

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MONITOREO DEL ESTADO NUTRICIONAL DE VACAS DE  
DOBLE PROPÓSITO EN PRODUCCIÓN POR MEDIO DE  
PERFILES METABÓLICOS

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del  
Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y  
Recursos Naturales para optar al grado y título de Maestría  
Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con  
énfasis en Nutrición Animal

BRYAN ALBERTO AGUILERA SALDAÑA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2024

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis con gran devoción en primer lugar a Dios, a mi padre Luis Alberto Aguilera Mata<sup>†</sup>, quien formó en vida mi ejemplo a seguir por su esfuerzo, dedicación y esmero en todos los ámbitos personales y laborales, y seguirá siendo mi guía como persona, padre y emprendedor, y brindo apoyo en mis logros académicos, laborales y personales, a mi madre Gloria Saldaña Granados por el apoyo y esfuerzo que siempre ha puesto sobre su hijo, a mi esposa Sussan Chaves Almengor por ser compañera e impulsora de mis metas personales y académicas, mi hijo Luis Alberto Aguilera Chaves por ser mi inspiración para dar lo mejor de mí en todos las áreas de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por su gracia conmigo, darme salud y facultades para desarrollar mi formación personal, profesional y académica, a mis padres por todo el soporte emocional, económico y afectivo puesto en mi durante toda mi vida, a mi esposa por ser una gran compañera de vida sacando de mi lo mejor, a mi hijo por ser mi alegría y motivación a la excelencia, a mi director de tesis Ph.D. Luis Alonso Villalobos Villalobos por su vocación, dedicación, apoyo y buen trato durante toda mi especialización académica, a mi mentor profesional M.Sc. Augusto Rojas Bourrillón por poner siempre alta la mira hacia donde apuntar en mi formación profesional y académica, e impulsar mi formación académica, a mi asesor externo Ph.D. Anthony Valverde Abarca por estar presente en mi formación académica de grado y posgrado y poner a disposición su calidad personal y profesional. A mi familia en general: hermano, suegros y cuñada por estar presentes brindando sostén a mi persona y nuestro núcleo familiar, a la Universidad de Costa Rica por desarrollar académicamente mi profesión.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Nutrición Animal.



---

Dra. Flor Jiménez Segura  
Decana  
Sistema de Estudios de Posgrado



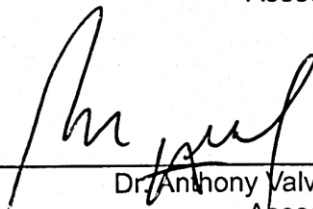
---

Dr. Luis Alonso Villalobos Villalobos  
Director de Tesis



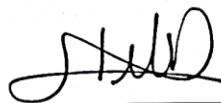
---

M.Sc. Augusto Rojas Bourrillón  
Asesor



---

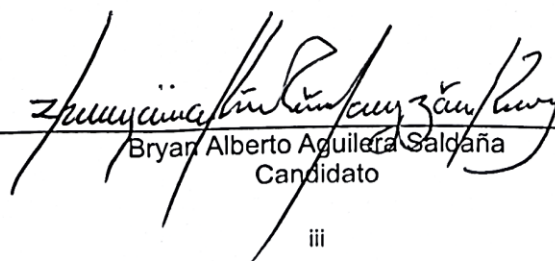
Dr. Anthony Valverde Abarca  
Asesor



---

Dra. Catalina Salas Durán  
Directora

Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



---

Bryan Alberto Aguilera Saldaña  
Candidato

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	ii
Hoja de aprobación .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
Índice de cuadros .....	ix
Índice de figuras .....	xi
Capítulo I - Caracterización de los sistemas de producción de ganadería bovina de doble propósito en Costa Rica .....	1
Resumen .....	1
Abstract .....	2
Introducción .....	3
Materiales y métodos .....	4
Cría de bovinos doble propósito en climas tropicales .....	5
Registro de datos .....	5
La relación ambiental .....	7
El aspecto genético .....	9
Reproducción y cría .....	10
La nutrición .....	13
La situación del ganado de doble propósito en Costa Rica; Ganadería Costarricense en datos .....	15
La producción científica .....	16
Consideraciones finales .....	21
Bibliografía .....	21
Capítulo II - Perfiles metabólicos de ganado doble propósito en producción medido en cuatro fincas comerciales de la Región Huetar Norte de Costa Rica .....	26
Resumen .....	26

Abstract .....	27
Introducción .....	27
Principales metabolitos analizados .....	29
Materiales y métodos .....	33
Localización .....	33
Selección de los animales .....	33
Condiciones del hato estudiado .....	34
Procedimientos de toma de muestra y análisis de sangre .....	35
Diseño del experimento .....	36
Resultados y discusión .....	36
Glucosa .....	38
Cetonas .....	40
Nitrógeno ureico .....	41
Creatinina .....	42
Calcio .....	44
Fósforo .....	45
Relación Calcio Fósforo (Ca/P) .....	46
Magnesio .....	47
Fosfatasa alcalina en suero (SAP) .....	48
Aspartato aminotransferasa en suero (AST) .....	49
Gamma glutamil transferasa en suero (GGT) .....	50
Conclusiones .....	51
Referencias bibliográficas .....	52
Capítulo III – Relación entre nutrición y perfiles metabólicos de cuatro hatos de ganado doble propósito en producción en la Región Huetar Norte de Costa Rica .....	57
Resumen .....	57
Abstract .....	58
Introducción .....	59
Materiales y métodos .....	61
Localización .....	61

Selección de los animales .....	62
Recolección de muestras de forrajes y alimentos .....	62
Procedimientos de toma de muestra y análisis de sangre .....	63
Diseño del experimento .....	63
Resultados y discusión .....	64
Conclusiones .....	74
Referencias bibliográficas .....	74

## RESUMEN

El presente trabajo final de graduación se compone por tres capítulos en los cuales se investigó el monitoreo del estado nutricional de vacas doble propósito en producción por medio de perfiles metabólicos. El primer capítulo constituye una revisión de literatura sobre la caracterización de los sistemas de producción de ganadería bovina de doble propósito en Costa Rica, donde se revisan 31 publicaciones principalmente menor a diez años de antigüedad para definir la información científica publicada en términos conceptuales de la ganadería de doble propósito en Costa Rica y la región de América Latina, donde se amplía lo referente a este sistema en registro de datos, tecnificación, genética, reproducción y crianza, relación ambiente y nutrición. El segundo capítulo aborda el trabajo de campo realizado en cuatro fincas comerciales de ganadería doble propósito en la región Huetar Norte de Costa Rica, su principal objetivo es definir el perfil metabólico compuesto por diez metabolitos (glucosa, cetonas, nitrógeno ureico, creatinina, calcio, fósforo, magnesio, fosfatasa alcalina, aspartato amino transferasa y gamma glutamil transferasa en suero sanguíneo) de 26 animales en producción durante un intervalo de tiempo comprendido entre los 2 y 146 días posteriores al parto (lactancia), realizando tres muestreos consecutivos durante ese periodo. Se logra definir la concentración en suero sanguíneo de los diez metabolitos propuestos, generando una interpretación y análisis basado en referencias desarrolladas para ganado lechero, lo que permite identificar casos de niveles anómalos, considerados como indicadores de afectación en la salud animal, estudiados de forma general, e individual por cada finca, y según dos grupos genéticos predominantes (cebú y cruzamiento con ganado de origen europeo). El tercer capítulo aborda la información obtenida del perfil metabólico, con el consumo y bromatología (calidad nutricional) de los forrajes y alimentos presentes en las fincas, para generar una relación entre los aspectos nutricionales observados y los resultados en suero sanguíneo de los metabolitos, basado en la información científica sobre estas relaciones para ganado lechero, empleando un análisis de componentes principales para determinar la relación entre variables.

## ABSTRACT

This final graduation work is made up of three chapters in which the monitoring of the nutritional status of dual-purpose cows in production was investigated through metabolic profiles. The first chapter constitutes a literature review on the characterization of dual-purpose cattle production systems in Costa Rica, where 31 publications are reviewed, mainly less than ten years old, to define the scientific information published in conceptual terms of livestock farming. . dual purpose in Costa Rica and the Latin American region, where this system is expanded in data registration, technology, genetics, reproduction and breeding, environment and nutrition relationship. The second chapter addresses the field work carried out on four dual-purpose commercial livestock farms in the Huetar Norte region of Costa Rica. Its main objective is to define the metabolic profile composed of ten metabolites (glucose, ketones, urea nitrogen, creatinine, calcium , phosphorus, magnesium, alkaline phosphatase, aspartate amino transferase and gamma glutamyl transferase in blood serum) of 26 animals in production during a time interval between 2 and 146 days after parturition (lactation), carrying out three consecutive samplings during that period . It is possible to define the concentration in blood serum of the ten proposed metabolites, generating an interpretation and analysis based on references developed for dairy cattle, which allows identifying cases of abnormal levels, considered as indicators of impact on animal health, studied in a general way. . , and individual for each farm, and according to two predominant genetic groups (zebu and crossing with cattle of European origin). The third chapter addresses the information obtained from the metabolic profile, with the consumption and bromatology (nutritional quality) of the forages and foods present on the farms, to generate a relationship between the nutritional aspects observed and the results in blood serum of the metabolites, based in scientific information about these relationships for dairy cattle, using a principal components analysis to determine the relationship between variables.



## ÍNDICE DE CUADROS

### *Capítulo II*

Cuadro 1: Datos reportados como valores de referencia por la literatura para los metabolitos empleados en un perfil metabólico, para determinar el estado nutricional en ganado lechero especializado .....	31
Cuadro 2: Concentraciones medias y desviación estándar de glucosa, cetonas, nitrógeno ureico, creatinina, Ca, P, relación Ca/P, Mg, SAP, AST y GGT medidos en suero sanguíneo y significancia de cada variable en el modelo estadístico en 4 fincas comerciales de la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	37
Cuadro 3: Frecuencia de presentación de casos y concentración media de glucosa según finca y raza, en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	38
Cuadro 4: Frecuencia de presentación de casos según concentración de cetonas en sangre según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	40
Cuadro 5: Frecuencia de presentación de casos según concentración de nitrógeno ureico en sangre según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	42
Cuadro 6: Frecuencia de presentación de casos según concentración de creatinina en sangre según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	43
Cuadro 7: Distribución de frecuencias de concentración de calcio y medias según finca y raza en finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	44
Cuadro 8: Distribución de frecuencias de concentración de fósforo y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022 .....	45
Cuadro 9: Distribución frecuencias de concentración de magnesio y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica,	

### **Capítulo III**

Cuadro 1: Contenido nutricional de forrajes utilizados en sistemas de pastoreo en cuatro fincas comerciales de ganado bovino de doble propósito en la Región Huetar Norte de Costa Rica ..... 65

Cuadro 2: Estimación de perfiles nutricionales para materia seca (MS), proteína cruda (PC), energía neta de lactancia (ENI) y fibra detergente neutro (FDN) y consumos diarios por animal de MS, ENI, PC, calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg) para cuatro fincas comerciales de ganadería doble propósito en la región Huetar Norte de Costa Rica ..... 67

Cuadro 3: Oferta de forraje (kg MS/m<sup>2</sup>) determinado con método del marco en cuatro fincas comerciales de ganado bovino de doble propósito en la Región Huetar Norte de Costa Rica ..... 68

Cuadro 4: Metabolitos analizados en suero sanguíneo de cuatro hatos de doble propósito en producción en la región Huetar Norte de Costa Rica ..... 69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proporción de la varianza explicada acumulada para los primeros 9 componentes principales realizado con 50 variables nutricionales y metabólicas de cuatro hatos de ganado de doble propósito en la región Huetar Norte de Costa Rica .....	71
---	----

## **I CAPÍTULO**

REVISIÓN DE LITERATURA

### **CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GANADERIA BOVINA DE DOBLE PROPÓSITO EN COSTA RICA**

Bryan Aguilera-Saldaña

Luis Alonso Villalobos-Villalobos

#### **RESUMEN**

El presente estudio constituye una revisión de literatura sobre los sistemas de ganadería bovina de doble propósito en Costa Rica. La revisión de la producción de literatura científica consideró 31 publicaciones en idiomas español e inglés, principalmente con antigüedad de diez años entre 2013 y 2023. Los resultados se han dividido en dos partes, en la primera se realiza una definición conceptual de diferentes aspectos relacionados con la ganadería bovina de doble propósito en regiones tropicales. Se abordan aspectos como registro de datos, el aspecto genético, la reproducción y cría, la relación ambiental, y la nutrición. En una segunda parte, se presentan algunas referencias de estudios ejecutados en Costa Rica de forma reciente en los cuales se aborda la ganadería bovina de doble propósito en función de los aspectos generales ya señalados. Se concluye que en Costa Rica la ganadería bovina de doble propósito representa un 20,5% del hato nacional, dichos sistemas se han enfocado en la sostenibilidad ambiental y se utiliza reproducción natural con cruzamiento no controlado y selección genética en menor medida. Los productores expresan especial interés por técnicas de mejoramiento de los sistemas nutricionales, aunque existen deficiencias en la información científica sobre los alimentos más adecuados para los hatos locales. Se hace pertinente el desarrollo de

investigaciones aplicadas al campo de la ganadería bovina de doble propósito, especialmente en el manejo nutricional.

**Palabras clave:** cría de bovinos en Costa Rica, ganadería tropical, reproducción bovina doble propósito, nutrición de bovinos doble propósito, genética de bovinos doble propósito.

## **ABSTRACT**

This study constitutes a literature review on dual-purpose cattle farming systems in Costa Rica. The review of the production of scientific literature considered 31 publications in Spanish and English, ten years old between 2013 and 2023. The results have been divided into two parts, in the first a conceptual definition of distinct aspects related to dual-purpose cattle farming in tropical regions. Aspects such as data recording, the genetic aspect, reproduction and breeding, the environmental relationship, and nutrition are addressed. In a second part, some references to recent studies conducted in Costa Rica are presented, in which dual-purpose cattle farming is addressed based on the general aspects already mentioned. It is concluded that in Costa Rica dual-purpose cattle farming represents 22% of the national herd, these systems have focused on environmental sustainability and natural reproduction is used with uncontrolled crossing and genetic selection to a lesser extent. Producers express special interest in techniques for improving nutritional systems, although there are deficiencies in the scientific information on the most appropriate feeds for local herds. The development of research applied to the field of dual-purpose cattle farming is relevant, especially in nutritional management.

**Keywords:** cattle breeding in Costa Rica, tropical livestock, dual-purpose bovine reproduction, dual-purpose bovine nutrition, dual-purpose bovine genetics.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de ganado bovino doble propósito es uno de los sistemas de ganadería más difundidos en zonas tropicales. Este consiste en la producción lechera en conjunto con animales jóvenes que posteriormente se dedican al beneficio de carne. Suele practicarse de forma extensiva principalmente y en algunos casos de forma intensiva (Galina y Geffroy, 2023). El sistema de granjas o fincas de pequeño o mediano tamaño es la modalidad predominante. Esta modalidad de cría se relaciona más a enfoques naturales poco tecnificados con reducidas aplicaciones técnicas científicas y en la cual predomina el criterio de los productores, los cuales se basan principalmente en conocimientos empíricos y tradiciones ganaderas intergeneracionales (González-Quintero, *et al.* 2020). El presente estudio aborda diferentes aspectos asociados a la ganadería doble propósito a fin de poder construir una definición conceptual amplia abordada de manera integral a las características del sistema.

En Costa Rica, esta modalidad representa un 22% de la producción ganadera de bovinos (CORFOGA, 2018), y tiene presencia en todas las regiones del país especialmente en las regiones de Chorotega y Huetar Norte. Resulta una inquietud importante el manejo de la alimentación en la producción bovina de doble propósito, pues es un factor manejado en términos muy básicos por los productores ante la dificultad de aplicación de otras técnicas para obtener raciones de alta calidad nutricional y buena condición corporal de sus animales. La escasa información sobre la producción de ganado bovino de doble propósito no permite establecer las prioridades de dicho sector. Esta revisión de literatura tiene como objetivo realizar una caracterización de los sistemas de producción bovina de doble propósito en Costa Rica, sirviendo como preámbulo a un conjunto de estudios enfocados en el monitoreo del estado nutricional de vacas de doble propósito por medio de perfiles metabólicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión se llevó a cabo de marzo a junio de 2023. Se consultaron inicialmente investigaciones publicadas en los últimos diez años (2013-2023), sin embargo, ante la reducida publicación sobre la temática, se incluyeron trabajos de relevancia publicados a partir del año 2000. La búsqueda se ejecutó en las bases de datos *Web of Science*, CORE, Worldwidescience, Scielo, Dialnet y Google académico. En idioma español se aplicaron descriptores tales como, “ganadería doble propósito en Costa Rica”, “Sistemas de cría doble propósito en Costa Rica”, “Sistemas cría-lechera Costa Rica”, “Alimentación ganado doble propósito Costa Rica”. En idioma inglés se aplicaron descriptores como: “*dual purpose livestock in Costa Rica*”, “*dual purpose breeding systems in Costa Rica*”, “*milk-breeding systems Costa Rica*”, “*dual purpose livestock feeding Costa Rica*”.

En el proceso de búsqueda de identificaron un total de 31 artículos pertinentes a los fines de la presente revisión. Una vez obtenidos los textos completos de cada investigación se procedió a hacer una revisión de estos la cual se protocolizó mediante una matriz de análisis. En la misma se dispuso una tabla con diferentes apartados de descripción: título del estudio, autores y año, objetivo general, metodologías utilizadas, resultados y conclusiones. Además, se agregó una casilla en la cual se insertó el análisis realizado por el autor, destacando las ideas principales y secundarias, de referencia importante para los fines de la presente revisión.

Obtenida la matriz de análisis, se procedió a construir un texto argumentativo en el cual se desarrollan los conceptos que son de interés del investigador. Se presentó primeramente las ideas generales acerca de la definición de sistemas de producción de doble propósito, sus características fundamentales en países de clima tropical, y por último se desarrolló

una descripción de algunas investigaciones recientes sobre ganado bovino de doble propósito en Costa Rica.

### **Cría de bovinos doble propósito en climas tropicales**

En un estudio reciente de Galina y Geffroy (2023), se abordó el tema de caracterización de los sistemas de producción de doble propósito para bovinos en las regiones tropicales. Los autores desarrollaron una exposición de las principales características que definen a este sistema en regiones con condiciones ambientales relativamente desfavorables, pero condiciones socioeconómicas muy cambiantes. Establecieron como parámetro aquellos sistemas de doble propósito ubicados hasta 1000 msnm. Presentaron descripciones de características de los principales elementos que intervienen en los sistemas de producción de ganado bovino bajo el modelo doble propósito, tales como, registro estadístico, reproducción y cría, elementos ambientales, la selección genética, y los regímenes nutricionales.

