enfermedades y el recuento de células somáticas (Zhu et al., 2021; Hyuk, 2022).

El análisis de metabolitos en la leche ha cobrado relevancia en la caracterización de nutrientes como proteínas, grasas y lactosa presentes en la dieta (Rocchetti & O'Callaghan, 2021). Este método no invasivo permite evaluar tanto las enfermedades metabólicas como la calidad de la dieta, mediante un muestreo frecuente que facilita la detección temprana y el monitoreo continuo de estas afecciones, este procedimiento es de bajo costo y garantiza obtener un alto rendimiento en los sistemas de producción (Gross & Bruckmaier, 2019). El objetivo de la presente investigación es determinar la composición química de la leche y su contribución al cumplimiento de los requerimientos nutricionales en vacas mestizas con base a las tablas de la National Research Council, [de la National Academy of Sciences de los E.U.A.] NRC (2001).

Precisamente el estudio se concentrará en analizar los requerimientos nutricionales específicos de vacas lactantes mestizas en términos de grasa, lactosa y proteína de la leche y finalmente generar una propuesta nutricional específica basadas en los resultados obtenidos, para mejorar la eficiencia alimenticia y la producción lechera en sistemas de producción ganadera.

Materiales y métodos

Ubicación

El trabajo de campo se dio en la hacienda Horacio, ubicada en el sector Pechichal a 8km de la ciudad de calceta, con coordenadas geográficas 0°53' 26" de latitud sur 80° 13' 00" de longitud oeste y altitud 47 msnm. Mientras que, el análisis de los metabolitos de la leche se realizó en el laboratorio de Bromatología y Microbiología de la carrera de Agroindustria de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, situada en el Campus Politécnico Sitio El Limón, con coordenadas geográficas 0° 49' 35" de latitud sur y 80° 11' 10" de longitud oeste, a una altitud de 15 msnm (Google maps, 2024).

Animales

Para la presente investigación se utilizaron 30 vacas en etapa de lactancia, divididas en tres grupos, para la clasificación de la condición corporal se consideró la escala de 1 a 5, el pesaje de los animales se lo realizó con una balanza pesa ganado, de marca T-Scale, modelo GAN, con capacidad de una tonelada, con una precisión de un kilo, con medidas de 270 cm de largo x 100 cm de ancho x 200 cm de alto, con pantalla de cristal líquida LCD brillante, fabricado por la empresa PRECISUR de origen Peruano. Cada grupo contó con 10 vacas; el grupo 1 con un peso promedio de 430kg, con un promedio de tres años de edad, una condición corporal de 2,9 y estimado de dos partos; para el grupo 2 con un peso promedio de 466kg, con un promedio de edad de cuatro años, condición corporal de 2,7 y un estimado de tres partos y para el grupo 3 con un peso

promedio de 426kg, con un promedio de edad de cinco años condición corporal de 2,7 y un estimado de tres partos.

Alimentación

Las vacas se encontraban en un sistema de pastoreo rotacional con una carga animal de 7 animales/ha de pasto Saboya (*Megathyrus maximus* Jacq.) con un tiempo de rotación de entre 40 a 50 días por cada lote (cinco lotes), el consumo de alimento y agua fue a voluntad en los meses de septiembre a noviembre del 2024, en la época sin lluvias (verano) en la provincia de Manabí, en el sector el Pechichal de la ciudad de Calceta.

Variables

Se evaluaron tres tercios de lactancia en los tres grupos de ensayo, las variables medidas en cuanto a la composición química de la leche fueron: proteína (%) grasa (%) y lactosa (%). A partir de los niveles de grasa en la leche en porcentaje, se realizaron los cálculos de energía metabolizable en forma de NDT%, Proteína cruda %, Calcio % y Fósforo % para cada grupo de lactancia.

Recolección de muestras

Para la recolección de muestras, a cada animal se procedió a desinfectar los pezones con un contenedor de pezoneras con yodo al 12%, seguido de un secado a cada pezón con papel de fibras de cartón KRAFT LINER, fabricado por la empresa VEGIO, S.L. - C/Garnatxa, de origen Español. Posteriormente, se realizó el despunte de los pezones para obtener 100ml de muestra de leche, diariamente, por tres meses, a cada grupo de vacas en lactancia, una a una se le recolectó en un envase desechable para muestras de orina, previamente rotuladas con el código de cada animal, de la marca Quimedic® Plus, de origen Peruano por la empresa fabricante Medhave Medical Tech., Inc. (RPC).