Al ser Costa Rica un territorio dentro del régimen climático tropical se ha tomado como referencia de base los aspectos caracterizados en dicho artículo, complementándose con otras investigaciones más focalizadas en la región de forma específica.

### **Registro de datos**

Los sistemas tropicales de producción de ganado de doble propósito suelen ser ineficientes en el registro y control de la información. La naturaleza informal bajo la cual se desarrollan estas actividades ganaderas propicia un descuido de la sistematización de la información, por tanto, predomina la planificación basada en la intuición y la percepción apreciativa de los productores, las cuales se basan en necesidades coyunturales, experiencias pasadas y subjetividades de estos (González-Quintero, *et al.* 2020). La



ineficiencia sistemática de la información favorece la falta de rentabilidad y el bajo rendimiento productivo.

Asimismo, los cuidados veterinarios se enfocan en la curación más no en medidas preventivas. La actitud tradicional es llamar al médico cuando los animales presentan alguna situación de salud que no puede dominar el productor con sus conocimientos empíricos o cuando existen recursos para subsanar los gastos sanitarios (Galina y Geofroy, 2023). En general, priva la crianza natural mediante el uso de toro en monta continua, sin intervención o planificación preventiva, no obstante, sí existe algunos aspectos de la inmunización animal y la sanitización de algunos espacios para prevención de enfermedades; siendo aún ineficientes los registros acerca de las condiciones vitales de los animales y sus factores de riesgo (González-Quintero, *et al.* 2020).

En los casos en los cuales existen registros de datos, estos suelen estar marcados por un sesgo perceptivo, manteniendo únicamente información de animales productivos, dejando de lado los que no ofrecen rentabilidad (Mancera, *et al.* 2018). La información parcializada es incompleta pues no se pueden estimar parámetros globales acerca del comportamiento productivo de los hatos si no se obtienen datos completos y sin intervención de interés.

La capacitación científica y financiera de los productores es un paso para desarrollar prácticas de rentabilidad alta en los sistemas doble propósito. Diversos estudios han demostrado la efectividad de la toma de decisiones financieras basadas en la información científica obtenida del proceso de producción de ganado (Mishra, 2021; Montenegro-Ballester, 2023). Suelen traducirse en mejores condiciones de rentabilidad y beneficio, aquellos procedimientos basados en una evidencia objetiva producto de estudios fundamentados en información de calidad recopilada de forma sistemática (Muñoz, *et al.*

2016). La expansión de las tecnologías de información y comunicación (Tics) representa una oportunidad para la difusión técnica del registro de información bajo mecanismos informatizados, no obstante, se hace necesario un proceso de capacitación y formación de los productores, que en algunos lugares suelen tener niveles ágrafos o de alfabetización muy limitada.

### **La relación ambiental**

En las zonas tropicales los sistemas de doble propósito se enfrentan a condiciones ambientales de humedad y temperaturas altas, exposición a la luz y patologías, que impactan de forma adversa en la cría de ganado.

Los animales bovinos necesitan de la acción conjunta de ajustes conductuales, hormonales, fisiológicos y de orden molecular para la aclimatación. Estudios de Wolfenson, *et al.* (2000) y Shahat, *et al.* (2020) mencionan al Índice de temperatura y humedad (TIH) como el principal indicador de estrés en los animales. Se toma como referencia un TIH mayor a 70 como indicador de estrés por calor leve, pero al sobrepasar los 90 se indica ya un riesgo de estrés grave (Hansen, 2019; Díaz, *et al.* 2020). El nivel de estrés climático en zonas tropicales varía según la raza de ganado, siendo las razas *Bos taurus* menos eficientes que las *Bos indicus*. Estos últimos, suelen manifestar procesos de adaptación más exitosos, desarrollando sistemas de liberación de calor más eficiente por tanto alcanzando mejores condiciones de adaptación climática (Vázquez-Loaiza, 2018). Aunque haya razas que se adaptan mejor que otras, ninguna está exenta del riesgo pues en casos extremos la condición climática influye por igual o ciertas condiciones geográficas que modifican o varían el tipo climático tropical favorecen relativamente a una u otra (Díaz, Galina, Aranda, *et al.*, 2020)

El estrés climático incide principalmente en las capacidades reproductivas de los animales y, es en este punto, en el cual se enfocan muchos estudios (Villanueva, *et al.* 2013; Montenegro-Ballester, 2023). Algunos de estos, han demostrado la relación entre el THI y el retraso de la producción ovárica después del parto (Mishra, 2021). A temperaturas superiores a 27°C hay una reducción de un 30% en la duración del estro, frente a un rendimiento mayor en climas por debajo de dicho rango de calor (Díaz, Galina, Aranda, *et al.*, 2020). En la explicación de dichas condiciones se han encontrado mecanismos de mediación hormonal para influir en los procesos reproductivos en las vacas, pues se relaciona altos niveles de THI asociados con baja producción de estradiol y progesterona favoreciendo una disminución de la capacidad reproductiva, esencialmente reduciendo sus tiempos de manifestación (Mishra, 2021).

Las condiciones estresantes tienen impacto sin importar el sexo del animal. Algunos estudios demuestran que los toros sometidos a condiciones de estrés por calor producen menos esperma, la cual tiene menos motilidad y mayor anormalidad, afectando el proceso reproductivo de forma general (Shahat, *et al.* 2020). El fenómeno del calentamiento global inducido por el hombre se presenta como un agregado a estas condiciones de riesgo ambiental pues se estima que el aumento de la temperatura en el futuro impacte en una producción ganadera de menor calidad y enfrentada a mayores retos para su sustentabilidad en regiones tropicales (Díaz, Galina, Aranda, *et al.*, 2020).

Otro elemento de impacto identificado es la presencia incrementada de enfermedades infecciosas. Las condiciones climáticas húmedas y calurosas de zonas tropicales favorecen la reproducción virus, bacterias, hongos y parásitos que representan un amplio riesgo de enfermedades para los animales (Tiele, *et al.* 2023). Los mayores riesgos de enfermedad se asocian a patógenos internos como *Strongyles*, *Toxocara*, *Trichuris*, *Fasciola*, *Paramphistomum*, *Monezia*, *Dictyocaulus viviparus* y *Eimeria*. No obstante,

la presencia de agentes externos como garrapatas, mosquitos, y otros agentes biológicos que interactúan con el ganado incrementan el riesgo de enfermedades (Tiele et al., 2023).

Entre las principales enfermedades que la literatura reporta que afectan al ganado bovino se encuentran la brucelosis, la clamidiasis, la leptospirosis, la campilobacteriosis, la neosporosis, la diarrea viral bovina, la rinotraqueítis, y enfermedades de afección reproductivas (Navarro-Rojas, 2019). Los procesos de vigilancia, inmunización y control de los hatos bovinos se abocan a la prevención y tratamiento de estas enfermedades (Lara-Bañuelos et al., 2015). Es por ello por lo que la recolección adecuada de registros puede favorecer el monitoreo de las afecciones, así como, la detección de brotes y epidemias.

### **El aspecto genético**

En relación con el factor genético, en los sistemas de producción de doble propósito en regiones tropicales predominan las razas *Bos indicus* y *Bos taurus* de ganado bovino, teniendo niveles de adaptación mayor las razas de origen asiático o de origen mestizo americano, que las razas europeas (Cordero, et al. 2015). En sistemas de reproducción controlada se manifiesta la práctica de cruzamiento entre especímenes para conseguir animales de F1 y en ello encontrar mejores formas de adaptación (Fuentes, et al. 1998). Sin embargo, en la genética tropical ganadera prevalece cierta informalidad ante los procesos de cruzamiento, permitiéndose la práctica de la cruce indiscriminada, entre animales de diverso origen, lo que da como resultado las razas mestizas llamadas en América mestizas o indígenas (Díaz, Galina, Aranda, et al., 2020).

Los resultados genéticos suelen medirse en función del impacto reproductivo en primer orden y en segundo orden en aspectos productivos lecheros o cárnicos (Cordero, *et al.* 2015). La tendencia general demuestra que las razas más puras tienen mejor rendimiento reproductivo y mejor calidad de productos derivados que las razas híbridas (Naranjo-Chacón, *et al.* 2019). Los estudios enfocados en la calidad genética de machos sementales se centran en la comparación entre individuos puros y los mestizos, concluyendo la mayoría de los casos en mayor productividad en las descendencias de machos puros frente a las de mestizos (Galina y Geffroey, 2023).

A pesar de existir la evidencia científica, la informalidad de los modelos de producción de doble propósito y las limitaciones económicas de los productores en zonas tropicales propician el uso de machos sementales híbridos en lugar de machos puros (Granados, 2017). Los toros de raza nativa como el criollo en México suelen ser más económicos y la diversidad genética existente en los rebaños hace que resulten de fácil reemplazo. Los productores se ven obligados de igual forma a emparentarlos con individuos también mestizos al no existir una amplia diversidad de ejemplares (Galina y Geffroey, 2023).

### **Reproducción y cría**

En relación con los procedimientos de reproducción y cría, se identifican modelos con condiciones similares a lo presentado en los otros aspectos de la cadena de producción de ganado de doble propósito, predominando los enfoques basados en conocimientos empíricos de los productores. Diversos estudios señalan que la mayoría de los productores no conocen el origen genético real de sus toros sementales (Chacón, *et al.* 1999; Galina, *et al.* 2007). En las fincas de doble propósito suele utilizarse el modelo de un semental para todas las hembras, el cual es seleccionado fundamentalmente por

criterios apreciativos del productor (Granados, 2017). Este sistema es el más cercano a lo natural, si un macho logra montar y dejar preñadas a muchas vacas, entonces es seleccionado como semental y en ocasiones su categorización trasciende a su generación (Chacó, *et al.* 1999). En algunas fincas se utiliza varios machos como sementales, a los que se les permite la monta sin discriminación de privilegios, pues el objetivo fundamental es el éxito de apareamiento, sin estimar calidad en el proceso de reproducción y más allá una descendencia exitosa (Galina y Geffroey, 2023).

Diversos estudios sugieren que los modelos de monta natural obedecen a factores económicos y tradicionales propios de la cultura de los productores, los cuales se resisten a cambios de vanguardia tecnológica (Molina-Coto, *et al.* 2020, Gutiérrez, 2022). Los productores se enfrentan en muchos casos a la realidad de mantener un sistema que, aunque arroje ciertas medidas de ineficiencia, no deja de ser eficaz, mostrando tasas de preñez cercanas a un 80% en las fincas de doble propósito (Chacón, *et al.* 1999). Los productores se enfocan en un modelo sostenible, antes que un modelo de calidad óptima al cual renuncian no por rechazo, sino por imposibilidad económica. En este punto, la influencia del estado y del mercado nacional hace sentir su impacto en los modelos de producción de finca en las regiones tropicales (Muñoz, *et al.* 2016). El financiamiento rentístico de materias primas o de prestación de servicios, hace que la agroindustria carezca del suficiente apoyo técnico y financiero que manejan las corporaciones con grandes capitales, en los países con menor potencial ganadero (Díaz, Galina, Aranda, *et al.*, 2020).

Existe un reducido número de productores que confían en métodos de vanguardia - reproductiva como inseminación artificial (IA) (González-Quintero, *et al.* 2020), siendo poco común la aceptación de alguna de las escasas ofertas técnicas que existen en el mercado de estos países, o la solicitud a los veterinarios de aplicar algún método de IA.

Desde el punto de vista técnico, en las zonas tropicales existen limitaciones culturales y socioeconómicas que impiden una instauración efectiva de esta técnica como el modelo fundamental para la reproducción. En primer lugar, la falta de oferta y el costo elevado de los procedimientos, hace que la IA esté fuera del alcance para muchos productores (Argudo, et al., 2019). En segundo lugar, la mala ejecución de los procedimientos de obtención de esperma en toros no permite que tengan suficiente éxito. En contraparte existen empresas de alcance mundial que ofrecen productos y servicios de alta calidad al servicio de la IA. La aplicación de la IA en sistemas de producción de doble propósito es un tema incipiente, pero con potencial en la producción ganadera (Galina y Geffroey, 2023).

La detección del celo en las vacas En zonas tropicales tiende a ser difícil por razones climáticas, ambientales y de infraestructura ganadera (Granados, 2017). El clima influye debido a variaciones en temperatura y humedad que generan estrés en el proceso y la manifestación de celo en las vacas bovinas (Hansen, 2019). En los sistemas de producción extensivos no siempre permiten adecuada observación de los animales debido a las grandes extensiones de terreno en las que pastorean, dificultando su seguimiento y control (Chacón, et al. 1999). Las vacas, por ejemplo, suelen ser liberadas a pastoreo luego del ordeño sin realizarse un seguimiento de su comportamiento reproductivo (Díaz, et al. 2020). En regímenes intensivos, los animales suelen estar agrupados en instalaciones mal diseñadas, con humedad y temperatura altas y condiciones higiénicas desfavorables, impidiendo una detección del estro y, por consiguiente, limitando el control farmacológico del mismo (Hansen, 2019). El desconocimiento de los estadios cíclicos de las vacas dificulta una planificación reproductiva (Galina y Geffroey, 2023).

La transferencia de embriones es una técnica que se ha usado en fincas de doble propósito por medio de la obtención del embrión *in vivo* de la donante o la fertilización *in*

*vitro* (Naranjo-Chacón, *et al.* 2019) y que depende de las vacas donantes, las vacas receptoras y los toros donantes de esperma. Las. La maduración, el rendimiento y la fecundación de ovocitos varían en función de la subespecie, raza, edad y las condiciones del ambiente (Hansen, 2019). Para aumentar la tasa de éxito de la transferencia de embriones, algunos estudios han recomendado el cruzamiento entre embriones *Bos taurus* y *Bos indicus* (Naranjo-Chacón, *et al.* 2019), pues se ha detectado menor amenaza de muerte embrionaria en tales casos debido a la menor disponibilidad de nutrientes en la alimentación en las zonas tropicales y subtropicales. La inclusión de terapias hormonales ha demostrado reducir el intervalo parto-concepción en 60 días en manejo de IA a tiempo fijo (Gutiérrez, 2022), e incrementar la tasa de recuperación de ovocitos en procesos de transferencia embrionarias en regiones tropicales (Naranjo-Chacón, *et al.*,2019).

### **La nutrición**

En los modelos de producción de ganado de doble propósito, la nutrición de los animales se basa fundamentalmente en pastizales con la inclusión de algunos suplementos alimenticios (Galina y Geffroy, 2023). Los animales suelen sufrir deficiencias de proteína, energía y minerales, producto de la calidad de los pastos típicos del trópico, teniendo contenidos de proteína y carbohidratos menores, con mayores contenidos de fibra y menor digestibilidad (Peniche-González, 2014).

Las vacas con nutrición deficiente tendrán una condición corporal deficiente y serán más estériles, reduciendo así la cantidad de partos y la calidad de las crías (Uzcátegui-Varela, 2022). Las hembras con una condición corporal menor a 2,5 presentarán tasas 29% menores de ovulación y fecundación respecto a aquellas de condición corporal adecuada 3,5 (López, 2006). La desnutrición crónica de las novillas puede conducir a retrasos de pubertad, poco desarrollo de ubre y en general a presentar anestro (Castillo-Badilla, *et al.* 2019).



La aplicación de suplementación en las fincas de ganado de doble propósito suele aumentar la condición corporal, la salud, capacidad reproductiva y la rentabilidad del proceso de cría (Broom, *et al.* 2013). Existe la tendencia creciente de los productores de ganado de doble propósito a incorporar suplementos alimenticios debido a la oferta mayor en el mercado, estando más al alcance de los productores. Debido al costo relativo menor, la alimentación se considera más factible con respecto a técnicas avanzadas en reproducción (González-Quintero, *et al.* 2020). La relación la alimentación con el aumento en los tiempos de duración del celo y mejor rendimiento reproductivo del ganado ha sido identificada en estudios previos (Uzcátegui-Varela, *et al.*, 2022).

La implementación de sistemas silvopastoriles reporta múltiples beneficios tales como incrementar las áreas aprovechables para alimentación, resultando en un mecanismo más amigable con los suelos (Mancera, *et al.*, 2018). Estos sistemas se basan en heterocultivos, con arbustos, árboles, leguminosas y pastos que se desarrollan en conjunto en la misma área y que pueden aumentar el rendimiento por hectárea (Alonso, 2011). Los sistemas silvopastoriles proporcionan sombra que sirve de refugio para el ganado durante las horas mayor radiación solar y mayor temperatura (Villanueva, *et al.* 2013). al haber menor estrés calórico, los animales tienden a enfermar menos y muestran resultados alimenticios más positivos en sistemas silvopastoriles (Alonso, 2011).

Cuando una parte de un alimento balanceado se reemplazó con forraje dentro de un sistema silvopastoril en Costa Rica, no hubo diferencia en el crecimiento folicular y la fertilidad con vacas que solo pastaban en el pasto (Peniche-González, *et al.*, 2014). Los productores pueden economizar utilizando este sistema y por lo tanto reduciendo las compras externas de suplementos, manteniendo los parámetros productivos y reproductivos.

La suplementación en ganado de doble propósito beneficia tanto la producción como las tasas reproductivas (Uzcátegui-Varela, *et al.* 2022), siendo necesaria mayor investigación sobre la viabilidad económica de dicha práctica en regiones tropicales. Muchos de los pastos utilizados en zonas tropicales tienden a ser deficientes en nutrientes como proteína y energía, limitando así el proceso de nutrición del ganado bovino. Los modelos de finca de doble propósito han implementado estrategias tradicionales de suplementación alimenticia como los silvopastoriles, obteniendo resultados similares a la suplementación (Mancera, *et al.* 2018).

## **La situación del ganado de doble propósito en Costa Rica**

### **Ganadería Costarricense en datos**

De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria publicada en 2021, la estructura del hato ganadero en el país fue de 1 621 727 animales. De ese total, 63,2 % corresponde a ganado de carne, 16,1 % a ganado de leche, 20,5 % a doble propósito y 0,2 % a los animales destinados exclusivamente a trabajo como la preparación del terreno, entre otras labores (INEC, 2021).

El ganado de doble propósito representa un total de 351 016 animales; donde destaca que la mayor parte de estos son de 2 años y más (48,9 %), predominando las hembras de 2 años y más (58,1 %) y 50,5 % de los nacimientos de ganado de doble propósito son machos (CORFOGA, 2018). El 66,9 % de las fincas de ganado de doble propósito tienen como principal destino la venta al mercado” (CORFOGA, 2018). El 95,0 % de las fincas de ganado de doble propósito tienen como principal sistema de producción el pastoreo con pastos mejorados y natural el 94,0 % no utilizan algún sistema de tratamiento de residuos. Dentro de las fincas de ganado doble propósito manejando sus residuos, el 85,8 % tienen como principal sistema el abono o compost.