Las muestras se almacenaron en un COOLER de espuma flex, de capacidad para 18 litros, fabricado por la empresa PLASTEX S.A, de fabricación Nacional, se conservaron a una temperatura entre 5 a 8°C para luego ser transportadas al laboratorio de Bromatología y Microbiología de la carrera de Agroindustria, de la ESPAM-MFL.

Estudio químico de la leche

Cada muestra rotulada fue procesada, previo a ello se realizaron ligeros movimientos circulatorios para homogenizar el contenido de los recipientes, posteriormente se colocó 60ml de leche en un vaso de precipitación limpio y seco, para posteriormente colocar el vaso con la muestra de leche en el lector (compartimiento muestra de leche) del equipo para el análisis químico llamado LACTOSCAN S® (Analizador de leche con pantalla LCD de 4 líneas x 16 caracteres), con serie 14-1722, fabricado por la empresa Milkotronic.Ltda, de origen Bulgaro, posteriormente se esperó el lapso de un minuto (procesamiento del equipo) y se procedió a revisar la pantalla LCD con los datos obtenidos en porcentajes de grasa, lactosa y proteína para cada muestra.

El equipo LACTOSCAN S®, utiliza la técnica de ultrasonido, lo que permite evaluar la composición de la leche de manera rápida y precisa sin necesidad de reactivos químicos, las ondas ultrasónicas son utilizadas para medir la velocidad del sonido a través de la muestra y correlacionarla con la composición de la leche, los

componentes analizados por el equipo son grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, densidad y punto de congelación.

Cálculo de energía en forma de NDT (Kg); Proteína (g); Calcio (g) y Fósforo (g) para mantenimiento y producción

A partir de las fórmulas del NRC (2001), se realizaron los cálculos de requerimientos de energía en forma de NDT (kg); proteína (g); calcio (g) y fósforo (g) para mantenimiento corporal y producción de los tres grupos de vacas en lactancia (primero, segundo y tercer tercio de lactancia), con base al peso corporal promedio, litros de leche/día y porcentaje de grasa en la leche, los cálculos fueron realizados mediante interpolación lineal utilizando las siguientes fórmulas:

Fórmula de mantenimiento:

$$Y = Y_1 + \left(\frac{Y_2 - Y_1}{PV_2 - PV_1} \right) \times (PV - PV_1)$$

Donde:

Y= es el valor interpolado para un peso dado.

Y_1 y Y_2 = son los valores de los nutrientes correspondientes a los pesos PV_1 y PV_2 .

PV_1 y PV_2 = son los valores de peso vivo conocidos (en este caso, Kg y Kg).

PV= es el peso para el cual queremos calcular los valores.

Fórmula para producción:

$$Y = Y_1 + \left(\frac{Y_2 - Y_1}{G_2 - G_1} \right) \times (G - G_1)$$

Donde:

Y= es el valor interpolado (NDT, proteína, calcio o fósforo).

Y_1 y Y_2 = son los valores de los nutrientes correspondientes a los porcentajes de grasa G_1 y G_2 .

G_1 y G_2 = son los valores de porcentaje de grasa conocidos (% y %).

G= es el porcentaje de grasa para el cual queremos calcular los valores.

Fórmulas generales mantenimiento:

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$\begin{aligned} \text{NDT} &= 3,32 + \left(\frac{3,44 - 3,15}{450 - 400} \right) \times (PV - 400) \\ \text{NDT} &= 3,32 + 0,0058 \times (PV - 400) \end{aligned}$$

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$\begin{aligned} \text{NDT} &= 3,53 + \left(\frac{3,72 - 3,44}{500 - 450} \right) \times (PV - 450) \\ \text{NDT} &= 3,53 + 0,56 \times (PV - 450) \end{aligned}$$