La producción ganadera costarricense se ubica en todas las regiones del país (Brunca, Central; Chorotega; Huetar Atlántica; Huetar Norte y Pacífico Central), estando más del 54% de la producción en las regiones Huetar Norte y Chorotega (CORFOGA, 2018).

### **La producción científica**

En el proceso de revisión de literatura científica en el campo específico de los modelos de producción de ganado de doble propósito muestra escasez de investigaciones relacionadas a este campo. No obstante, se han encontrado algunos estudios que arrojan datos e información clave para comprender la realidad de los modelos de cría de doble propósito en el América Latina (González-Quinteros, *et al.* 2020). Muchos de estos estudios pertenecen a investigadores independientes, otros asociados a universidades o instituciones abocadas al fomento de la producción ganadera. Las temáticas abordadas se enfocan principalmente en sistemas de reproducción, salud animal, rentabilidad de la producción, alimentación, condiciones ambientales. Prevalcen los estudios de corte experimental zootécnico (Lara-Buñuelos, *et al.* 2015), pero también sobresalen otros con perspectivas económicas (Galina y Geffroy, 2023), de enfoque ambiental (González-Quintero, *et al.* 2020; Uzcátegui-Varela, *et al.* 2022; Montenegro-Ballesteros, 2023) o estudios multidisciplinarios (Peniche-González, 2014). En los siguientes párrafos se describen algunos de los estudios más relevantes relacionados con la producción de ganado de doble propósito.

La reproducción en sistemas de ganado de doble propósito en Costa Rica fue abordada por Granados-Gómez (2017) quien expuso los resultados de un amplio trabajo sobre el manejo de la reproducción en la región de Huetar del Norte. Dicho autor se enfocó en el análisis de la situación reproductiva del hato en los tres principales sistemas de reproducción encontrando mayores deficiencias en el sistema de doble propósito. Entre sus conclusiones, resalta la relación entre la condición corporal y la capacidad

reproductiva de los hatos. Entre los factores que determinan el éxito reproductivo se constató que los pastos mejorados representaron el elemento más determinante para la mejora reproductiva en la región. Por tanto, se realizó un proceso de formación técnica a los productores y trabajadores de las 9 fincas abordadas en el proceso del estudio.

De igual forma, WingChing-Jones (2017) publicó un estudio que se enfocó en los índices productivos y reproductivos de las fincas de ganado bovino de carne en la zona sur de Costa Rica. El estudio analizó los índices de producción y reproducción de 23 fincas ubicadas en la zona sur del país. Los parámetros evaluados incluyeron el peso al nacimiento, peso al destete, edad al primer parto, intervalo entre partos y días abiertos. Los resultados de este autor muestran la variabilidad en los índices productivos y reproductivos de las fincas y destacan la importancia de mejorar la gestión y la genética en la cría de ganado bovino de carne.

Más recientemente Molina-Coto, et al. (2020) publicaron un informe de resultados basado en un estudio longitudinal de aplicación de transferencia de embriones, mediante la técnica de multiovulación (MOET), entre 2012 y 2017, en la Unidad de Reproducción Animal (URA), de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica. El experimento tenía como objetivo evaluar la factibilidad de la aplicación de la técnica en el mercado reproductivo bovino costarricense. Como resultados se obtuvo una baja tasa de preñez (33%), lo que implicó poca factibilidad de aplicación de la técnica en el contexto nacional, sin embargo, se destacó el carácter de contraste con respecto a la literatura y, por tanto, se recomiendan estudios más profundos para analizar la eficacia de la terapia en otros contextos.

En otro estudio, Gutiérrez (2022) evaluó el manejo de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) como método de reproducción para el mejoramiento genético en una finca en Caño Negro, Los Chiles, Costa Rica. El estudio describe el protocolo utilizado para la IATF

y estimó los resultados reproductivos en términos de tasa de concepción y tasa de preñez. estudio de Gutiérrez (2022) se realizó en una finca de ganado de doble propósito con un área total de 18 hectáreas y en la que se desarrolla la actividad en mención es un espacio de siete hectáreas y un total de 27 animales (bovinos, ovinos, equinos. Los resultados muestran que la IATF es una técnica efectiva para mejorar la reproducción y el mejoramiento genético en la ganadería bovina de doble propósito a través de un menor intervalo parto-concepción, reduciendo el intervalo entre partos a 380 días.

Según Castillo-Badilla et al. (2019), variables como la edad al primer parto, el peso al primer parto y la duración de la lactancia son factores que afectan la producción en la primera lactancia de vacas lecheras en Costa Rica. En dicho estudio se incluyó un total de 2747 vacas Jersey y Holstein, con edad al primer parto (EPP) entre los años 2013 y 2015, pertenecientes a veintidós hatos lecheros especializados ubicados en diferentes zonas ecológicas de Costa Rica. se utilizó datos del programa VAMPP Bovino y se encontró que las variables no modificables, como la raza, tuvieron efectos significativos sobre la producción en primera lactancia (PPL) con 5360,1 kg (IC95%: 5158,2-5562,1) y 4694,1 (IC95%: 4578,5-4809,7;  $P < 0,001$ ) para las razas Holstein y Jersey, respectivamente. Estos investigadores encontraron que un efecto significativo ( $P < 0,0001$ ) del manejo (variable modificable), lo cual indica que las fincas con protocolos de crianza de terneros de alta calidad produjeron 213,9 kg (PPL 5809,0; IC95%: 5570,6-6047,7) más leche en su primera lactancia que las vaquillonas criadas bajo calidad media y 1133,7 kg más leche que los animales de programas de crianza de baja calidad (PPL 4 676,3; IC95%: 4158,3-5194,3). El mismo estudio concluye que, condiciones ambientales tropicales de altas incluyendo temperaturas, humedad y precipitación, afectan significativamente el comportamiento productivo de las vacas lecheras en sistemas de doble propósito.

Cordero, Chacón y León (2015), cuantificaron la diversidad genética entre 16 subpoblaciones raciales bovinas de Costa Rica, con base en 1412 muestras de ADN bovino de todo el país, evaluadas mediante 18 marcadores microsatélites. Los dendrogramas mostraron 3 agrupaciones raciales claramente diferenciadas que coinciden con las razas de origen *Bos taurus*, *Bos indicus* y sus respectivos cruces. Los resultados del análisis indicaron que el número de microsatélites empleados sí permitió establecer una discriminación clara a nivel de las frecuencias alélicas y en la distribución del tamaño de los alelos entre las subpoblaciones de distintas especies y aún entre razas puras. Este trabajo representa un aporte de referencia para comprender la distribución de las razas en los distintos sistemas de cría en Costa Rica. Según este estudio, la prevalencia mayor de especies producto de cruce se centra en el sistema de doble propósito, aunque este representa la menor proporción en la cría de bovinos en el contexto costarricense.

Bajo el enfoque de relación ambiental, Montenegro–Ballesteros (2023) determinó la contribución de emisiones de metano a la atmósfera por parte de la producción de ganadería de bovinos de Costa Rica. Los resultados muestran que la población bovina nacional alcanzó su máximo a finales de la década de 1980; el comportamiento de la emisión de metano muestra la misma tendencia, variando según sistema de producción. El cambio del metano atmosférico como resultado del aporte del hato bovino nacional mostró ser incremental desde 1940 y hasta 1990, disminuyendo posteriormente, para mantenerse estable a partir del 2000. Se concluyó que en los últimos 30 años la ganadería bovina costarricense no ha contribuido al incremento atmosférico de este gas tanto por el poco crecimiento del hato como por las prácticas sostenibles que ha tenido la transformación de los métodos de cría nacional en las últimas tres décadas. El estudio logró establecer una relación entre la emisión de metano a la atmósfera y la producción animal, en este caso se demuestra el éxito que tiene en las regiones ganaderas el

impulso de modelos de cría pastoriles o bien más amigables con el medio ambiente, en los cuales el sistema de doble propósito tiene un rol fundamental. Aunque no representa aun la mayoría en porcentaje de la producción nacional, los otros subsistemas lechero y cárnico, han adoptado algunos elementos de la producción doble propósito para sus propios contextos como la diversificación de la producción de crías.

Un estudio cuyo enfoque fue ambiental es el publicado por Villanueva *et al.*, (2013) donde se enfatizó en un análisis entre la relación de árboles en potreros con los sistemas de producción ganadera. El estudio se ejecutó en la región de Esparza, Puntarenas, perteneciente a la región del Pacífico Central de Costa Rica. De los potreros analizados se identificaron 34% para el sistema de doble propósito. Entre las conclusiones del estudio se destacó que, en potreros activos de fincas ganaderas, la mayoría de los árboles pertenecen a un número reducido de especies. Estas especies son mantenidas gracias a atributos como su rusticidad ante el manejo de las pasturas, alta producción y fácil dispersión de semillas, obtención de productos como madera de aserrío, postes, sombra y forraje para el ganado, principalmente en la época seca. La cobertura arbórea representa un elemento de asociación ambiental para el ganado al constituir fuente de sombra para los días más soleados y cálidos, lo que ha demostrado un efecto en mayor productividad y confort para el ganado. Se encontró una influencia mayor de los árboles en potrero en las fincas multipropósito en las cuales se hallaron mayor cantidad de ejemplares y mejor apreciación de estos. Los autores manifiestan que se deben emplear estudios más amplios para identificar las asociaciones entre los árboles en potrero y la producción de ganado bovino, así como, estimular el proceso de siembra y cuidado de especies forestales que propicien el enriquecimiento de los suelos de pastizal.

## CONSIDERACIONES FINALES

El estudio sobre los sistemas de producción de ganado doble propósito se enfocan principalmente en las realidades de países de las regiones tropicales, donde este tipo de sistema tiene mayor presencia producto de condiciones socioambientales específicas. Los aspectos más estudiados en torno a la temática relacionan variables como reproducción, sistema de cría, alimentación e impacto ambiental dentro de las condiciones de producción de doble propósito. En Costa Rica, este sector representa un 22% del hato bovino nacional, siendo el tercer lugar del rubro general de ganadería. En el hato costarricense se han implementado sistemas silvopastoriles enfocados en la sostenibilidad ambiental, se aplican métodos de reproducción con monta natural, aunque existen ensayos de aplicación de inseminación artificial. Uno de los aspectos de manejo de mayor relevancia en la producción de doble propósito en Costa Rica se centra en esfuerzos por complementar la alimentación en base a pasturas con suplementos alimenticios que permitan potencial los rendimientos productivos. Buena parte de los estudios escasos estudios especializados en este sistema de cría, se centran en estrategias de alimentación y el impacto reproductivo que estas generan en el hato doble propósito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115.

Argudo, D. E., Galarza, D. A., Bueno, P., Iñiguez, C. U., Méndez, S., Soria, M. E., ... & Alberio, R. H. (2019). Methods of collection, extender type, and freezability of semen collected from creole bulls raised in the tropical highlands of Ecuador. *Tropical animal health and production*, 51, 1839-1845.



Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1771), 20132025.

Castillo-Badilla, G., Leitón, B. V., Hueckmann-Voss, F., & Romero, J. J. (2019). Factores que afectan la producción en primera lactancia de vacas lecheras de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 209-227.

Chacón, J., Perez, E., Müller, E., Söderquist, L., & Rodriguez-Martinez, H. (1999). Breeding soundness evaluation of extensively managed bulls in Costa Rica. *Theriogenology*, 52(2), 221-231.

Cordero, J., Chacón, I., León, B. (2015). Diversidad Genética Entre Subpoblaciones Raciales Bovinas De Costa Rica. RAC. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i2.21772>

Díaz, R. F., Galina, C. S., Aranda, E. M., Aceves, L. A., Sánchez, J. G., & Pablos, J. L. (2020). Effect of temperature–humidity index on the onset of post-partum ovarian activity and reproductive behavior in *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction*, 17.

Fuentes, J. R. B., Gutiérrez, E. P., & Hidalgo, C. S. G. (1998). Reproductive performance of *Bos taurus* X *Bos indicus* heifers following artificial insemination after spontaneous estrus in the dry tropics of Costa Rica. *Veterinaria México*, 29(1), 57-66.

Galina, C. S., & Geffroy, M. (2023). Dual-Purpose Cattle Raised in Tropical Conditions: What Are Their Shortcomings in Sound Productive and Reproductive Function. *Animals*, 13(13), 2224.

Galina, C. S., & Geffroy, M. (2023). Dual-Purpose Cattle Raised in Tropical Conditions: What Are Their Shortcomings in Sound Productive and Reproductive Function. *Animals*, 13(13), 2224

Galina, C.; Arthur, G. Review of cattle reproduction in the tropics. Part 1. Puberty and age at first calving. *Anim. Breed. Abstr.* 1989, 57, 583–590

Galina, C.S.; Horn, M.M.; Molina, R. Reproductive behaviour in bulls raised under tropical and subtropical conditions. *Horm. Behav.* 2007, 52, 26–31

González-Quintero, R., Barahona-Rosales, R., Bolívar-Vergara, D. M., Chirinda, N., Arango, J., Pantévez, H. A., ... & Sánchez-Pinzón, M. S. (2020). Technical and environmental characterization of dual-purpose cattle farms and ways of improving production: A case study in Colombia. *Pastoralism*, 10, 1-14.

Granados Gómez, L. (2017). Manejo reproductivo del ganado bovino en los diferentes sistemas de producción de la región Huetar Norte y Chorotega de Costa Rica.

Hansen, P. J. (2019). Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. *Animal Reproduction*, 16, 497-507.

Lara-Bañuelos, TY; Díaz, E.; Amaro Estrada, I.; Arellano, B.; Garibay, R.; Armendáriz, J.; Núñez, L.; Gutiérrez, L.; Badillo, E.; Ibáñez, A.; et al. (2015). Salud Animal en Bovinos del Trópico Mexicano; Redgatro Conacyt: Ciudad de México, México, 2015; págs. 193–229.

López, F. 2006. Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol.4(1): 77 – 86.

Mancera, K. F., Zarza, H., de Buen, L. L., García, A. A. C., Palacios, F. M., & Galindo, F. (2018). Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 1-9.

Mishra, S. R. (2021). Behavioural, physiological, neuro-endocrine and molecular responses of cattle against heat stress: an updated review. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3), 400.

Molina-Coto, R., Herrera-Muñoz, J. I., Arroyo-Oquendo, C., & Carballo-Guerrero, D. (2020). Experiencias en el uso de la transferencia de embriones para crear un hato Girolando en Pococí, Costa Rica. *Nutrición animal tropical*, 14(2), 187-208.

Montenegro Ballesteros, J. (2023). ¿Contribuye la ganadería bovina de Costa Rica al incremento del metano atmosférico y al calentamiento global?. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1).

Muñoz, J. I. H., Carmona, E. S., & Arias, G. Z. (2016). Análisis de factores determinantes del precio en la cadena de valor de la carne bovina en Costa Rica. *Nutrición animal tropical*, 10(2), 1-19.

Naranjo-Chacón, F., Montiel-Palacios, F., Canseco-Sedano, R., & Ahuja-Aguirre, C. (2019). Embryo production in middle-aged and mature Bos taurus x Bos indicus cows induced to multiple ovulation in a tropical environment. *Tropical animal health and production*, 51, 2641-2644.

Navarro Rojas, L. (2019). Caracterización de sistemas de producción bovina y su asociación con la prevalencia de enfermedades venéreas primarias en machos reproductores de la Zona Huetar Norte y Pacífico Norte de Costa Rica.

Peniche-González, I. N., González-López, Z. U., Aguilar-Pérez, C. F., Ku-Vera, J. C., Ayala-Burgos, A. J., & Solorio-Sánchez, F. J. (2014). Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research*, 42(3), 345-351.

Gutiérrez, O. M. (2022). Manejo De La latf Como Principal Método De Reproducción Para El Mejoramiento Genético En Finca Oasis, Caño Negro, Los Chiles. *RB*, 2(33), 67-77. <https://doi.org/10.22458/rb.v33i2.4547>

Shahat, A. M., Rizzoto, G., & Kastelic, J. P. (2020). Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. *Theriogenology*, *158*, 84-96.

Tiele, D.; Sebro, E.; Meskel, DH; Mathewos, M. (2023). Epidemiología de los parásitos gastrointestinales del ganado en y alrededor de la ciudad de Hosanna, sur de Etiopía. *Veterinario. Medicina*. 2023, *14*, 1–9. [Referencia cruzada]

Uzcátegui-Varela, J. P., Chompre, K., Castillo, D., Rangel, S., Briceño-Rangel, A., & Piña, A. (2022). Nutritional assessment of tropical pastures as a sustainability strategy in dual-purpose cattle ranching in the South of Lake Maracaibo, Venezuela. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *21*(7), 432-439.

Vásquez Loaiza, M. T. (2018). Actualización y análisis de datos de las razas Bos indicus con certificado de registro genealógico en Costa Rica.

Villanueva, C., Tobar López, D., Ibrahim, M. A., Casasola Coto, F., Barrantes, J., & Arguedas, R. (2013). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas, número 45 (2007)*.

Villanueva, C., Tobar López, D., Ibrahim, M. A., Casasola Coto, F., Barrantes, J., & Arguedas, R. (2013). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas, número 45 (2007)*.

WingChing-Jones, R. (2017). Índices productivos y reproductivos de fincas de cría de ganado bovino de carne en la zona Sur de Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, *9*(2), 247-256.

Wolfenson, D., Roth, Z., & Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Animal reproduction science*, *60*, 535-547.

## II CAPÍTULO

### PERFILES METABÓLICOS DE GANADO DOBLE PROPÓSITO EN PRODUCCIÓN MEDIDO EN CUATRO FINCAS COMERCIALES DE LA REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA.