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$\text{NDT} = 3,15 + \left(\frac{3,44 - 3,15}{450 - 400} \right) \times (\text{PV} - 400)$$

$$\text{NDT} = 3,15 + 0,0058 \times (\text{PV} - 400)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$P = 3,91 + \left(\frac{403 - 373}{450 - 400} \right) \times (\text{PV} - 400)$$

$$P = 3,91 + (0,60) \times (\text{PV} - 400)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$P = 412,28 + \left(\frac{432 - 403}{500 - 450} \right) \times (\text{PV} - 450)$$

$$P = 412,28 + (0,58) \times (\text{PV} - 40)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P = 412,28 + \left(\frac{403 - 373}{450 - 400} \right) \times (\text{PV} - 400)$$

$$P = 373 + (0,60) \times (\text{PV} - 400)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$\text{Ca} = 15 + \left(\frac{17 - 15}{450 - 400} \right) \times (\text{PV} - 400)$$

$$\text{Ca} = 15 + 0,04 \times (\text{PV} - 400)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$\text{Ca} = 17 + \left(\frac{18 - 17}{500 - 450} \right) \times (\text{PV} - 450)$$

$$\text{Ca} = 17 + 0,02 \times (\text{PV} - 450)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$\text{Ca} = 17 + \left(\frac{18 - 17}{500 - 450} \right) \times (\text{PV} - 450)$$

$$\text{Ca} = 17 + 0,02 \times (\text{PV} - 450)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$P = 13 + \left(\frac{14 - 13}{450 - 400} \right) \times (\text{PV} - 400)$$

$$P = 13 + 0,02 \times (\text{PV} - 400)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$P = 14 + \left(\frac{15 - 14}{500 - 450} \right) \times (\text{PV} - 450)$$

$$P = 14 + 0,02 \times (\text{PV} - 450)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P=13+\left(\frac{14-13}{450-400}\right) \times (PV-400)$$

$$P = 13 + 0,02 \times (PV - 450)$$

Fórmulas generales producción:

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$NDT=0,26+\left(\frac{0,282-0,26}{3-2,5}\right) \times (G-2,5)$$

$$NDT = 0,26 + 0,044 \times (G - 2,5)$$

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$NDT=0,282+\left(\frac{0,304-0,282}{3,5-3}\right) \times (G-3)$$

$$NDT = 0,282 + 0,044 \times (G - 3)$$

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$NDT=0,260+\left(\frac{0,282-0,260}{3-2,5}\right) \times (G-2,5)$$

$$NDT = 0,260 + 0,044 \times (G - 2,5)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$P=72+\left(\frac{77-72}{3-2,5}\right) \times (G-2,5)$$

$$P = 72 + (10) \times (G - 2,5)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$P=77+\left(\frac{82-77}{3,5-3}\right) \times (G-3)$$

$$P = 77 + (10) \times (G - 3)$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P=72+\left(\frac{77-72}{3-2,5}\right) \times (G-2,5)$$

$$P = 72 + (10) \times (G - 2,5)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$Ca=2,4+\left(\frac{2,5-2,4}{3-2,5}\right) \times (G-2,4)$$

$$Ca = 2,4 + 0,2 \times (G - 2,4)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$Ca = 2,4 + \left(\frac{2,5 - 2,4}{3 - 2,5} \right) \times (G - 2,4)$$

$$Ca = 2,4 + 0,2 \times (G - 2,4)$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$Ca = 2,5 + \left(\frac{2,6 - 2,5}{3 - 2,5} \right) \times (G - 2,5)$$

$$Ca = 2,5 + 0,2 \times (G - 2,5)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia.

$$P = 1,65 + \left(\frac{1,7 - 1,65}{3 - 2,5} \right) \times (G - 2,5)$$

$$P = 1,65 + 0,1 \times (G - 2,5)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 466 kg en segundo tercio de lactancia.

$$P = 1,70 + \left(\frac{1,75 - 1,70}{3,5 - 3} \right) \times (G - 3)$$

$$P = 1,70 + 0,1 \times (G - 3)$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P = 1,65 + \left(\frac{1,70 - 1,65}{3 - 2,5} \right) \times (G - 2,5)$$

$$P = 1,65 + 0,1 \times (G - 2,5)$$

Fórmulas para el cálculo de energía en forma de NDT (Kg); Proteína (g); Calcio (g) y Fósforo (g) para mantenimiento + producción

De la misma manera, a partir de las fórmulas obtenidas del NRC (2001) se realizaron los cálculos de requerimientos de energía en forma de NDT (kg); proteína (g); calcio (g) y fósforo (g) para mantenimiento corporal + producción de los tres grupos de vacas en lactancia (primero, segundo y tercer tercio de lactancia), en base al peso corporal promedio, litros de leche/día y porcentaje de grasa en la leche, los cálculos fueron realizados mediante las siguientes fórmulas:

Cálculo del requerimiento total en gramos

Para el presente trabajo de investigación (NRC, 2001), se utilizó la suma de los requerimientos de mantenimiento y producción, obteniendo así, el requerimiento total en gramos, excepto NDT que esta expresado en Kg:

$$\text{Requerimiento Total} = \text{Mantenimiento} + \text{Producción}$$

Fórmulas generales mantenimiento + producción:

NDT (Kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$\text{NDT} = \text{NDT mantenimiento} + \text{NDT producción}$$

PROTEÍNA (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P = P \text{ mantenimiento} + P \text{ producción}$$

CALCIO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$\text{Ca} = \text{Ca mantenimiento} + \text{Ca producción}$$

FÓSFORO (g): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P = P \text{ mantenimiento} + P \text{ producción}$$

Fórmulas para la conversión de gramos a kilogramos de energía en forma de NDT (Kg); Proteína (Kg); Calcio (Kg) y Fósforo (Kg) para mantenimiento + producción

A partir de las fórmulas obtenidas del NRC (2001) se realizaron las conversiones de los cálculos expresados en gramos (excepción de NDT) de requerimientos de energía en forma de NDT (kg); proteína (kg); calcio (kg) y fósforo (kg) para mantenimiento corporal + producción de los tres grupos de vacas en lactancia (primero, segundo y tercer tercio de lactancia), en base al peso corporal promedio, litros de leche/día y porcentaje de grasa en la leche, mediante las siguientes fórmulas:

Conversión de gramos a kilogramos

$$1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$$

Fórmulas generales de conversión:

NDT (Kg): (ya expresado en kg, por lo que no cambia): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia. _{kg}

$$\text{NDT kg} = \text{kg}$$

PROTEÍNA (kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P_{\text{kg}} = \left(\frac{P_{\text{g}}}{1000} \right) = P_{\text{kg}}$$

CALCIO (kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$\text{Ca}_{\text{kg}} = \left(\frac{\text{Ca}_{\text{g}}}{1000} \right) = \text{Ca}_{\text{kg}}$$

FÓSFORO (kg): Vacas con peso promedio de 430 kg en primer tercio de lactancia; 466 kg en segundo tercio de lactancia y 426 kg en tercer tercio de lactancia.

$$P_{kg} = \left(\frac{P_g}{1000} \right) = P_{kg}$$

Fórmulas para el consumo de materia seca en base al peso metabólico en bovinos

El peso metabólico ($P^{0,75}$) es un concepto clave en la nutrición de bovinos, ya que refleja mejor los requerimientos energéticos que el peso corporal total, a partir de las recomendaciones del NRC (2001), se expresó en el presente trabajo de investigación las formulas generales para calcular el consumo de materia seca (M.S) en función del peso metabólico.

Cálculo del peso metabólico

El peso metabólico se calculó utilizando la fórmula:

$$P_{metab} = P^{0,75}$$

Donde:

P_{metab} = Peso metabólico

P = Peso corporal en Kg

Cálculo del consumo de materia seca (M.S)

Para determinar el consumo de materia seca en gramos y kilogramos, se utilizó la constante de (132 g por kg de peso metabólico) según el NRC (2001), con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de M.S. en gramos} &= 132 \times P_{metab} \\ \text{Consumo de M.S. en kilogramos} &= \frac{\text{Consumo de M.S. en gramos}}{1000} \end{aligned}$$

Fórmulas generales aplicables a cualquier peso vivo

Consumo de materia seca en gramos:

$$M.S._g = 132 \times P^{0,75}$$

Consumo de materia seca en kilogramos:

$$M.S._{kg} = \frac{132 \times P^{0,75}}{1000}$$

Fórmula para la conversión en porcentajes de kilogramos de energía en forma de NDT (Kg); Proteína (Kg); Calcio (Kg) y Fósforo (Kg) para mantenimiento + producción