Bryan Aguilera-Saldaña

Luis Alonso Villalobos-Villalobos

#### RESUMEN

Los perfiles metabólicos son indicadores sanguíneos ampliamente usados en ganado lechero, sin embargo, existe poca información sobre su aplicabilidad en ganado bovino de doble propósito. En el presente estudio se planteó obtener perfiles metabólicos de bovinos en producción de doble propósito. Se analizaron muestras de sangre de vacas lactantes en 4 fincas de la región Huetar Norte en Costa Rica, durante el período 2021-2022. Se estructuró un diseño factorial 4x2, con los factores finca de origen de los datos y caracterización racial, con días en lactancia como covariable para un total de 26 animales como unidades experimentales. Los resultados obtenidos de media poblacional en concentración sérica (desviación estándar) y proporción de niveles normales (PNN) dentro del rango de referencia en vacas lecheras para cada metabolito fueron: glucosa 45,29 (10,83) mg/dl, PNN=0,56; cetonas 0,85 (0,79) mmol/l, PNN=0,84; nitrógeno ureico 8,00 (4,07) mg/dl, PNN=0,06; creatinina 0,97 (0,17) mg/dl, PNN=0,14; calcio 8,36 mg/dl (0,62) mg/dl, PNN=0,10; fósforo 5,66 mg/dl (1,19) mg/dl, PNN=0,09; magnesio 2,97 (1,22) mg/dl, PNN=0,35. Las medias (DE) encontradas para enzimas hepáticas fueron fosfatasa alcalina en suero (SAP) 110,52 (59,08) U/l; aspartato amino transferasa (AST) 80,81 (11,58) U/l; gamma glutamil transferasa (GGT) 17,10 (5,40) U/l. Los principales metabolitos que mostraron una variabilidad significativa de acuerdo con el modelo experimental fueron: las cetonas ( $p < 0,0001$ ), nitrógeno ureico ( $p < 0,0001$ ), fósforo ( $p < 0,0001$ ), relación calcio fósforo ( $p = 0,001$ ), magnesio ( $p < 0,0001$ ) y SAP ( $p = 0,009$ ). Por tanto, deben ser considerados como prioritarios para evaluar la condición metabólica de bovinos en sistemas de doble propósito bajo los esquemas presentados en este estudio.

**Palabras clave:** perfil metabólico, bovinos doble propósito, nutrición de bovinos, caracterización racial, sistemas de producción tropical, cebú, cruzamiento.

## ABSTRACT

Metabolic profiles are widely used blood indicators in dairy cattle, however little information exists on their applicability in dual purpose cattle. In the present study, it was proposed to obtain metabolic profiles of bovines in dual-purpose production. Blood samples from lactating cows were analyzed on four farms in the Huetar Norte region of Costa Rica, during the period 2021-2022. A 4x2 factorial design was structured, with the farm factors of data origin and breed characterization, with days in lactation as a covariate for a total of twenty-six animals as experimental units. The results obtained from the population mean in serum concentration (standard deviation) and proportion of normal levels (pnl) within the reference range in dairy cows for each metabolite were: glucose 45.29 (10.83) mg/dl, pnl=0.56; ketones 0.85 (0.79) mmol/l, pnl=0.84; urea nitrogen 8.00 (4.07) mg/dl, pnl=0.06; creatinine 0.97 (0.17) mg/dl, pnl=0.14; calcium 8.36 mg/dl (0.62) mg/dl, pnl=0.10; 5.66 mg/d phosphorus (1.19) mg/dl, pnl=0.09; magnesium 2.97 (1.22) mg/dl, pnl=0.35. The means (SD) found for liver enzymes were serum alkaline phosphatase (SAP) 110.52 (59.08) U/l; aspartate amino transferase (AST) 80.81 (11.58) U/l; gamma glutamyl transferase (GGT) 17.10 (5.40) U/l. The main metabolites that showed significant variability according to the experimental model were ketones ( $p < 0.0001$ ), urea nitrogen ( $p < 0.0001$ ), phosphorus ( $p < 0.0001$ ), calcium phosphorus ratio ( $p = 0.001$ ), magnesium ( $p < 0.0001$ ) and SAP ( $p = 0.009$ ). Therefore, they should be considered as a priority to evaluate the metabolic condition of cattle in dual-purpose systems under the schemes presented in this study.

**Keywords:** metabolic profile, dual purpose cattle, cattle nutrition, racial characterization, tropical production systems, zebu, crossbreeding.

## INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en el campo de nutrición de rumiantes evidencian que ciertos indicadores sanguíneos, conocidos como perfiles metabólicos, sirven como herramienta para conocer el estado nutricional de un animal, y a partir de esta información realizar el análisis de los sistemas de alimentación en las explotaciones bovinas (Hernández *et al.* 2016).

Los rumiantes difieren de los monogástricos en la digestión de compuestos fibrosos, pues su metabolismo tiene rutas metabólicas distintas para suplir las demandas energéticas,

proteicas y minerales (Rinehart, 2008; Prieto-Manrique, *et al.* 2016). Las variaciones en la composición nutricional de pastos, subproductos y alimentos; así como las fluctuaciones en el consumo de materia seca diario (Davies, 2015), incrementan la complejidad de la predicción antes mencionada.

Los perfiles metabólicos son indicadores que permiten conocer el estatus del animal ante el manejo nutricional usado, disminuyendo la incertidumbre de factores como el consumo de materia seca y la variación en la composición nutricional de los alimentos (Hammond y Chase, 1997). Mediante los metabolitos presentes en el fluido sanguíneo (glucosa, cuerpos cetónicos [ $\beta$ -hidroxibutirato], colesterol, triglicéridos, urea, cortisol, calcio, fósforo, magnesio y enzimas hepáticas, entre otros) se logra diagnosticar la respuesta animal posterior a la digestión, absorción y metabolización de nutrientes (Bart, *et al.* 2011; Quinteros, *et al.* 2017), así como inferir posibles causas para abordar el manejo nutricional.

Los niveles críticos de diversos metabolitos (cuadro 1) han sido definidos por medio de evidencia científica (Van Saun, 2005; Van Saun, 2006), y reafirmados por diversos estudios (Hammond, 1998; Nozad, *et al.* 2012; Ohmer y Mohamed, 2012; Roche, 2012; Goselink, *et al.* 2015; Wynn, *et al.* 2015; Mair, *et al.* 2016; Zelal, 2017) en el campo de la producción bovinos. Cuando tales indicadores no se cumplen, se producen repercusiones en las condiciones reproductivas, de salud y de aporte productivo de los animales. Por consiguiente, las condiciones metabólicas del hato predicen la productividad y rentabilidad de los sistemas ganaderos (Madreseh, *et al.* 2018).

El desarrollo de perfiles metabólicos para ganadería bovina de doble propósito brindaría un aporte técnico principalmente a sistemas tropicales, donde existe un factor ambiental, genético y nutricional distinto al contexto de producción de lechería con razas especializadas (González-Quintero, *et al.* 2020). Debido a la alta correlación existente entre los metabolitos sanguíneos y la condición nutricional de los rumiantes (Van Saun, *et al.* 2005), su uso contribuiría con el diagnóstico y evaluación de la respuesta animal a ajustes en las dietas. Esto último permitiría, en una muestra sanguínea, sintetizar información que normalmente se debe modelar por medio de simulaciones nutricionales y análisis de laboratorio que no son de uso común bajo la realidad de los sistemas de producción de doble propósito.

## Principales metabolitos analizados

Uno de los principales problemas que afrontan las vacas productoras de leche y de doble propósito en el trópico es el bajo consumo de materia seca como resultado del estrés calórico (Mejía, *et al.* 2017), que origina a su vez distintos problemas metabólicos que impactan directamente sobre la productividad de las explotaciones (Puppel y Kuczynska, 2016).

La prevención de enfermedades o desórdenes metabólicos en la ganadería puede disminuir los costos asociados al tratamiento, así como las pérdidas crónicas de estados sub nutricionales enmascarados que afectan el rendimiento animal (Saborío y Sánchez, 2016; Mera, *et al.* 2017). El diagnóstico fiable del estado nutricional es de gran impacto sobre la toma de decisiones (Penn State University, 2013).

El término perfil metabólico fue propuesto para referirse al análisis de parámetros sanguíneos en vacas lecheras, siendo pruebas sencillas cuyo costo es menor respecto a análisis de laboratorio de mayor duración, justificando así el beneficio obtenido a través del diagnóstico oportuno (Gómez *et al.*, 2013).

Madreseh *et al.* (2018) describen la prueba de perfiles metabólicos sanguíneos como la medición de la concentración de algunos metabolitos dentro del suero precipitado de una muestra de sangre o de la sangre completa. A partir de dicha medición se puede establecer relaciones entre la concentración y el metabolismo asociado a dicho indicador o parámetro, por lo que pueden servir como una herramienta del estado nutricional del animal.

Es posible definir categorías para cada parámetro de importancia sobre la salud de las especies animales de interés zootécnico. La medición del perfil metabólico en sangre refleja el aporte de la dieta total, y permite a la vez analizar la eficiencia digestiva y metabólica que obtiene el animal respecto a su ración (Lammoglia-Villagómez, *et al.* 2022). Los análisis bromatológicos de forrajes y suplementos muestran el aporte potencial de nutrientes (Solís, *et al.* 2022), sin embargo, indicadores como el consumo de materia seca y consumo real de nutrientes requieren de condiciones controladas para lograr una adecuada estimación (Méndez, 2020). Por medio de perfiles metabólicos sanguíneos se puede brindar una herramienta de respaldo en la toma de decisiones para los técnicos y nutricionistas en las fincas (Ohmer y Mohamed, 2012).



Algunas de las enfermedades subclínicas comunes en hatos lecheros son la cetosis, hipocalcemia, hipomagnesemia, mastitis, quistes ováricos, desplazamiento de abomaso, acidosis ruminal, hígado graso, entre otros trastornos (Roche, 2012). Los perfiles metabólicos han mostrado ser un método de diagnóstico simple, confiable, rentable y eficiente para dichas condiciones (García et al., 2017). Según Quinteros et al. (2017) y Hernández et al. (2016), a pesar de que la prueba de perfiles metabólicos sanguíneos está ampliamente descrita para ganado lechero especializado, es preciso desarrollar más investigaciones que permitan identificar parámetros de referencia y comparación para ganado bovino de doble propósito, o vacas productoras de leche con cruces para producir en condiciones tropicales.

Dentro de los metabolitos que se reportan como indicadores del estado nutricional y fisiológico del animal se encuentran: glucosa, ácidos grasos no esterificados (NEFA),  $\beta$ -hidroxibutirato ( $\beta$ -HBA), urea, colesterol, triglicéridos, albumina, creatinina, hemoglobina, proteínas totales, enzima aspartato aminotransferasa (AST), enzima alanina aminotransferasa (ALT), calcio, fósforo, magnesio, cloro, potasio, hormona estimuladora de tiroides (TSH), triyodotironina (T3), Tiroxina (T4) y Cortisol (Ohmer y Mohamed, 2012; Quinteros et al., 2017; Madreseh et al., 2018).

La medida de expresión de los metabolitos que se valoran en el suero sanguíneo se reporta en distintas formas de masa (mg,  $\mu$ g, ng, pg, g, mmol) por unidad de volumen (ml, dl, l), por lo que es preciso contar con una medida estándar cuando se usan como indicadores del estado nutricional, para lo cual se han definido factores de conversión (Penn State University, 2013).

El interés zootécnico del análisis sanguíneo de perfil metabólico toma relevancia cuando se estudia un porcentaje de la población, por lo que el objetivo de producción definiría la cantidad de animales y la forma en que se agrupan (Penn State University, 2013).

Existen métodos confiables y precisos para la determinación de algunos metabolitos con kits comerciales, como por ejemplo para glucosa y ácidos grasos no esterificados, cuya aplicación para fines de investigación y de diagnóstico en fincas comerciales se ha demostrado ampliamente (Cuadro 1; García et al., 2017; Hernández et al., 2016).

**Cuadro 1.** Datos reportados como valores de referencia por la literatura para los metabolitos empleados en un perfil metabólico, para determinar el estado nutricional en ganado lechero especializado.

Metabolito	Valores reportados	Observaciones	Fuente
Glucosa	<40 mg/dl	Hipoglicemia bovina	Mair <i>et al.</i> , (2016)
	40 -60 mg/dl	Normoglicemia bovina	
	>60 mg/dl	Hiperglicemia bovina	
$\beta$ – Hidroxiacetato	<1,2 mmol/l	Normalidad Cetosis subclínica Cetosis clínica	Roche (2012)
	1,2 – 2,0		
	mmol/l		
	>2,0 mmol/l		
Nitrógeno ureico en sangre (BUN, por sus siglas en inglés)	<15 mg/dl	Deficiencias de PDR <sup>1</sup> respecto a FEF <sup>2</sup> Balance entre PDR <sup>1</sup> y FEF <sup>2</sup> Exceso de PDR <sup>1</sup> respecto a FEF <sup>2</sup>	Hammond (1998)
	15 - 19 mg/dl		
	>19 mg/dl		
Creatinina	0,75 – 0,86 mg/dl	Intervalo general reportado	Nozad <i>et al.</i> , (2012)
		para vacas lecheras de diferentes niveles de producción	
Proteína total	9,90 -10,40 mg/dl	Intervalo general reportado	Nozad <i>et al.</i> , (2012)
		para vacas lecheras de diferentes niveles de producción	
Aspartato aminotransferasa (AST)	21,10-28,40 U/l	Intervalo reportado para ganado lechero	Ohmer y Mohamed, (2012)
Alanina aminotransferasa (ALT)	10,25-14,46 U/l	Intervalo reportado para ganado lechero	Ohmer y Mohamed, (2012)
Calcio (mg/dl)	<8 mg/dl	Hipocalcemia	Wynn <i>et al.</i> , (2015)
	8- 12 mg/dl	Normocalcemia	
	>12 mg/dl	Hipercalcemia	
Fósforo (mg/dl)	<4,34 mg/dl	Hipofosfatemia	Goselink <i>et al.</i> , (2015)
	4,34 – 8,05	Normofosfatemia	
	mg/dl	Hiperfosfatemia	

	>8,05 mg/dl		
Magnesio (mg/dl)	<1,7 mg/dl	Hipomagnesemia	Zelal, (2017)
	1,7 – 3,0 mg/dl	Normomagnesemia	
	>3,0 mg/dl	Hipermagnesemia	

<sup>1</sup> proteína degradable en rumen, <sup>2</sup> fuentes de energía fermentable.

La glucosa ha sido estudiada por Lammoglia-Villagómez, et al. (2022) como valor de referencia en la incidencia de cetosis en vacas de doble propósito. De Souza, et al. (2019) citado por Avilés-Ruiz, et al. (2022) suplementaron 52 vacas lecheras de raza Holstein con ácido palmítico (1,5% de la materia seca de la dieta) durante las tres semanas posteriores al parto, observando incremento en la concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFA por sus siglas en inglés) durante la primera semana después del parto comparado con el grupo control (0,65 contra 0,59 mmol/l de NEFA, P= 0,03), sin embargo el valor de glucosa sanguínea no mostró cambios significativos (P= 0,18), estos autores atribuyen esta respuesta a la cetogénesis que tiene lugar en las mitocondrias, proceso que ocurre cuando los ácidos grasos se transforman en NEFA, ante baja disponibilidad de glucosa (Robinson y Williamson, 1980).

El metabolismo del calcio se ha estudiado extensamente en ganado lechero, debido a las pérdidas económicas que representa la deficiencia de este mineral durante el puerperio. Algunos autores como Muiño *et al.* (2018) reportan el valor de 8,5 mg/dl como umbral para la determinación de hipocalcemia subclínica, Wynn *et al.* (2015) emplean el valor de 9 mg/dl, y estudios en nuestro país han señalado 8 mg/dl como nivel mínimo de normocalcemia (Sánchez y Saborío, 2014).

Por su parte, Zelal, *et al.* (2017) proponen el intervalo entre 1,8 y 2,4 mg/dl de magnesio en suero sanguíneo como normomagnesemia, marcando la hipo e hipermagnesemia cuando se determinan niveles bajo o por encima de ese rango, respectivamente. Sánchez y Saborío-Montero (2014) detallan la relación que existe entre los trastornos asociados a la deficiencia de magnesio, con la incidencia de hipocalcemia en vacas lecheras especializadas de raza Holstein, Jersey y Guernsey.

Áviles-Ruiz, *et al.* (2022) proponen dentro de una revisión de literatura sobre factores que afectan el reinicio de la ciclicidad en vacas de doble propósito, describen la importancia de una buena suplementación con macrominerales (calcio, fósforo y magnesio), sobre la inmunidad y la prevención de padecimientos como mastitis, metritis, retención placentaria y anestro prologado posparto. Además, Barrios, *et al.* (2013) observaron una fuerte y significativa relación ( $R= 0,93$ ;  $P<0,05$ ) entre los valores séricos de fósforo con la suplementación de este mineral, demostrándose también una relación directa ( $R^2 = 0,91$ ) entre el contenido de fósforo en el suelo con los valores séricos, ambos resultados se obtuvieron de 180 vacas de doble propósito distribuidas en diferentes unidades de producción.

Los perfiles metabólicos han sido ampliamente estudiados en ganado lechero especializado, sin embargo, existe poca información sobre su potencial de aplicación en ganado bovino de doble propósito. Debido a lo anterior, en este estudio se planteó obtener perfiles metabólicos de sistemas de producción de ganado bovino de doble propósito en Costa Rica a partir de 4 fincas de la región de Huetar Norte, durante el período 2021-2022.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización**

El estudio se desarrolló en 4 fincas bajo el sistema de producción de bovinos de doble propósito, ubicadas en los cantones de San Carlos y Sarapiquí, a una altitud de 60 a 253 msnm, en la región Huetar Norte de Costa Rica entre enero de 2021 y el 31 de octubre de 2022. Las fincas seleccionadas para el estudio fueron, La Guaria ( $10^{\circ}28'34''$  N  $84^{\circ}39'39''$  W – 253 msnm), Chaparrón ( $10^{\circ}34'06''$  N  $84^{\circ}11'01''$  W – 60 msnm), El Saíno ( $10^{\circ}33'35''$  N  $84^{\circ}16'59''$  W – 64 msnm), y Veracruz ( $10^{\circ}28'32''$  N  $84^{\circ}15'24''$  W – 127 msnm).

### **Selección de animales**

Los animales fueron seleccionados según información procedente del programa informático VAMPP bovino, suministrada previamente por los dueños o encargados de cada finca, donde se empleó la selección por su proximidad al parto, y por presentar una

caracterización racial definida como cebú *Bos indicus* (n=13) o un cruce mestizo entre razas *Bos indicus* y *Bos taurus* (n=13).

### **Condiciones del hato estudiado**

Durante la ejecución del trabajo los animales pastorearon áreas delimitadas por medio de cercas eléctricas, con periodos de ocupación no mayores a 24 horas, y periodos de descanso variables entre fincas, cuyos extremos fueron 30 y 54 días. Como especies forrajeras presentes destacó pasto toledo (*Urochloa brizantha* cv. Toledo), pasto mombaza (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaza) y pasto ratana (*Ischmaemum ciliare*).