A partir de los cálculos realizados tomados del NRC (2001) se realizaron las conversiones a porcentajes de requerimientos de energía en forma de NDT (kg); proteína (kg); calcio (kg) y fósforo (kg) para mantenimiento corporal + producción de los tres grupos de vacas en lactancia (primero, segundo y tercer tercio de lactancia), mediante las siguientes fórmulas:

Conversión a porcentajes

Para expresar los requerimientos en porcentajes, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%_{Nutriente} = \left(\frac{\text{Valor del Nutriente}}{\text{Valor de Referencia}} \right) \times 100$$

Análisis estadístico

Los resultados serán tabulados a través de programas de Excel utilizando medidas de tendencia central y de dispersión, después se realizará una prueba de normalidad (Test de Shapiro-Wilk). Todos estos análisis se ejecutaron utilizando el programa Infostat versión 2020, y los resultados son presentados en tablas comparativas.

Resultados y discusión

Análisis químico de la leche en los tres periodos de lactancia

En la Tabla 1 se presenta el análisis del porcentaje de proteína, grasa y lactosa en diferentes periodos de lactancia. El contenido de proteína varió entre 2,81% y 2,90%, sin observarse diferencias estadísticas significativas entre los periodos ($p=0,034$), a pesar de que el valor medio fue ligeramente mayor en el tercer tercio ($2,90\% \pm 0,05$) en comparación con el primero ($2,85\% \pm 0,14$) y segundo tercio ($2,81\% \pm 0,14$). En cuanto al porcentaje de grasa, los valores oscilaron entre 0,83% y 1,31%, con mayor variabilidad en el segundo tercio ($1,31\% \pm 1,90$), sin diferencias significativas entre los periodos de lactancia ($p=0,220$), lo que indica estabilidad en este componente. Finalmente, el porcentaje de lactosa se mantuvo constante entre 4,32% y 4,39%, sin diferencias significativas entre los periodos analizados ($p=0,123$), evidenciando una concentración estable a lo largo de la lactancia.

Tabla 1. Análisis de los componentes de la leche (proteína%, grasa% y lactosa%) según tercio de lactancia.

Variables		Componentes químicos de la leche (%)		
		Proteína	Grasa	Lactosa
Periodo de lactancia	Primer tercio	2,85 $\pm$ 0,14 a	0,83 $\pm$ 0,34	4,32 $\pm$ 0,18
	Segundo tercio	2,81 $\pm$ 0,14 a	1,31 $\pm$ 1,90	4,39 $\pm$ 0,17
	Tercer tercio	2,90 $\pm$ 0,05 b	1,12 $\pm$ 0,43	4,39 $\pm$ 0,08
P- VALOR		0,034	0,220	0,123

Los valores determinados en esta investigación indican que los niveles de proteína en el tercer tercio de la lactancia se mantuvieron dentro del rango de referencia (2.9% a 3.9%). No obstante, los porcentajes de grasa registrados en los tres periodos de lactancia fueron considerablemente inferiores a los reportados en la literatura, cuyos valores oscilan entre 3.0% y 3.4%. En cuanto a la lactosa, los niveles observados estuvieron dentro del intervalo establecido (4.0% a 4.7%), coincidiendo con lo reportado por (Morales-Ibadango *et al.*, 2024).

Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Acosta-Acosta *et al.* (2020), quienes describieron una tendencia natural en la que los porcentajes de grasa, proteína y lactosa presentan valores elevados al inicio de la lactancia, disminuyen progresivamente durante la fase media y tienden a incrementarse nuevamente en el último tercio.

Sin embargo, los valores promedio obtenidos en esta investigación para proteína, grasa y lactosa fueron inferiores a los informados por Cruz *et al.* (2012), quienes reportaron concentraciones de grasa (3.50 g/L), sólidos no grasos (8.61 g/L) y proteína (3.23 g/L). Esta disminución puede estar relacionada con diversos factores, entre ellos el estado fisiológico de las vacas, las condiciones ambientales y, especialmente, la calidad de la alimentación suministrada. Según Delgado *et al.* (2023), concentraciones de proteína superiores al 2.9% se asocian con dietas balanceadas en aminoácidos, proteínas y carbohidratos fermentables, los cuales estimulan la síntesis de proteína láctea. Asimismo, niveles elevados de grasa y proteína suelen encontrarse en vacas con genética especializada y en sistemas de producción que garantizan una nutrición adecuada.