Los sistemas de alimentación durante el periodo de estudio consistieron: Finca 1: pastoreo con suplementación estimada en un 35% del consumo de materia seca, a través del suministro diario de pasto picado de corte (*Pennisetum purpureum*), alimento balanceado para vacas lecheras, cáscara de yuca, pollinaza, harina de soya, maíz molido, melaza, urea y premezcla de minerales. Finca 2: forraje consumido en pastoreo y la suplementación únicamente con 500 gramos diarios de MM sólido producido en la finca y usado como probiótico. Finca 3: pastoreo y suplementación de un 26% del consumo diario de materia seca con corona de piña, alimento balanceado para vacas lecheras y premezcla mineral. Finca 4: pastoreo y la suplementación de un 8% del consumo diario de materia seca con raíces de yuca y premezcla mineral.

El pesaje de las crías durante el periodo de muestreos permitió determinar el crecimiento, siendo de 0,53 kg/día. También fue pesada la leche no consumida por la cría, que constituye la producción láctea para entrega (venta). El promedio de producción de leche, y el porcentaje de sólidos totales (ST) de las fincas durante los meses de investigación fue respectivamente Finca 1: 12,25 kg con 12,77% ST, Finca 2: 6,43 kg con 13,22% ST, Finca 3: 8,12 kg con 12,89% ST y Finca 4: 6,84 kg con 12,74% ST. El valor de nitrógeno ureico en leche (MUN) promedio fue de 9,3 mg/dl como valor general.

El estatus sanitario de las vacas empleadas se validó mediante protocolos de SENASA libre de brucelosis, tuberculosis; y con vacunación al día para enfermedades virales respiratorias y reproductivas, clostridiales y por ántrax.

## **Procedimientos de toma de muestra y análisis de sangre**

Se realizó la toma de muestras de sangre para análisis de los metabolitos: glucosa, cetonas, nitrógeno ureico, creatinina, calcio, fósforo, magnesio y enzimas hepáticas Fosfatasa alcalina en suero (SAP), Aspartato Aminotransferasa en Suero (AST) y Gamma-Glutamil Transferasa en Suero (GGT). Se hizo uso del equipo Abbott® Free-Style con tiras reactivas para determinación de glucosa y  $\beta$ - hidroxibutirato (cetonas).

Los días de lactancia de las vacas al momento de los muestreos se encontraba entre los 2 y 146 días, empleando los días en producción como una covariable. Se recolectaron 78 muestras en total, distribuidas de manera desbalanceada por disponibilidad de animales entre las 4 fincas. Obteniendo la siguiente cantidad de muestras por finca respectivamente: 18 finca 1 (6 vacas), 18 finca 2 (6 vacas), 21 finca 3 (7 vacas) y 21 finca 4 (7 vacas).

La toma de muestras se llevó a cabo en horarios pre-establecidos sistemáticamente entre muestreos, siendo prioritaria la espera de 3 horas posteriores a la alimentación con suplementos, la cual se realizaba previo o inmediatamente posterior al ordeño. Para ello, se siguió un esquema de muestreo acordado con los encargados de cada finca. Las muestras se extrajeron por venopunción sobre la vena coccígea en el área ventral medial del rabo del animal, zona limpiada y desinfectada con alcohol previamente. Se emplearon agujas de sangrado con doble punta y protector, estériles y desechables, número 22, las cuales se colocaron dentro de un capuchón plástico reutilizable, limpiado y esterilizado cada 10 usos, o cada vez que fue necesario por acúmulo de contaminantes; este equipo se conectó al tubo BD Vacutainer® Serum estéril, nuevo, desechable, identificado con el número de animal, y con vacío interno para facilitar la extracción de sangre.

Ejecutada la colecta, se centrifugaron los tubos a 3000 rpm por 15 minutos para propiciar separación del suero sanguíneo. Las muestras se transportaron en una canastilla dentro de una hielera térmica eléctrica a 12 voltios, previamente enfriada, que mantiene una temperatura de 7°C, y su entrega al laboratorio se hizo en un tiempo menor a 24 horas. El análisis de muestras de sangre se ejecutó en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional, de Costa Rica. Para la recolección de las muestras de sangre se contó con el visto bueno del Comité Institucional de Cuido y Uso de Animales (CICUA) aprobado en su sesión 214-2021 (oficio CICUA-024-2021 del 09 de abril de 2021).

## Diseño del experimento

Se estructuró un diseño 4x2 que comprendió la finca de recolección de los datos (1, 2, 3 y 4) y la caracterización racial (*Bos indicus* o *Bos indicus* x *Bos taurus*) como factores principales, así como los días en lactancia como covariable en el modelo. Se contó con 26 animales como unidades experimentales, fueron realizados 3 muestreos y cada muestreo representa la repetición para un total de 78 muestras de sangre analizadas. Para el primer factor, cada una de las 4 fincas muestreadas mostraron condiciones diferentes de manejo de suelo, forrajes, nutrición y sanidad. Y el segundo factor se incluyó por tratarse de un componente que influye en el manejo en los sistemas productivos. Con esto, la hipótesis que se planteó fue que los animales bovinos de doble propósito con origen racial indio (*B. indicus*), tendrían indicadores metabólicos diferentes a los animales en donde se ha incluido razas de tipo europea (*B. taurus*).

Para el análisis de los resultados se ejecutó un análisis de covarianza (ANCOVA) con el fin de evaluar los efectos principales (Finca [F] y caracterización racial [CR]) y su interacción (F\*CR), empleando como covariable los días en lactancia. Toda la información se analizó por medio del paquete estadístico R-Studio (R Core Team, Vienna, Austria). Se presenta el análisis de covarianza para los metabolitos de acuerdo con los factores finca de origen y razas de los animales, incluyendo la covariable días en lactancia. Se analizaron 11 metabolitos (Glucosa, Cetonas, Nitrógeno Ureico, Creatinina, P, Ca, Ca/P, Mg, SAP, AST, GGT. Se presentan los resultados de aquellos metabolitos que resultaron con diferencias significativas en el análisis inferencial. La interpretación de coeficientes y estadísticos t y F se determinó según lo descrito por Nolasco (2020) para ANCOVA, para un nivel de significancia estadística con valor de  $P \leq 0,05$ . Para efectos de contraste fueron empleados los niveles sugeridos en la literatura como normales en ganado lechero especializado, con el fin de obtener un análisis comparativo y clasificar la distribución de los casos según el nivel de cada metabolito presentado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio permitieron obtener un perfil metabólico poblacional para los 26 animales estudiados durante el intervalo de ejecución (Cuadro 1), determinado a partir de 3 muestreos consecutivos con un intervalo promedio de 32,75 días. El pesaje de las crías

durante el periodo de muestreos permitió determinar el crecimiento, siendo de 0,30 + 0,14 kg/día para el intervalo muestreado, que abarcó el seguimiento de crías desde los 2 días de nacimiento, hasta los 126 días de edad, representado los dos extremos de edades de las crías durante la evaluación. También fue pesada la leche no consumida por la cría, que constituye la producción láctea para entrega (venta). El promedio de producción de leche diario por vaca y el porcentaje de sólidos totales, durante los meses de investigación fue respectivamente Fortuna: 12,25 kg/día; 12,77% Chaparrón: 6,43 kg/día; 13,22%, Saíno: 8,12 kg/día; 12,89%, y Veracruz: 6,84 kg/día; 12,74%. El valor de nitrógeno ureico en leche promedio de muestras obtenidas del tanque de almacenamiento de la leche fue de 9,3 mg/dl. Las fincas 1 y 3 presentaron dos ordeños diarios, y las fincas 2 y 4 únicamente un ordeño diario, durante el periodo de investigación.

**Cuadro 2.** Concentraciones medias y desviación estándar de glucosa, cetonas, nitrógeno ureico, creatinina, Ca, P, relación Ca/P, Mg, SAP, AST y GGT medidos en suero sanguíneo y significancia de cada variable en el modelo estadístico en 4 fincas comerciales de la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

Metabolito	Unidades	Media poblacional	Desviación estándar	N muestras	Valor p
Glucosa <sup>1</sup>	mg/dl	45,29	10,83	78	0.08668
Cetonas <sup>1</sup>	mmol/l	0,85	0,79	78	<0,0001
Nitrógeno ureico <sup>2</sup>	mg/dl	8,00	4,07	78	<0,0001
Creatinina <sup>2</sup>	mg/dl	0,97	0,17	78	0,57215
Ca <sup>2</sup>	mg/dl	8,36	0,62	78	0,76512
P <sup>2</sup>	mg/dl	5,66	1,19	78	<0,0001
Ca/P <sup>2</sup>	mg/dl	1,58	0,54	78	0,00138
Mg <sup>2</sup>	mg/dl	2,97	1,22	78	<0,0001
SAP <sup>2</sup>	U/l	110,52	59,08	78	0,00949
AST <sup>2</sup>	U/l	80,81	11,58	78	0,07141
GGT <sup>2</sup>	U/l	17,10	5,40	78	0,05561

1 valorado mediante glucómetro portátil con tiras reactivas, 2 valorado mediante química clínica en Laboratorio de Análisis Clínicos de la Universidad Nacional, Costa Rica.



Se ejecutó un análisis individual por cada uno de los metabolitos estudiados, en primer orden se presenta información descriptiva sobre la agrupación de los datos en función de los factores finca y raza. Además, se presentan las medias por ambos factores junto con las desviaciones estándar. En segundo lugar, se exponen los resultados del análisis de covarianza ejecutado y su respectiva interpretación.

## Glucosa

El análisis descriptivo de la concentración de glucosa mostró la presencia de 7 casos de hiperglicemia ( $60 > \text{mg/dl}$ ) en las fincas Guaria (4), Chaparrón (2) y Veracruz (1). Lo cual contrasta con lo reportado por Mair, *et al.* (2016) para ganado lechero, dichos autores demostraron que la sensibilidad de tres tipos de glucómetros portátiles en la detección de hiperglicemia es baja (39%) respecto la sensibilidad de encontrar valores normoglicémicos (76%) o hipoglicémicos (92%). Se encontró 27 casos de hipoglicemia ( $40 > \text{mg/dl}$ ), con 13 de los casos en la finca Saíno. El resto de los casos mostraron niveles normales de glucosa ( $40 > X < 60 \text{ mg/dl}$ , Cuadro 2). En relación con la raza, hubo 19 casos de hipoglicemia en animales resultado de cruce (*B. indicus* x *B. taurus*) frente a 8 casos de hipoglicemia en animales Cebú.

**Cuadro 3.** Frecuencia de presentación de casos y concentración media de glucosa según finca y raza, en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

	Finca				Total	
	Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz		
Hiperglicemia	4	2	0	1	7	
Glicemia*	Hipoglicemia	6	5	13	3	27
	Normoglicemia	8	11	8	17	44
Total	18	18	21	21	78	
Concentración media de glucosa	48,28	47,06	40,33	46,19	45,29	
por finca en mg/dl (DE)	(10,83)	(12,37)	(12,38)	(6,40)	(10,82)	
Concentración media de glucosa	<i>Bos indicus</i>		<i>Bos indicus</i> x <i>Bos taurus</i>			
por raza en mg/dl (DE)	46,59 (9,5)		44,00 (12,02)			

\*Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Mair, *et al.* (2016).

En el análisis inferencial se observó que el tipo "Cruce" dentro del factor "Raza" no fue estadísticamente significativo ( $p = 0,252$ ), con un coeficiente de 8,63 y un valor t de 1,15. Del mismo modo, el factor "Finca" no fue significativa (coeficiente = 0,5474 3,  $t=0,296$  y  $p = 0,768$ ). La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de 0,04909 y un valor t de 1,313 ( $p = 0,193$ ), sugiriendo una relación moderada. Además, se encontró una posible interacción entre "Raza" y "Finca", ya que el coeficiente de la interacción fue -4,90182, con un valor t de -1,880 y un p-valor significativo ( $p = 0,064$ ). El modelo en conjunto presentó un R-cuadrado múltiple de 0,1042, lo que indica que aproximadamente el 10,42% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable incluidas en el modelo. Aunque el resultado del estadístico F fue 2,122, con un p-valor de 0,08668, sugiere que el modelo puede no ser estadísticamente significativo en su conjunto.

Para el metabolito glucosa los factores finca y raza, en presencia de los días en producción como covariable, no mostraron influencia significativa en la variabilidad de los datos recolectados ( $P>0,05$ ). El modelo general para este metabolito explica un porcentaje muy bajo de la varianza implícita en los datos (0,104). Lo descrito podría relacionarse con la compleja dinámica de la glucosa dentro del metabolismo del bovino, considerando además que para los rumiantes en general existen otras moléculas que cumplen el rol de unidades energéticas, tal como son los ácidos grasos volátiles producto de la fermentación microbiana, por lo que dicho metabolito a nivel poblacional depende de otros factores fuera del modelo (Dryden, 2016; Mair, *et al.* 2016).

Considerando que los sistemas de producción de doble propósito evaluados se desarrollan en sistemas pastoriles, es posible deducir que la producción de ácido acético a nivel ruminal tenga una importancia relevante para el estatus energético de las vacas evaluadas (Prieto-Manrique, *et al.* 2016). Lo que interfiere en los comparativos del nivel de glucosa que se realizan basados en los estudios de Mair, *et al.* (2016) basados en animales con un mayor nivel de suplementación, y bajo condiciones productivas de ganado lechero especializado. Se encontró la misma tendencia al comparar los resultados obtenidos con los datos de Núñez y Bouda (2007) obtenidos en ganado lechero.

Carizi, *et al.* (2019) encontraron que en un grupo pequeño de vacas Holstein, la condición corporal no influyó significativamente sobre el nivel de glucosa en suero sanguíneo, así

como otros metabolitos perfilados, lo cual podría explicar en parte la poca significancia estadística que tuvo el factor finca sobre la glucosa medida en suero sanguíneo.

### Cetonas

En el análisis descriptivo asociado a los datos de Roche (2012) se destaca que hubo 66 casos de normalidad en los niveles de cetonas en sangre. Hubo 8 casos de cetosis subclínica distribuidos 4 en Guaria y 4 en Saíno. De cetosis clínica hubo 4 casos en Guaria (Cuadro 3). En relación con la raza se reporta que los 12 casos fuera de la normalidad pertenecieron a animales de raza del tipo cruce.

**Cuadro 4.** Frecuencia de presentación de casos según concentración de cetonas en sangre según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

	Finca				Total
	Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz	
Cetosis*					
Clínica	4	0	0	0	4
Normalidad	10	18	17	21	66
Subclínica	4	0	4	0	8
Total	18	18	21	21	78
Concentración media de cetonas por finca en mmol/l (DE)	1,53 (1,35)	0,60 (0,23)	0,80 (0,17)	0,52 (0,17)	0,85 (0,79)
Concentración media de cetonas por raza en mmol/l (DE)	<i>Bos indicus</i> 0,56 (0,20)		<i>Bos indicus x Bos taurus</i> 1,14 (1,02)		

\* Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Roche (2012).

En cuanto al factor "Raza", se observó que el tipo "Cruce" tuvo un coeficiente de 0,751 y un valor t de 1,553, pero el p-valor no alcanzó significancia estadística ( $p = 0,124$ ). Similarmente, el factor "Finca" no mostró una relación significativa con un coeficiente de -0,145 y un valor t de -1,217 ( $p = 0,227$ ). La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de -0,005 y un valor t de -2,227 ( $p = 0,029$ ), indicando una relación significativa con la variable dependiente. Se encontró una posible interacción entre "Raza" y "Finca", ya que el coeficiente de la interacción fue -0,178, con un valor t de -1,059 y un p-valor no significativo ( $p = 0,29291$ ). El modelo en conjunto presentó un R-cuadrado múltiple de

0,293, lo que sugiere que aproximadamente el 29,37% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable en el modelo. Además, el estadístico F fue 7,588, con un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,0001$ ), indicando que el modelo es estadísticamente significativo en su conjunto.

A diferencia de la glucosa, para las cetonas se logró determinar la influencia que tienen los factores del modelo. Considerando las publicaciones Saborío y Sánchez (2016), donde se expone la alta incidencia de cetosis de tipo subclínico, y la asociación con factores de manejo de las fincas, así como la relación con el componente racial; puede encontrarse concordancia para los datos obtenidos en el presente estudio. Lo que permite inferir que las diferencias en manejo de las fincas tuvieron influencia sobre los resultados obtenidos para cetonas, además que fincas que trabajan con cruces de razas *Bos indicus* x *Bos taurus* pueden ser más susceptibles a casos de cetosis subclínica.

### **Nitrógeno Ureico**

Las concentraciones de nitrógeno ureico mostraron, según la guía de Hammond (1998), 71 casos de deficiencia, distribuidos en: 18 en Guaria, 12 en Chaparrón, 21 en Saíno, 20 en Veracruz. En la Finca Chaparrón hubo solo dos casos de exceso y, en total, 5 animales con concentraciones en balance en las cuatro fincas (Cuadro 4).

Según lo reportado para ganado lechero especializado en un 91% de los datos individuales obtenidos, se presentó un desbalance de la proteína degradable en rumen (PDR) respecto a las fuentes de energía fermentable (FEF) (Hammond, 1998).

En el factor "Raza", se observó que el tipo "Cruce" tuvo un coeficiente estimado de 2,936, con un valor t de 1,223, pero el p-valor no resultó estadísticamente significativo ( $p = 0,225$ ). Por otro lado, el factor "Finca" tuvo un coeficiente de 0,827 y un valor t de 1,393 ( $p = 0,167$ ), lo que sugiere una tendencia, aunque no estadísticamente significativa. La covariable "Días en Producción" presentó un coeficiente de 0,067 y un valor t de 5,584, con un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,0001$ ), indicando una relación significativa con la variable dependiente.

**Cuadro 5.** Distribución de frecuencias de las medias de concentración de nitrógeno ureico y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

		Finca				Total
		Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz	
Nitrógeno Ureico*	Balance	0	4	0	1	5
	Deficiencia	18	12	21	20	71
	Exceso	0	2	0	0	2
	Total	18	18	21	21	78
Concentración media de Nitrógeno Ureico por finca en mg/dl (DE)		7,33 (2,09)	9,5 (6,52)	6,81 (2,42)	8,47 (3,72)	7,97 (4,07)
Concentración media de Nitrógeno Ureico por raza en mg/dl (DE)		<i>Bos indicus</i>		<i>Bos indicus x Bos taurus</i>		
		9,95 (5,10)		7,05 (2,26)		

Asimismo, se detectó una posible interacción entre "RazaCruce" y "Finca", ya que el coeficiente de interacción fue -1,608, con un valor t de -1,920 y un p-valor cercano al umbral de significancia ( $p = 0,058$ ). En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0,344, sugiriendo que aproximadamente el 34,49% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. Además, el estadístico F fue 9,61, con un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,0001$ ), lo que indica que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo.