Por lo tanto, la baja concentración de proteínas, grasa y azúcares observada en este estudio podría estar vinculada a deficiencias en el aporte de nutrientes esenciales, particularmente en la relación energía-proteína de la dieta, lo que afecta negativamente la eficiencia metabólica y la calidad composicional de la leche.

Por otro lado, Gutiérrez *et al.* (2018) destaca que una dieta deficiente en proteínas provoca el agotamiento de los depósitos corporales en sangre, hígado y músculos, lo que afecta la producción y el contenido proteico de la leche. Con base en estos fundamentos, se puede afirmar que los niveles de proteína administrados en la dieta de este estudio cumplen con los requerimientos nutricionales estándar.

Cálculos de nutrientes en vacas para tres periodos de lactancia

Cálculo de factor de interpolación peso promedio

Tabla 2. Valores de interpolación para peso promedio en Kg.

Variables		Peso promedio Kg	Factor interpolado (F.I)
Periodo de lactancia	Primer tercio	430	0,60
	Segundo tercio	466	0,62
	Tercer tercio	426	0,52

Cálculo de nutrientes en gramos para mantenimiento en los tres periodos de lactancia

Tabla 3. Requerimientos de nutrientes para mantenimiento representados en gramos.

Variables		Peso promedio Kg	NDT (kg)	Proteína g	Calcio g	Fósforo g
Periodo de lactancia	Primer tercio	430	3,32	391	16,20	13,60
	Segundo tercio	466	3,53	412,28	17,32	14,32
	Tercer tercio	426	3,30	388,60	16,04	13,52

Cálculo de factor de interpolación para litros/leche/día

Tabla 4. Valores de interpolación para litros/leche/día

Variables		Peso promedio Kg	L./Leche Promedio	Factor interpolado (F.I)
Periodo de lactancia	Primer tercio	430	17	0,60
	Segundo tercio	466	14	0,62
	Tercer tercio	426	10	0,52

Cálculo de nutrientes en gramos para producción en los tres periodos de lactancia

Tabla 5. Requerimientos de nutrientes para producción con base al % de grasa en leche.

Variables		% Grasa/Leche	L./Leche Prom./día	NDT (kg)	Proteína g	Calcio g	Fósforo g
Periodo de lactancia	Primer tercio	2,85	17	4,68	1283,5	41,99	28,64
	Segundo tercio	2,81	14	4,14	1121,4	35,87	24,23
	Tercer tercio	2,9	10	2,78	760,00	24,8	16,90

Cálculo de nutrientes en gramos y kilogramos para producción + mantenimiento en los tres periodos de lactancia

Tabla 6. Requerimientos de nutrientes para producción + mantenimiento.

		Periodo lactancia	NDT (kg)	Proteína g	Calcio g	Fósforo g
Requerimiento	Mantenimiento	Primer tercio	3,32	391	16,20	13,60
	Producción		4,68	1283,50	41,99	28,645
Conversión	Gramos total		8,0058	1674,50	58,19	42,25
	Kilogramos total		8,01	1,68	0,058	0,042
Requerimiento	Mantenimiento	Segundo tercio	3,53	412,28	17,32	14,32
	Producción		4,14	1121,4	35,868	24,234
Conversión	Gramos total		7,6686	1533,68	53,188	38,554
	Kilogramos total		7,67	1,53	0,05	0,04
Requerimiento	Mantenimiento	Tercer tercio	3,3008	388,6	16,04	13,52
	Producción		2,776	760	24,8	16,9
Conversión	Gramos total		6,0768	1148,6	40,84	30,42
	Kilogramos total		6,08	1,15	0,04	0,03

Cálculo de consumo de materia seca (M.S) en gramos y kilogramos con relación al peso metabólico ($P^{0,75}$) en los tres periodos de lactancia

Tabla 7. Consumo de materia seca (M.S) en gramos y kilogramos en los tres periodos de lactancia.

Variables		Peso promedio Kg	L./Leche Promedio	$P^{0,75}$	Consumo g/M.S	Consumo kg/M.S
Periodo de lactancia	Primer tercio	430	17	94,428	12464,51	12,46
	Segundo tercio	466	14	100,29	13239,25	13,24
	Tercer tercio	426	10	93,769	12377,45	12,38

Cálculo de conversión de nutrientes en kilogramos a porcentaje para producción + mantenimiento en los tres periodos de lactancia

Tabla 8. Conversión de nutrientes de kilogramos a porcentajes para la formula en los tres periodos de lactancia.

Variables		Peso promedio Kg	L./Leche Promedio	NDT (kg)	Proteína kg	Calcio kg	Fósforo kg
Periodo de lactancia	Primer tercio	430	17	8,01	1,68	0,058	0,042
				NDT (%)	Proteína %	Calcio %	Fósforo %
				64,23	13,43	0,47	0,34
	Segundo tercio	466	14	NDT (kg)	Proteína kg	Calcio kg	Fósforo kg
				7,67	1,53	0,05	0,04
				NDT (%)	Proteína %	Calcio %	Fósforo %
				57,92	11,58	0,4	0,29
	Tercer tercio	426	10	NDT (kg)	Proteína kg	Calcio kg	Fósforo kg
				6,08	1,15	0,04	0,03
				NDT (%)	Proteína %	Calcio %	Fósforo %
				49,1	9,28	0,33	0,25

Propuesta de dietas formuladas por periodo de lactancia en vacas mestizas de acuerdo a los requerimientos nutricionales calculados

Tabla 9. Ingredientes y composición nutricional calculada para los tres periodos de lactancia

Insumos	Primer tercio	Segundo tercio	Tercer tercio
Maíz grano	14	8,78	0
Coronta de Maíz	0	0	57,25
Pasta de Soya	12,98	10,3	13,4
Harina de Pescado	3	2	0
Polvillo de Arroz	17	15	10
Panca de Maíz	28	25	8
Cáscara de Cacao	9,75	12	0
Melaza	11	22	6
Aceite de Pescado	2,25	0	0
Sal común	1,99	4,92	5

Carbonato de Calcio	0,03	0	0,35
	100	100	100
Composición Calculada			
Energía en NDT%	64,24	57,92	49,32
Proteína bruta %	13,43	11,58	9,28
Calcio %	0,47	0,40	0,33
Fósforo %	0,35	0,29	0,25

Conclusiones

La concentración de proteína en leche se mantuvo relativamente constante entre 2,81% y 2,90% a lo largo de la lactancia. Esta estabilidad sugiere una capacidad limitada de adaptación metabólica en vacas con baja condición corporal, probablemente asociada a una dieta de pastoreo con suplementación insuficiente para estimular una mayor síntesis proteica.

Los niveles de grasa en leche fueron consistentemente bajos (0,83–1,31%) y altamente variables, reflejando una deficiencia energética sostenida en la dieta basada en pastoreo. La baja condición corporal y el suplemento mineral limitado no compensaron las demandas lipídicas, afectando la síntesis mamaria de grasa a lo largo de la lactancia.

La concentración de lactosa en leche se mantuvo estable (4,32–4,39%) y dentro de rangos fisiológicos durante toda la lactancia. Esta estabilidad indica un metabolismo glucídico funcional y sostenido, pese a la dieta de pastoreo y la baja condición corporal, reflejando preservación del mecanismo osmótico de síntesis láctea.

Referencias

- Acosta-Acosta, Y., La O-Michel, Á.L., y La O-Cantalapiedra, L.A. (2020). La composición de la leche, su variación según raza y la lactancia. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 24(1), 93-98. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4411976012/index.html>
- Allothman, M., Hogan, S., Hennessy, D., Dillon, P., Kilcawley, K., Donovan, M., Tobin, J., Fenelon, M., O'Callaghan, T. (2019). The “Grass-Fed” Milk Story: Understanding the Impact of Pasture Feeding on the Composition and Quality of Bovine Milk. *Alimentos. Journal MDPI* 8 (8), 350. <https://doi.org/10.3390/foods8080350>
- Campo, D. (2019). Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 11(1), 80-89. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.716>
- Chand, S., Indu, Singhal, R. K., & Govindasamy, P. (2022). Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. *Grass and Forage Science*, 77(1), 11-32. <https://doi.org/10.1111/gfs.12557>
- Cruz, A.M., Rojas, J.L. R., Muñoz, B.S., López, J.L.C., Zebadúa, M.Á.O., Sánchez, A.L., y Coutiño, A.C. (2012). Análisis de la composición química de leche en explotaciones lecheras en las regiones 01 Centro y 04 Frailesca de Chiapas. *Quehac Cient en Chiapas*, 1(14), 14-20.