### Creatinina

La concentración de creatinina mostró 67 casos con valores fuera de lo normal basado en lo reportado por Nozad, *et al.* (2012), distribuidos de la siguiente manera: 14 en Guaria, Chaparrón 16, Saíno 17 y Veracruz 20. Únicamente hubo 11 animales en todo el grupo que mostraron normalidad (Cuadro 5). Respecto a los 67 animales con valores fuera de lo normal, 31 son de raza *Bos indicus* y 36 de cruce *Bos indicus x Bos taurus*.

**Cuadro 6.** Distribución de frecuencias de las medias de concentración de creatinina y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

		Finca				Total
		Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz	
Creatinina*	Anormal	14	16	17	20	67
	Normal	4	2	4	1	11
Total		18	18	21	21	78
Concentración media de creatinina por finca en mg/dl (DE)		0,92 (0,20)	0,94 (0,16)	0,98 (0,16)	0,99 (0,13)	0,98 (0,17)
Concentración media de creatinina por raza en mg/dl (DE)		<i>Bos indicus</i> 0,99 (0,13)		<i>Bos indicus x Bos taurus</i> 0,95 (0,16)		

\* Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Nozad, *et al.* (2012).

En el factor "Raza", se observó que el tipo "Cruce" tuvo un coeficiente estimado de -0,130, con un valor t de -1,103, y su p-valor fue 0,274, lo que sugiere que este factor no resultó estadísticamente significativo. El factor "Finca" presentó un coeficiente de -0,005 y un valor t de -0,173 ( $p = 0.863$ ), lo que indica que este factor tampoco fue estadísticamente significativo. La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de -0,001 y un valor t de -0,461 ( $p = 0,646$ ), indicando que no hay una relación significativa entre esta covariable y la variable dependiente "Creatinina". Además, la interacción entre "RazaCruce" y "Finca" resultó en un coeficiente de 0,037, con un valor t de 0,894 y un p-valor de 0,374, lo que sugiere que esta interacción tampoco fue estadísticamente significativa.

En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0,039, indicando que aproximadamente el 3,863% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. Sin embargo, el R-cuadrado ajustado (-0,014) sugiere que el modelo puede no ajustarse bien a los datos. El estadístico F fue 0,733, con un p-valor de 0,572, lo que indica que el modelo en su conjunto no es estadísticamente significativo. En resumen, estos resultados indican que ninguno de los factores ni la covariable tiene una influencia significativa en los niveles de creatinina en este análisis.

## Calcio

En la descripción de las concentraciones de calcio sanguíneo, según lo publicado por Wynn *et al.* (2015), se reportaron 70 animales con deficiencia de dicho mineral. Los mismos se distribuyeron de la siguiente forma: 17 en Guaria, 16 en Chaparrón, 19 en Saíno, y 18 en Veracruz. Solo hubo 8 animales con niveles normales de calcio (Cuadro 6). En relación con la raza se reporta una distribución de los casos de deficiencia de calcio con 34 para la raza Cebú y 36 para la raza Cruce.

Los datos reportados por Sánchez y Saborío (2014) demuestran la alta incidencia en Costa Rica de hipocalcemia subclínica en hatos lecheros de las razas Holstein, Jersey y Guernsey en pastoreo, lo que conduce a que el 89% de incidencia de hipocalcemia subclínica del presente estudio permita asociar esta información, considerando las diferencias de ambos sistemas.

**Cuadro 7.** Distribución de frecuencias de concentración de calcio y medias según raza y finca en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

		Finca				Total
		Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz	
Calcemia*	Hipocalcemia	17	16	19	18	70
	Normocalcemia	1	2	2	3	8
	Total	18	18	21	21	78
Concentración media de calcio por finca en mg/dl (DE)		8,13 (0,70)	8,34 (0,61)	8,32 (0,65)	8,59 (0,46)	8,35 (0,70)
Concentración media de calcio por raza en mg/dl (DE)		<i>Bos indicus</i> 8,48 (0,54)		<i>Bos indicus x Bos taurus</i> 8,23 (0,67)		

\* Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Wynn, *et al.* (2015).

El análisis de covarianza (ANCOVA) aplicado a la variable dependiente "Calcio" en relación con los factores "Raza" y "Finca", mientras se controla la covariable "Días en Producción", en el factor "Raza", se encontró que el tipo "Cruce" tuvo un coeficiente estimado de -0,29, con un valor t de -0,670, y un p-valor (0,506), lo que sugiere que este factor no tuvo un impacto significativo en los niveles de calcio. El factor "Finca" presentó un coeficiente de 0,072 y un valor t de 0,674 (p = 0,502), indicando que no fue

significativo. En cambio, la covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de -0,002 y un valor t de 1,167 ( $p = 0,247$ ), indicando que no hay una relación significativa entre esta covariable y el metabolito "Calcio". Además, la interacción entre "Raza" y "Finca" resultó en un coeficiente de 0,045, con un valor t de 0,300 y un p-valor de 0,765, indicando que esta interacción no fue significativa. En resumen, estos resultados indican que ninguno de los factores ni el modelo explican la variabilidad de calcio.

## Fósforo

Los resultados para el mineral fósforo, basándose en lo publicado por Zelal (2017), conduce al reporte de 1 caso de hiperfosfatemia. Hubo solo 9 casos de concentraciones por debajo de lo normal, de los cuales 7 fueron de la finca Guaria y 2 en Saíno. Hubo 68 casos con niveles normales (Cuadro 7). En relación con la raza de hubo una diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ ) entre cebuinos y cruzados, siendo respectivamente 6,14 y 5,16 mg/dl los promedios de grupo. No se reportó ningún caso de hipofosfatemia dentro del grupo de animales cebú.

**Cuadro 8.** Distribución de frecuencias de concentración de fósforo y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

	Finca				Total	
	Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz		
Fosfatemia*	Hiperfosfatemia	0	1	0	0	1
	Normofosfatemia	11	17	19	21	68
	Hipofosfatemia	7	0	2	0	9
	Total	18	18	21	21	78
Concentración media de fósforo por finca en mg/dl (DE)		4,74 (1,59)	6,51 (1,00)	5,53 (0,70)	5,83 (0,66)	5,65 (1,19)
Concentración media de fósforo por raza en mg/dl (DE)		<i>Bos indicus</i> 6,14 (0,89)		<i>Bos indicus x Bos taurus</i> 5,16 (1,19)		

\* Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Zelal, 2017.

En relación con el factor "Raza", se encontró que el tipo "Cruce" tuvo un coeficiente estimado de -3,121, con un valor t de -4,247, y un p-valor muy pequeño ( $p < 0,0001$ ), lo que sugiere que este factor tuvo un impacto significativo en los niveles de fósforo. El



factor "Finca" presentó un coeficiente de -0,403 y un valor t de -2,218 ( $p = 0,029$ ), indicando que este factor también fue estadísticamente significativo. En cambio, la covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de -0,003 y un valor t de -0,879 ( $p = 0,382$ ), indicando que no hubo una relación significativa entre esta covariable y la variable dependiente "Fósforo". Además, la interacción entre "RazaCruce" y "Finca" resultó en un coeficiente de 0,823, con un valor t de 3,209 y un p-valor de 0,001, indicando que esta interacción también fue estadísticamente significativa. En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0,276, lo que indica que aproximadamente el 27,64% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue 0,236, lo que sugiere que el modelo no se ajusta bien a los datos. El estadístico F fue 6,97, con un p-valor  $<0,0001$ , lo que indica que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo.

En resumen, estos resultados indican que tanto el factor "Raza" como el factor "Finca" y su interacción tienen una influencia significativa en los niveles de fósforo en este análisis, mientras que la covariable "Días en Producción" no mostró una relación significativa con la variable dependiente. El nivel de fósforo tiende a variar de acuerdo con la raza siendo más importante la influencia del tipo cruce y de igual forma por el factor finca.

### **Relación Calcio Fósforo (Ca/P)**

La media general de la relación entre las concentraciones de calcio y fósforo (Ca/P) fue de 1,72 mg/dl con 1,41 mg/dl de desviación estándar. De acuerdo con las fincas el valor se dividió así: Guaria (1,96 mg/dl; 0,93 mg/dl); Chaparrón (1,96 mg/dl; 2,7 mg/dl), Saíno (1,53 mg/dl; 0,30 mg/dl). De acuerdo con la raza los promedios de la relación calcio fósforo se distribuyeron de la siguiente forma: Cebú (1,71mg/dl; 1,86 mg/dl) y Cruce (1,72 mg/dl; 1,40 mg/dl).

En el análisis de covarianza (ANCOVA), la relación Calcio/Fósforo en factor "Raza" presentó un coeficiente estimado de 1.305, con un valor t de 3,756 y un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,001$ ), lo que denota una influencia altamente significativa. El factor "Finca" mostró un coeficiente de 0,152 y un valor t de 1,768 ( $p = 0,081$ ), sugiriendo una posible influencia, aunque no estadísticamente significativa a un nivel convencional ( $\alpha = 0,05$ ). La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de 0,003 y un valor t de 1,660 ( $p = 0,101$ ), lo que indica que esta covariable no tuvo una relación significativa con la variable dependiente "Ca/P". Además, la interacción entre

"Raza" y "Finca" arrojó un coeficiente de -0,388, con un valor t de -3,203 y un p-valor de 0,002, indicando una influencia estadísticamente significativa de esta interacción. En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0,213, lo que sugiere que aproximadamente el 21,33% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue 0,171, lo cual es un valor bastante bajo para determinar el ajuste del modelo. El estadístico F fue 4,949, con un p-valor de 0,001, lo que sugiere que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo para predecir la variable dependiente "Ca/P".

Tanto el factor "Raza" como la interacción entre "Raza" y "Finca" tuvieron influencia significativa en los niveles de "Ca/P", mientras que el factor "Finca" y la covariable "Días en Producción" no fueron estadísticamente significativos.

## Magnesio

En relación con las concentraciones de magnesio en sangre, según los datos de Goselink *et al.* (2015), se reportó 1 caso de hipermagnesemia. En los niveles normales se reportaron 59 casos y 18 casos de niveles por debajo de lo normal (Cuadro 8). En el caso de la raza, la distribución fue 12 casos de la raza Cebú y 7 casos de la raza cruce con hipomagnesemia.

**Cuadro 9.** Distribución frecuencias de concentración de magnesio y medias según finca y raza en vacas de doble propósito en la Región Huetar Norte, Costa Rica, 2021-2022.

	Finca				Total
	Guaria	Chaparrón	Saíno	Veracruz	
Hipermagnesemia	0	0	0	1	1
Magnesemia* Normomagnesemia	11	7	21	20	59
Hipomagnesemia	7	11	0	1	18
Total	18	18	21	21	78
Concentración media de magnesio por finca en mg/dl (DE)	3,83 (1,87)	3,54 (0,95)	2,37 (0,25)	2,34 (0,36)	2,97 (1,21)
Concentración media de magnesio por raza en mg/dl (DE)	<i>Bos indicus</i> 2,89 (0,63)		<i>Bos indicus x Bos taurus</i> 3,04 (0,99)		

\* Datos recopilados en campo y valorados con respecto a Goselink *et al.* (2015).

En el análisis de covarianza del mineral magnesio se obtuvo resultados significativos para algunos de los factores incluidos. El factor "Raza" presentó un coeficiente estimado de 1,117, con un valor t de 1,718 ( $p = 0,0900$ ), lo que sugiere una posible influencia, pero que no alcanza la significancia estadística a un nivel convencional ( $\alpha = 0,05$ ). El factor "Finca" tuvo un coeficiente de -0,305799, con un valor t de -1,900 ( $p = 0,061$ ), indicando una posible influencia, aunque no estadísticamente significativa. La covariable "Días en Producción" mostró un coeficiente de 0,014 y un valor t de 4,577, con un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,001$ ), lo que señala una influencia altamente significativa de esta covariable en la variable dependiente "Magnesio". Además, la interacción entre "RazaCruce" y "Finca" arrojó un coeficiente de -0,541, con un valor t de -2,384 y un p-valor de 0,019, indicando una influencia estadísticamente significativa de esta interacción. En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0,462, lo que sugiere que aproximadamente el 46,29% de la variabilidad en la variable dependiente se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue 0,433, lo que indica que el modelo se ajusta en mayor medida a los datos de magnesio con respecto a las variables previamente mencionadas en el estudio. El estadístico F fue 15,73, con un p-valor extremadamente pequeño ( $p < 0,001$ ), lo que sugiere que el modelo en su conjunto es altamente significativo para predecir la variable dependiente "Magnesio".

La covariable "Días en Producción" y la interacción entre "RazaCruce" y "Finca" tuvieron una influencia significativa en los niveles de "Magnesio", mientras que el factor "Raza" y "Finca" tuvieron una influencia potencial que no fue estadísticamente significativa a un nivel convencional.

### **Fosfatasa Alcalina en Suero (SAP)**

La media general de Fosfatasa alcalina en suero (SAP) fue de 136 mg/dl con 59,97 mg/dl de desviación estándar. De acuerdo con las fincas el valor se dividió: Guaria (121,61 mg/dl; 41,15 mg/dl); Chaparrón (166,94 mg/dl; 53,6 mg/dl), Saíno (147,29 mg/dl; 53,61 mg/dl) y Veracruz (110,52 mg/dl; 59,08 mg/dl). De acuerdo con la raza los promedios de SAP se distribuyeron de la siguiente forma: Cebú (136,56 mg/dl; 69,6 mg/dl) y Cruce (135,4 mg/dl; 49,37 mg/dl).

Al respecto de la variable "SAP", el factor "Raza" mostró un coeficiente estimado de -85,783, con un valor t de -2,149 ( $p = 0,035$ ), lo que sugiere una influencia significativa, ya

que el p-valor es menor que 0,05. El factor "Finca" presentó un coeficiente de -21,641, con un valor t de -2,191 ( $p = 0,0316$ ), lo que indica una influencia significativa. La covariable "Días en Producción" mostró un coeficiente de 0.329, con un valor t de 1,648 ( $p = 0,104$ ), lo que sugiere una influencia potencial, pero no alcanza la significancia estadística a un nivel convencional. La interacción entre "RazaCruce" y "Finca" arrojó un coeficiente de 31,916, con un valor t de 2,292 ( $p = 0,025$ ), lo que indica una influencia significativa de esta interacción en los niveles de "SAP". En conjunto, el modelo presentó un R-cuadrado múltiple de 0.1656, lo que sugiere que aproximadamente el 16,56% de la variabilidad en la variable dependiente "SAP" se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue 0,119, lo que indica que el modelo tiene poco ajuste a los datos, lo que indica que existen otros factores no considerados que influyen sobre la variable, sin restar importancia a la significancia demostrada en los factores del modelo. El estadístico F fue 3,623, con un p-valor de 0,009, lo que sugiere que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo para predecir la variable dependiente "SAP".

Los resultados indican que los factores "Raza" y "Finca", así como su interacción, tuvieron una influencia significativa en los niveles de "SAP", mientras que la covariable "Días en Producción" tuvo influencia potencial que no es estadísticamente significativa a un nivel convencional.

### **Aspartato Aminotransferasa en Suero (AST)**

En el caso de aspartato aminotransferasa en suero, se reportó que todos los casos presentaron rangos por encima de lo normal de acuerdo con el criterio de Ohmer y Mohamed (2012).

El reporte descriptivo indica que la media general de AST fue de 85,73 UI con 23,78 UI de desviación estándar. De acuerdo con las fincas el valor se dividió: Guaria (99,44 UI; 33,78 UI); Chaparrón (79,88 UI; 26,44 UI), Saíno (83,90 UI; 14,03 UI) y Veracruz (80,81 UI; 11,58 UI). De acuerdo con la raza los promedios de AST se distribuyeron de la siguiente forma: Cebú (80,38 UI; 19,59 UI) y Cruce (91,08 UI; 25, 99 UI).

En el análisis "AST" (Aspartato Aminotransferasa en Suero), los resultados obtenidos revelan ciertas tendencias, aunque no todos los coeficientes resultaron ser estadísticamente significativos. El factor "Raza" tuvo un coeficiente estimado de 25,228,

con un valor t de 1,562 ( $p = 0,123$ ), lo que sugiere una influencia que no alcanza la significancia estadística convencional ( $p < 0,05$ ). El factor "Finca" presentó un coeficiente estimado de -0,227, con un valor t de -0,057 ( $p = 0,955$ ), lo que indica que no existió una influencia significativa de este factor en los niveles de "AST". La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de -0,034, con un valor t de -0,426 ( $p = 0,671$ ), lo que sugiere que esta covariable no tuvo una influencia significativa en la predicción de "AST". La interacción entre "RazaCruce" y "Finca" tuvo un coeficiente estimado de -7,273, con un valor t de -1,291 ( $p = 0,201$ ), lo que indica que esta interacción no fue estadísticamente significativa a un nivel convencional.

En conjunto, el modelo presenta un R-cuadrado múltiple de 0,109, lo que sugiere que aproximadamente el 10,99% de la variabilidad en la variable dependiente "AST" se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue 0,061, lo que indica que el modelo tuvo un ajuste bajo a los datos. El estadístico F fue 2,254, con un p-valor de 0,071, lo que sugiere que el modelo en su conjunto no fue estadísticamente significativo para predecir la variable dependiente "AST" a un nivel convencional ( $p < 0,05$ ).

En resumen, los resultados indican que los factores "Raza", "Finca" y la covariable "Días en Producción" no mostraron influencias significativas en esta variable. La interacción entre "RazaCruce" y "Finca" tampoco fue estadísticamente significativa en la predicción de "AST".

### **Gamma-Glutamil Transferasa en Suero (GGT)**

En el reporte descriptivo se tiene que la media general de GGT fue de 18,96 UI con 23,13 UI mg/dl de desviación estándar. De acuerdo con las fincas el valor se dividió así: Guaria (27,78 UI; 46,93 UI); Chaparrón (16,33 UI; 6,67 UI), Saíno (15,52 UI; 5,35 UI) y Veracruz (17,09 UI; 5,40 UI). De acuerdo con la raza los promedios de GGT se distribuyeron de la siguiente forma: Cebú (16,74 UI; 5,95 UI) y Cruce (21,18 UI; 31,23 UI).

En el contexto del análisis de covarianza (ANCOVA) realizado para la variable dependiente "GGT" los resultados mostraron ciertas tendencias, aunque no todos los coeficientes resultaron estadísticamente significativos. El factor "Raza" tuvo un coeficiente estimado de 22,479, con un valor t de 1,367 y un p-valor de 0,176, lo que indica una tendencia a la influencia, aunque no fue estadísticamente significativa a un nivel

convencional ( $p < 0,05$ ). El factor "Finca" presentó un coeficiente estimado de 1,326, con un valor t de 0,326 y un p-valor de 0,745, lo que indica que no existió una influencia significativa de este factor en los niveles de "GGT". La covariable "Días en Producción" tuvo un coeficiente de 0,047, con un valor t de 0,576 y un p-valor de 0,567, lo que sugiere que esta covariable no tuvo una influencia significativa en la predicción de "GGT". La interacción entre "RazaCruce" y "Finca" tuvo un coeficiente estimado de -7,822, con un valor t de -1,364 y un p-valor de 0,177, lo que indica que esta interacción no fue estadísticamente significativa a un nivel convencional. En conjunto, el modelo presenta un R-cuadrado múltiple de 0,049, lo que indica que aproximadamente el 4,907% de la variabilidad en la variable dependiente "GGT" se explica por las variables independientes y la covariable del modelo. El R-cuadrado ajustado fue -0,003, lo que sugiere que el modelo no ajusta bien a los datos. El estadístico F fue 0,941, con un p-valor de 0,444, lo que indica que el modelo en su conjunto no fue estadísticamente significativo para predecir la variable dependiente "GGT" a un nivel convencional ( $p < 0,05$ ). En resumen, los resultados indican que ninguno de los factores ni la covariable tiene una influencia significativa en la predicción de los niveles de "GGT".

## CONCLUSIONES

Los metabolitos que mostraron variabilidad significativa de acuerdo con el modelo experimental fueron: las cetonas, nitrógeno ureico, fósforo, magnesio y la fosfatasa alcalina en suero. Sin embargo, aun siendo significativos, presentan  $R^2$  bajos que no permite una adecuada predicción del estado nutricional.

Fundamentado en la literatura publicada para ganado lechero, los datos poblacionales del grupo de estudio presentaron condición de normoglicemia y normocetonemia.

Los datos de nitrógeno ureico en suero sanguíneo de la población estudiada evidenciaron un desbalance entre la proteína degradable en rumen respecto a las fuentes de energía fermentable, considerando como base de análisis los datos reportados en ganado lechero.

La concentración de creatinina en suero sanguíneo para el grupo de animales del estudio estuvo sobre el nivel reportado para vacas lecheras de diferentes niveles de producción.

La media poblacional de calcio en suero sanguíneo obtenido en el perfil metabólico se encontró muy cerca del límite inferior para normocalcemia, considerando la literatura de diferentes autores para ganado lechero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O., Alcalá-Rico, J., Chavira, J., Flores-Nájera, M., Ruiz-Albarrán, M. 2022. Deficiencias nutricionales que afectan al reinicio de la ciclicidad posparto en bovinos doble propósito. *Revista Científica Abanico Veterinario*. Vol. 12 (1): 1 – 21.

Barrios, M., Sandoval, E., Borges, J. A., Sánchez, D. 2013. Efecto de una suplementación mineral sobre fósforo sérico, parámetros productivos y reproductivos en vacunos doble propósito de fincas deficientes en fósforo edáfico. *REDVET* Vol. 14 (2).

Bart, K; Aulrich, K; Christiane Haufe, H; Müller, U; Schaub, D; Schulz, F. 2011. Metabolic status in early lactating dairy cows of two breeds kept under conditions of organic farming, a case study. *Agriculture and Forestry Research* 61 (4) 2011: 307- 316.

Carizi, V; Garzón, J; Alvarado, J; Marini P. 2019. Condición corporal y su relación con la producción láctea, reproducción y perfil metabólico en vacas lecheras del trópico boliviano. *Rev Inv Perú* 30 (1) 2019: 107 – 118.

Davies, D. 2015. The value of grass. *Compendio de boletines técnicos, Revista Germinal*.

De Souza, J., Strieder-Barboza, C., Contreras, G. A., Lock, A. L. 2019. Effects of timing of palmitic acid supplementation during early lactation on nutrient digestibility, energy balance, and metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Sciences*. 102:270-287. ISSN:1525-3198.

García, C; Prado, F; Galicia, L; Borderas, T. 2017. Reference values for biochemical analytes in Mexican dairy farms: interactions and adjustments between production groups (original en portugués). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 69(2) 2017: 445 – 456.

Gómez, J; Londoño, L.F; Madrid, V. 2013. El perfil metabólico como herramienta de monitoreo de la salud, la producción y la fertilidad en el hato lechero del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. *Revista Lasallista de Investigación* 10(1) 2013: 38 – 50.

González-Quintero, R., Barahona-Rosales, R., Bolívar-Vergara, D. M., Chirinda, N., Arango, J., Pantévez, H. A., ... & Sánchez-Pinzón, M. S. (2020). Technical and environmental characterization of dual-purpose cattle farms and ways of improving production: A case study in Colombia. *Pastoralism*, 10, 1-14.

Goselink, R. M. A., Klop, G., Dijkstra, J., Bannik, A. 2105. Phosphorus metabolism in dairy cattle: literature study on recent developments and gaps in knowledge. Wageningen UR Livestock Research (Livestock Research rapport 910) – 36.

Gross, J; Kessler, E; Albrecht, C; Bruckmaier, R. 2015. Response of the Cholesterol Metabolism to a Negative Energy Balance in Dairy Cows Depends on the Lactational Stage. *PLOS ONE Journal* 2: 1 – 17.

Hammond, A. 1998. Use of BUN and MUN as Guides for Protein and Energy Supplementation in Cattle. *Revista Corpoica* (2): 44 – 48.

Hammond, A., Chase, C.C. 1997. Uso de indicadores en la sangre y la leche para determinar el estado nutricional y reproductivo del ganado vacuno. Estación de Investigación Agrícola Subtropical, USDA.

Hernández, B; Cervantes A; Domínguez, M; Gómez, F; Barrientos, M. 2016. Empleo de la prueba del perfil metabólico sanguíneo en un hato bovino de ganadería tropical en Boca Del Río, Veracruz. In Congreso de la Asociación de Médicos Veterinarios Zootecnistas Especialistas en Bovinos del Estado de Veracruz 1, 2016, Veracruz, México. Memoria, Research Gate.

Lammoglia-Villagómez, M. A., Chagoya-Fuentes, J. L., Rojas-Ronquillo, M.R., Cruz-Sánchez, P., Cabrera-Nuñez, A, 2022. Diagnóstico práctico y económico de cetosis por medio de un modelo lineal utilizando la correlación de glucosa y betahidroxibutirato en sangre en vacas de doble propósito. *Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan* 10 (2): 83 – 94.



Madreseh, S; Dehghani, A; Dehghani, A. 2018. Blood metabolic profile tests at dairy cattle farms as useful tools for animal health management. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine* (5) 2018.

Mair, B; Drillich, M; Kleim; Kanz, P; Borchardt, S; Meyer, L; Schwendenwein, I; Iwersen, M. 2016. Glucose concentration in capillary blood of dairy cows obtained by a minimally invasive lancet technique and determined with three different hand- held devices. *BMC Veterinary Research* 12(34).

Mejía, E; Mahecha, L; Angulo, J. 2017. Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. *Agronomía Mesoamericana* 28(2): 389-403.

Méndez, F. A. 2020. Factores que afectan el estado de salud en vacas doble propósito en clima cálido. Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.

Mera, R; Espinoza, M; Artieda, J; Ortiz, P; González, R; Vega, V. 2017. Mastitis bovina y su repercusión en la calidad de leche. *Revista electrónica de Veterinaria*. 18 (11).

Muiño, R; Bueno, B; Benedito, J. 2018. Hipocalcemia subclínica en Ganado vacuno lechero: tratamiento y manejo preventivo. *Revisión bibliográfica. ITEA* 114 (3): 259 – 279.

Nolasco, A. 2020. Análisis de datos continuos: Modelos de Análisis de la Varianza y de la Covarianza. Universidad de Alicante.

Nozad, S; Ramin, A; Moghadam, G; Asri, S; Babapour, A; Ramin, S. 2012. Relationship between blood urea, protein, creatinine, triglycerides and macro- mineral concentrations with the quality and quantity of milk in dairy Holstein cows. *Veterinary Research Forum* 3(1): 55 – 59.

Nuñez, L; Bouda, J. 2007. Patología clínica veterinaria. Segunda Edición. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ohmer, A; Mohamed, A. 2012. Metabolic and Endocrine Responses of Crossbred Dairy Cows in Relation to Pregnancy and Season Under Tropical Conditions. *American-Eurasian J. Agricultural and Environment Sciences*. 12(8): 1065 – 1074.

Penn State University Extension (Universidad de Pensilvania, Estados Unidos). 2013. Metabolic Profiling. Boletín. Pensilvania, Estados Unidos (11) 2013.

Petkova, M; Kitanov, I; Girginov, D. 2008. Blood lipids profile in lactating cows fed with supplement of Ovocap®. *Biotechnology in Animal Husbandry* 24 (4): 19 – 28.

Prieto-Manrique, E; Vargas-Sánchez, J; Angulo-Arizala, J; Machena-Ledezma, L.2016. Ácidos grasos, fermentación ruminal y producción de metano, de forrajes de silvopasturas intensivas con *Leucaena*. *Agronomía Mesoamericana* 27 (2): 337 -352.

Puppel, K; Kuczynska, B. 2016. Metabolic profiles of cow's blood; a review. *Journal of Science Food Agriculture* (13) 2016: 4321 - 4328.

Quinteros, O; Vargas, J; Barbona, I; Marini, P. 2017. Indicadores metabólicos sanguíneos de genotipos lecheros en pastoreo de la provincia de Napo-Ecuador. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida* 26(2) 2017: 119 – 130.

Robinson, A. M., Williamson, D.H. 1980. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. *Physiological Reviews*. 60:143–187. ISSN: 1522-1210.

Roche, J. 2012. Avoiding metabolic diseases around calving. *Dairy NZ Technical Series* 6(4): 13 – 18.

Saborío, A; Sánchez, J. 2016. Relación entre la concentración sanguínea de  $\beta$ -hidroxibutirato e indicadores productivos, reproductivos y de salud de hatos Jersey y Holstein. *Agronomía Costarricense* 40(1) 2016.

Sánchez, J; Saborío, A. 2014. Prevalencia de hipocalcemia en cuatro hatos Jersey en pastoreo en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 38(2) 2014: 33 – 41.

Sánchez, J; Saborío-Montero, A. 2014. Hipocalcemia e hipomagnesemia en un hato de vacas Holstein, Jersey y Guernsey en pastoreo. *Agronomía Costarricense* 38(2): 55 – 65.

Solís, L.A., Meneses, G., Villacrés, J. 2022. Aporte energético de especies forrajeras para producción de ganado bovino de doble propósito. *Archivos de zootecnia* vol. 71 núm. 274, 82 p.

Van Saun, R.J. 2005. Use and interpretation of pooled metabolic profiles for evaluating transition cow health status. *Proc. Am. Assoc. Bov. Pract.* 38(1) 2005: 180.

Van Saun, R.J. 2006. Metabolic profiles for evaluation of the transition period. Department of Veterinary and Biomedical Sciences, Pennsylvania State University.

Wynn, S; Teramura, M; Sato, T; Hanada, M. 2015. Changes of Serum Calcium Concentration, Frequency of Ruminal Contraction and Feed Intake Soon after Parturition of Dairy Cows Fed Diffructose Anhydride III. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 28 (1): 58 – 68.

Zelal, A. 2017. Hypomagnesemia Tetany in Cattle. *Journal Advances in Dairy Research.* 5 (2).

### III CAPÍTULO

## RELACIÓN ENTRE NUTRICIÓN Y PERFILES METABÓLICOS DE CUATRO HATOS DE GANADO DE DOBLE PROPÓSITO EN PRODUCCIÓN EN LA REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA

Bryan Aguilera-Saldaña

Luis Alonso Villalobos-Villalobos

### RESUMEN

El ganado bovino de doble propósito es el segundo sistema de producción de importancia en Costa Rica en términos poblacionales. En muchas ocasiones el manejo en las fincas utiliza conceptos de lechería especializada que podrían no ser del todo aplicables. Dentro del manejo, el aspecto nutricional y su efecto a nivel metabólico es uno de los más sensibles y menos estudiado. Es por eso por lo que el presente estudio recopiló y analizó datos de oferta de forraje, nutrición y bromatología con el fin de poder agrupar las variables y determinar la relación entre el manejo nutricional y metabolismo en vacas de doble propósito en cuatro fincas de la región Huetar Norte de Costa Rica entre enero de 2021 y octubre de 2022. La oferta forrajera fue en promedio 2710 kg MS/ha, el consumo de materia seca (CMS) se estimó en 8,54 kg/animal/día, un consumo de energía neta de lactancia (ENI) de 11,39 Mcal/día, proteína cruda (PC) 0,814 kg, calcio (Ca) 18,76 gramos/día, fósforo (P) 11,94 gramos/día y magnesio (Mg) 6,82 gramos/día. Se evidenció deficiencias en los requerimientos nutricionales para vacas de doble propósito en las variables MS, ENI; PC, Ca, P y Mg basados en 10 kg leche/día producidos y 450 kg de peso vivo. Los análisis bromatológicos mostraron contenido de fibra detergente neutra (FDN) promedio de 69,09%, con 55,59% de digestibilidad *in vitro*. La proteína cruda en los forrajes fue en promedio 7,82%. Se obtuvo por medio del balance de nutrientes para vacas de doble propósito deficiencias en CMS (-1,56 kgMS/animal/día), PC (-1,056 kg PC/animal/día) y ENI (-0,61 Mcal/animal/día). En las 78 muestras sanguíneas obtenidas de las 26 vacas muestreadas se obtuvo un promedio de glucosa en suero sanguíneo de 45,29 mg/dl (normal); cetonas 0,85 mmol/l (normal) con incidencia de cetosis subclínica únicamente en una de las cuatro fincas (finca 1, media de cetonas = 1,53 mg/dl);

nitrógeno ureico 8,00 mg/dl (deficiente) demostrando desbalance entre el consumo de proteína degradable en rumen y fuentes de energía fermentables; creatinina 0,97 mg/dl (elevado) evidenciando desgaste del músculo esquelético y corporal en general en la población estudiada, fósforo 5,66 mg/dl (normal), calcio 8,36 mg/dl (normal) y magnesio 2,97 mg/dl (normal). La producción de leche promedio fue de 8,34 kg/vaca/día y la ganancia de peso de las crías de 0,30 kg diarios. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) sin lograr reducir la dimensionalidad del banco de datos, y se calculó coeficientes de correlación de Pearson, sin encontrar correlaciones significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre las variables estudiadas.

**Palabras clave:** energía, digestibilidad, proteína, degradación ruminal, metabolismo, perfiles metabólicos, bovinos doble propósito, ganadería tropical.

## **ABSTRACT**

Dual-purpose cattle are the second most important production system in Costa Rica in population terms. On many occasions, farm management uses specialized dairy concepts that may not be entirely applicable. Within management, the nutritional aspect and its effect at the metabolic level is one of the most sensitive and least studied. That is why the present study compiled and analyzed data on forage supply, nutrition and bromatology to be able to group the variables and determine the relationship between nutritional management and metabolism in dual-purpose cows on four farms in the Huetar Norte region. of Costa Rica between January 2021 and October 2022. The forage supply was on average 2710 kg DM/ha, the dry matter intake (DMI) was estimated at 8.54 kg/animal/day, a net energy consumption of lactation (NEI) of 11.39 Mcal/day, crude protein (CP) 0.814 kg, calcium (Ca) 18.76 grams/day, phosphorus (P) 11.94 grams/day and magnesium (Mg) 6.82 grams /day. Deficiencies in the nutritional requirements for dual-purpose cows were evidenced in the variables DM, NEI, CP, Ca, P and Mg based on 10 kg milk/day produced and 450 kg of live weight. The bromatological analyzes showed an average neutral detergent fiber (NDF) content of 69.09%, with 55.59% in vitro digestibility. The crude protein in the forages was on average 7.82%. Deficiencies in CMS (-1.56 kgDM/animal/day), PC (-1,056 kg CP/animal/day) and NEI (-0.61 Mcal/animal/day) were obtained through the nutrient balance for dual-purpose cows. day). In the 78 blood samples obtained from the 26 sampled cows, an average blood serum glucose of 45.29 mg/dl (normal) was obtained; ketones 0.85 mmol/l (normal) with incidence of subclinical

ketosis in only one of the four farms (farm 1, mean ketones = 1.53 mg/dl); urea nitrogen 8.00 mg/dl (deficient) demonstrating an imbalance between the consumption of degradable protein in the rumen and fermentable energy sources; creatinine 0.97 mg/dl (elevated) evidencing skeletal and body muscle wasting in general in the population studied, phosphorus 5.66 mg/dl (normal), calcium 8.36 mg/dl (normal) and magnesium 2.97 mg/dL (normal). Average milk production was 8.34 kg/cow/day and calf weight gain were 0.30 kg per day. A principal component analysis (PCA) was performed without being able to reduce the dimensionality of the data bank, and Pearson's correlation coefficients were calculated, without finding significant correlations ( $P \geq 0.05$ ) between the variables studied.

**Keywords:** energy, digestibility, protein, rumen degradation, metabolism, metabolic profiles, dual-purpose cattle, tropical livestock.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería de doble propósito representa el 78% del inventario ganadero en América Latina tropical produciendo el 42% de la leche, sin embargo, son sistemas caracterizados por tener un bajo nivel de tecnificación, cuya productividad animal es baja debido al uso de forrajes de pobre calidad, mal manejo y baja calidad genética en sus animales (Argel, 2006).

Las gramíneas constituyen la principal fuente de alimentación para los rumiantes en zonas tropicales, no obstante, el mal manejo de las praderas deteriora la calidad y el rendimiento de estas (Torres, *et al.* 2020); lo anterior, repercute sobre los indicadores productivos, económicos y metabólicos de los hatos que se favorecen del consumo de las pasturas (Solís, *et al.* 2022).

En Costa Rica se ha documentado diversos factores que tienen efecto sobre la calidad y rendimiento de una pradera mejorada, dentro de las que se destacan el régimen hídrico, la presión de pastoreo, temperatura, viento, sistema de pastoreo y especies predominantes; considerándose importante la interacción entre todos los factores (Hernández-Chaves, *et al.* 2021). El mejoramiento de pasturas ha contribuido a

incrementar la productividad de sistemas de doble propósito, a través de una mayor disponibilidad de nutrientes si se brinda un buen manejo (Argel, 2006).

El ganado bovino de doble propósito presenta menores requerimientos nutricionales y una partición de nutrientes que se diferencia del ganado lechero especializado, sin embargo, el manejo de las pasturas y la suplementación escasa o inadecuada provocan baja eficiencia productiva y reproductiva (Avilés-Ruiz, *et al.* 2022).

Anteriormente se pensaba que los problemas metabólicos importantes como balance energético negativo, hipoglucemia, cetosis, hipocalcemia, hipomagnesemia e inmunosupresión eran propios de vacas lecheras especializadas, sin embargo, investigaciones como el trabajo de Lammoglia, *et al.* (2021) han demostrado la incidencia en hatos de doble propósito.