https://dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-jul-dic/analisis_de_composicion_quimica_de_leche.pdf

- Delgado, D.F.F., Leal, D.R.C., González, S.D., Vera, L.J.N., y Palomino, Y.R. (2023). Análisis bacteriológico y composicional de la leche bovina de cuatro municipios del departamento de Putumayo, Colombia. *Spei Domus*, 19(2),1-9. <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2023.02.04>
- García, G.L., Orjuela, A.G., González, F.D., y Rodríguez, A.P.R. (2019). Evaluación del estado metabólico, el peso vivo y la condición corporal durante la gestación en vacas de carne en la Altillanura colombiana. *Orinoquia*, 23(2), 13-24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7425924>
- Google maps. (2024). <https://acortar.link/Q633hd>
- Gross, J.J., & Bruckmaier, R.M. (2019). Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk. *Animal*, 13(S1), s75-s81. [doi:10.1017/S175173111800349X](https://doi.org/10.1017/S175173111800349X)
- Gutiérrez, F., Estrella, A., Irazábal, E., Quimiz, V., Portilla, A., y Bonifaz, N. (2018). Mejoramiento de la eficiencia de la proteína de los pastos en bovinos de leche utilizando cuatro formulaciones de balanceados. *La Granja*, 28(2), 87-98. <https://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.09>
- Hyuk, J. (2022). Critical review: Metabolomics in dairy science – Evaluation of milk and milk product quality. *Food Research International*. ELSEVIER. Volume 154. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.110984>
- Magan, J. B., O' Callaghan, T. F., Kelly, A. L., & McCarthy, N. A. (2021). Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2769-2800. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12751>
- Morales–Ibadango, C.M., Silva–Díaz, M.V., Vargas–Escobar, J.A., y Peñafiel–Bonilla, N.J. (2024). Caracterización de la leche de dos razas de ganado bovino en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica-CEIPA: Implicaciones para la industrialización de productos lácteos. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(2), 663-678. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccr/v5/n2/575>
- National Research Council, Committee on Animal Nutrition, & Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*: National Academies Press. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EgWw2Kd9mb4C&oi=fnd&pg=PT16&dq=NRC++\(National+Research+Council\).+\(2001\).++Nutrient++requirements++of++Dairy++Cattle.++7threv.++ed.++Washington,DC.,+USA.+National+Academy+Press.&ots=pRDVEp9Tpm&sig=ozpZyUx1hFym_hfEVaA6vQZunoc#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EgWw2Kd9mb4C&oi=fnd&pg=PT16&dq=NRC++(National+Research+Council).+(2001).++Nutrient++requirements++of++Dairy++Cattle.++7threv.++ed.++Washington,DC.,+USA.+National+Academy+Press.&ots=pRDVEp9Tpm&sig=ozpZyUx1hFym_hfEVaA6vQZunoc#v=onepage&q&f=false)
- Rocchetti, G., & O'Callaghan, T. F. (2021). Application of metabolomics to assess milk quality and traceability. *Current Opinion in Food Science*, 40, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.005>

- Timlin, M., Tobin, J., Brodkorb, A., Murphy, E., Dillon, P., Hennessy, D., Donovan, M., Pierce, K., O'Callaghan, T. (2021). The Impact of Seasonality in Pasture-Based Production Systems on Milk Composition and Functionality. *Journal MDPI*, 10 (3), 607; <https://doi.org/10.3390/foods10030607>
- Walter, L., Gartner, T., Gernand, E., Wehrend, A., Donat, K. (2022). Effects of Parity and Stage of Lactation on Trend and Variability of Metabolic Markers in Dairy Cows. *Animals (Basel)*. <https://doi.org/10.3390/ani12081008>
- Zachut, M., Šperanda, M., de Almeida, A., Gabai, G., Mobasheri, A., Hernández, L. (2020). Biomarcadores de aptitud y bienestar en ganado lechero: productividad saludable. *Revista de investigación láctea* .87(1):4-13. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000084>
- Zhu, D., Kebede, B., McComb, K., Hayman, A., Chen, G., Frew, R. (2021). Milk biomarkers in relation to inherent and external factors based on metabolomics. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 109, Pages 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.012>