La valoración del estado nutricional de los bovinos se ha propuesto a través de perfiles metabólicos (Hammond y Chase, 1993), para lo cual se han desarrollado métodos prácticos y confiables como el uso de equipos portátiles para determinar la concentración en suero sanguíneo de glucosa y cetonas, que ya han sido validados para emplearlos en ganado de doble propósito (Lammoglia-Villagómez, *et al.* 2022).

La medición del nitrógeno ureico en sangre (BUN, por sus siglas del inglés) ha sido empleado para evaluar la relación entre proteína degradable en rumen PDR y fuentes de energía fermentable (FEF) en vacas lecheras (Hammond, 1998). Además, los niveles de creatinina y nitrógeno ureico se han correlacionado con la reproducción por medio de la identificación de un cuerpo lúteo funcional en vacas de doble propósito (Luna y Gonzales, 2018).

Los macrominerales como calcio, fósforo y magnesio participan en el equilibrio ácido-base y en la movilización del calcio tanto en ganado lechero, como en vacas de doble propósito. El control adecuado sobre el consumo de estos minerales fundamentado en los requerimientos permite disminuir la aparición de trastornos como infertilidad, retención placentaria, metritis, mastitis, hipocalcemia e hipomagnesemia (Avilés-Ruiz, *et al.* 2022).

El estudio de enzimas involucradas en el metabolismo ha permitido ampliar el uso del perfil metabólico como un indicador del estado metabólico de los animales (Ohmer y Mohamed, 2012). En el caso de las vacas lecheras se ha estudiado los niveles de la

enzimas fosfatasa alcalina (SAP), aspartato aminotransferasa (AST) y gamma glutamil transferasa (GGT), y la relación existente con el daño de células hepáticas, renales o musculo liso, según los intervalos reportados (Sanchez, 2020).

El objetivo de la presente investigación fue determinar la relación entre la nutrición y los perfiles metabólicos obtenidos en cuatro hatos de ganado bovino de doble propósito de la región Huetar Norte de Costa Rica. La hipótesis del estudio fue que el manejo nutricional deficiente en ganado doble propósito tiene impacto sobre los metabolitos sanguíneos evaluados. Con esta investigación, se ampliará la información sobre ganadería bovina de doble propósito en condiciones tropicales de bajura, abriendo nuevas oportunidades de investigación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización**

El estudio se efectuó en 4 fincas comerciales de ganado doble propósito durante enero de 2021 y octubre de 2022. Las fincas se ubican en el cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, en los distritos de Fortuna y Pital, con una altitud entre 60 y 254 msnm, en un régimen de precipitación de 3500 mm anuales, con una estación lluviosa de mayo a diciembre y una estación seca de enero a abril (Estación meteorológica del TEC, 2023).

El modelo de producción de las fincas evaluadas fue ordeño con presencia de la cría, y pastoreo como principal alimento dentro de la ración ofrecida a las vacas. Durante la ejecución del trabajo los animales pastorearon apartos delimitados por medio de cercas eléctricas, con periodos de ocupación no mayores a 24 horas, y períodos de descanso variables entre fincas (30 a 54 días). Como especies forrajeras presentes destacó pasto Toledo (*Urochloa brizantha* cv. Toledo), pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaza) y pasto Ratana (*Ischmaemum ciliare*). El nivel de suplementación entre fincas en general fue variable, empleando principalmente subproductos de avicultura (gallinaza) y agroindustria de frutas (piña), raíces (yuca) y tubérculos.



### **Selección de animales**

Cada finca se visitó cuatro veces, en la primera visita se seleccionó los animales según su fecha esperada de parto, se coordinó el trabajo de campo con las personas encargadas y se recopiló datos preliminares sobre las raciones de las vacas en producción. Con base en los datos obtenidos se determinó el consumo de materia seca (CMS) empleando la estimación descrita por NRC (2001) y mediante el programa Spartan Dairy 3.0, y la ingesta diaria de energía neta de lactancia (ENI), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra digestible (FDNd), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg). En tres visitas posteriores se desarrolló la fase experimental del estudio.

### **Recolección de muestras de forrajes y alimentos**

El ensayo consistió en obtener mediante medición directa la oferta de forraje por medio de la estimación de biomasa siguiendo la metodología del marco. Para ellos se cosechó tres submuestras el día previo al ingreso de los animales con un marco de 0,56 m<sup>2</sup> (0,75 x 0,75 m) a una altura entre 5–10 cm. Las tres submuestras fueron secadas en un horno de convección gravitacional a 60°C por 48 horas en el Laboratorio de Anatomía y Fisiología de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica (UCR). Posterior al secado, se obtuvo una muestra compuesta de al menos 500 g para análisis bromatológicos por medio de Espectroscopía del Infrarrojo Cercano (conocida como NIRS por sus siglas en inglés) en el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) de la UCR. Las muestras de forrajes Toledo (*Urochloa brizantha* cv. Toledo) y Mombaza (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaza) se analizaron utilizando una curva global para pastos, desarrollada por el CINA y se incluyó las variables proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (Cen), Fibra detergente neutro tratada con amilasa ( $\alpha$ FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), nitrógeno soluble en detergente neutro (NSDN), nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDA), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). La muestra de pasto ratana (*Ischmaemum ciliare*) se analizó por química húmeda en el CINA para las variables (método de referencia) PC por combustión (AOAC 990.03), fibra detergente neutro (AOAC 2002.04), fibra detergente ácida (AOAC 973.18). El valor de materia seca fue determinado mediante secado en horno de convección a 60°C durante 48 horas.

La ración para cada finca se determinó a partir de la información suministrada por el propietario o encargado de cada unidad productiva.

Los suplementos administrados en cada finca fueron, finca 1: cáscara de yuca, pollinaza, alimento balanceado para vacas lecheras 16% PC y 1,85 Mcal/kg ENI, maíz molido, harina de soya, urea, melaza deshidratada (5% humedad) adicionada con sal mineral, pasto picado de corte (*Cenchrus purpureum*), sal blanca y premezcla mineral; finca 2: premezcla minera y “MM sólido” microorganismos de montaña obtenidos según el método descrito por Moya, (2012); finca 3: corona de piña picada, alimento balanceado para vacas lecheras 16% PC y 1,85 Mcal/kg ENI, melaza, sal blanca y premezcla mineral; finca 4: raíces de yuca de rechazo agrícola tipo “bolilla”, sal blanca y premezcla de minerales. Se emplearon datos de campo generados a partir del ejercicio profesional para los suplementos que no cuentan con información publicada, además se tomó como referencia la información comercial registrada para cada producto en la Dirección de Alimentos para Animales de SENASA, y datos publicados por Mata (2017) para determinar el perfil nutricional de las raciones a través de la plataforma Spartan Dairy 3.0, para lo cual se cargó la información de cada suplemento y se corrió un balance para animales Pardo Suizo, de 450 kg de PV, actividad media, y producción diaria de 10 kg, 4% de grasa láctea. Para validar la información y corroborar el balance, se emplearon los requerimientos nutricionales para vacas de doble propósito publicados por Anrique (2014), citado por Áviles-Ruíz, *et al.* (2022).

### **Procedimientos de toma de muestra y análisis de sangre**

Se tomó muestras sanguíneas de 10 ml en tubo al vacío sin anticoagulante de 26 vacas en producción entre 2 y 146 días posparto, con tres repeticiones y se determinó la concentración en suero sanguíneo de 10 metabolitos: glucosa, cetonas, nitrógeno ureico, creatinina, calcio, fósforo, magnesio, enzimas fosfatasa alcalina, aspartato aminotransferasa y gamma glutamil transferasa. El análisis de muestras de sangre se ejecutó en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional, de Costa Rica. Para la recolección de las muestras de sangre se contó con el visto bueno del Comité Institucional de Cuido y Uso de Animales (CICUA) de la UCR aprobado en su sesión 214-2021 (oficio CICUA-024-2021 del 09 de abril de 2021).

### **Diseño del experimento**

Se obtuvo una base de datos que incluyó 36 variables bromatológicas y 14 variables metabólicas, de 78 entradas (26 vacas por 3 repeticiones). Con el propósito de reducir la dimensionalidad en la base de datos se desarrolló un análisis de componentes principales

(conocido como PCA, por sus siglas en inglés), y determinar la tendencia de tres nuevas variables (componentes) empleando como criterio de selección aquellos componentes que aporten variables con cargas individuales mayores a 0,5, que en conjunto pudieran explicar la mayor cantidad de variabilidad en la información obtenida, utilizando como parámetro una carga acumulada mínima de 80% para los tres primeros componentes. (es importante definir que es un método alternativo de análisis estadístico) Se realizaron coeficientes de correlación de Pearson para las variables del estudio para determinar asociaciones entre estas, utilizando un valor de P inferior o igual a 0,05 para demostrar significancia en la correlación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo de materia seca (CMS) como promedio poblacional se estimó en 8,54 kg diarios empleando el método descrito por Mertens (1987), citado por Cruz y Sánchez (2000); el promedio diario de ingesta calculada con Spartan Dairy 3.0 de energía neta de lactancia fue 11,39 Mcal, proteína cruda de 0,814 kg, fibra detergente neutra digestible de 3,069 kg, calcio de 18,76 g, fósforo de 11,94 g y magnesio de 6,82 g. Según lo reportado por Anrique (2014), citado por Avilés-Ruiz, *et al.* (2022) estos valores se consideran deficientes para MS (-1,56 kg/día), PC (-1,056 kg/día), ENI (-0,61 Mcal/día), Ca (-20 g/día) y P (-16 g/día), basado en los requerimientos nutricionales de vacas de doble propósito con una producción de 10 kg de leche al día.

La bromatología de los forrajes (Cuadro 1) indicó un promedio de fibra detergente neutra (FDN) de 69,09% con una digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de 68,94%, y digestibilidad *in vitro* de la FDN (DIVFDN) de 55,59%. Estos valores influyeron negativamente sobre las estimaciones de consumo de materia seca (cuadro 2), tal como describe Mertens (1985) donde a mayor nivel de FDN en la pradera, menor CMS y por ende menor potencial de producción de leche corregida por grasa al 4% para ganado lechero.

**Cuadro 1.** Contenido nutricional de forrajes utilizados en sistemas de pastoreo en cuatro fincas comerciales de ganado bovino de doble propósito en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

Análisis	Finca				
	1	2	3	4*	
Especie	Toledo	Mombaza	Toledo	Ratana <sup>3</sup>	Mombaza
Edad días	30	54	36	42	42
Materia seca %	17,9	17,6	26,5	22,3	27,2
Proteína cruda % <sup>1</sup>	14,0	9,0	3,9	9,16	6,4
Extracto etéreo % <sup>1</sup>	3,9	3,0	2,7	-	2,0
Cenizas % <sup>1</sup>	16,3	15,5	10,4	-	9,3
Fibra detergente neutra % <sup>1</sup>	61,8	71,2	75,6	66,1	71,6
Fibra detergente ácida % <sup>1</sup>	35,6	40,1	41,6	30,9	40,8
Lignina detergente ácida % <sup>1</sup>	2,2	3,1	3,8	-	4,8
N insoluble en detergente neutro % <sup>1</sup>	1,2	0,7	0,2	-	0,7
N insoluble en detergente ácido % <sup>1</sup>	0,19	0,2	0,13	-	0,27
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS %MS <sup>1</sup>	81,7	72,4	62,8	-	58,1
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la FDN %FDN <sup>1</sup>	70,3	61,3	50,8	-	41,5
Celulosa% <sup>1</sup>	33,4	37,0	37,8	-	36,0
Hemicelulosas% <sup>1</sup>	26,3	31,2	34,1	-	30,8
Carbohidratos no fibrosos % <sup>1</sup>	11,2	5,4	8,7	-	14,9
Proteína de sobrepaso % <sup>1</sup>	7,3	4,1	1,3	-	4,1
Proteína no degradable % <sup>1</sup>	1,2	1,2	0,8	-	1,7
Consumo de materia seca %PV <sup>2</sup>	1,94	1,69	1,59	1,82	1,68
Total de nutrientes digestibles % <sup>2</sup>	58,2	55,8	56,7	-	56,2
Energía neta de lactancia Mcal/kg MS <sup>2</sup>	1,39	1,18	1,19	-	1,17

<sup>1</sup>NIRS, Métodos de referencia: ISO 12099. Animal feeding stuffs, cereal and milled cereal products.

<sup>2</sup>Valores obtenidos a partir de ecuaciones propuestas por Mata (2017) en base a las predicciones NIRS. <sup>3</sup> los valores para pasto ratana se obtuvieron por química húmeda. La materia seca fue obtenida por secado al horno 60°C durante 48 horas. \*en la finca 4 se evaluaron dos especies de pasto debido a la paridad de población.

En concordancia con los resultados obtenidos para FDN y DIVMS, Lemus, *et al.* (2021) determinaron niveles de FDN de 66,80% y DIVMS de 67,04% para *Megathyrus maximus* en Nicaragua, dichos autores clasifican esta pastura como de menor calidad nutricional de cinco evaluadas en el estudio a partir de los valores de fibra.

El contenido óptimo de FDN en una ración para vacas lecheras de baja producción es 44% de la materia seca (NRC, 2001). Independientemente del nivel de suplementación en las cuatro fincas evaluadas los valores superaron ese parámetro, encontrándose dietas dentro del rango de FDN de 57,83 a 71,60% de la MS (media de 65,05%, cuadro 2). Esto significa un alto contenido de carbohidratos estructurales de lenta degradación ruminal (3 a 12 por ciento/hora), limitando el contenido de carbohidratos no fibrosos de rápida degradación ruminal (20 a 10 por ciento/hora) que son fuente de energía fácilmente disponible para los procesos de fermentación ruminal (Mertens 1992, citado por Cruz y Sánchez, 2000).

Solís *et al.* (2022) estudiaron tres especies forrajeras y su potencial productivo en ganado de doble propósito por medio de estimación energética, empleando los métodos descritos por Mc Dowell *et al.* (1974), NRC (2001) y García *et al.* (2008). Dichos autores encontraron que especies cuyo contenido de FDN fue mayor, demostraron tener un menor potencial de producción de carne y leche, siendo el contenido de fibra el factor con mayor impacto sobre el potencial energético.

Adicionalmente López-Herrera, *et al.* (2016) determinaron contenidos de FDN entre 46,86 y 71,06% de la MS en diferentes ensilados compuestos por corona de piña, pulpa de cítricos deshidratada y heno, determinando a través de la relación entre la FDN y el CMS propuesta por Beylea, *et al.* (1996) que ninguno de los ensilajes estudiados debe ser usado como única fuente de alimento de vacas en producción, debido a sus limitaciones de consumo que no cubren la demanda de MS. A su vez, Soto-Murillo y Sánchez-González (1998) estimaron la calidad nutricional de pastos de fincas comerciales productoras de leche del cantón de San Carlos, observando que los niveles elevados de FDN de algunas especies pueden comprometer el consumo de materia seca.

La proteína cruda promedio de los forrajes fue de 7,82% (Cuadro 1), sin embargo, la dieta evaluada en la finca 4 tuvo un mínimo de PC de 5,78% (Cuadro 2), debido al bajo contenido de este nutriente en el pasto mombaza (6,07% de PC), y el uso de raíces de yuca como único suplemento. Lo que significa una deficiencia marcada de proteína, y un

aporte de nitrógeno amoniacal por debajo del mínimo indicado para propiciar la salud ruminal (NRC, 2001). Esto coincide con evaluaciones del balance proteico en sistemas de doble propósito en México que demostraron ser deficitarias, cubriendo únicamente el 68% del requerimiento debido a la cosecha de pastos con niveles bajos de proteína, y la suplementación con subproductos y materiales energéticos como caña de azúcar, rastrojos de maíz y melaza (Macedo, *et al.* 2008).

El efecto que tiene la suplementación con alimentos energéticos como derivados de la caña de azúcar y maíz sobre la densidad proteica es de dilución de las dietas, principalmente cuando ocurre en conjunto a una base de forraje de baja calidad, marcando deficiencias de proteína importantes, como las observadas en tres de las cuatro fincas evaluadas. Esta condición puede ser corregida de manera práctica mediante la incorporación a la dieta de urea o pollinaza, tal como demuestra el trabajo de Arroyo, *et al.* (2003) en que el uso de estos mejoró la respuesta de animales suplementados con ensilaje de pulpa de pejibaye, con incrementos significativos ( $P < 0,05$ ) en la ganancia diaria de peso del tratamiento con pollinaza (1,034 kg) y urea (1,021) con respecto al control (0,719 kg).

**Cuadro 2.** Estimación de perfiles nutricionales para materia seca (MS), proteína cruda (PC), energía neta de lactancia (ENI) y fibra detergente neutro (FDN) y consumos diarios por animal de MS, ENI, PC, calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg) para cuatro fincas comerciales de ganadería doble propósito en la región Huetar Norte de Costa Rica.

	Nutriente	Unidad	Finca				Promedio
			1	2	3	4	
Perfil nutricional de las raciones <sup>1</sup>	Materia seca	%	47,57	23,83	50,64	23,32	36,34
	ENI	Mcal/kgMS	1,47	1,08	1,35	1,41	1,33
	PC	%MS	15,39	7,4	10,12	5,78	9,67
	FDN	%MS	57,83	71,6	66,41	64,36	65,05
Consumos diarios por animal <sup>1</sup>	MS	Kg	9,34	7,54	8,13	8,39	8,54
	ENI	Mcal	13,73	8,15	10,98	11,83	11,39
	PC	Kg	1,44	0,56	0,82	0,48	0,81
	Ca	g	23,08	6,99	16,75	10,37	18,76
	P	g	20,77	5,83	15,08	9,33	11,94
	Mg	g	7,48	2,13	6,25	5,01	6,82

<sup>1</sup> estimación realizada a partir del consumo suplementos informado por la persona encargada en cada finca, estimando el consumo de forraje por diferencia y la ecuación propuesta por Mertens (1985).

Durante la investigación, la finca 1 suplementó con pollinaza y urea, se estimó un valor de PC de 15,39% (Cuadro 2) en la materia seca en la ración diaria, aunado al uso de este material, el forraje consumido presentó la mejor calidad bromatológica (Cuadro 1) respecto a las otras fincas (Toledo con 17,90% MS, 14,00% PC, 61,30% FDN, 35,60% FDA, 81,70% DIVMS y 70,30% DIVFDN).

La oferta de forraje (Cuadro 3) para las cuatro fincas tuvo un promedio de 0,271 kg MS/m<sup>2</sup>, con contenido de 23,74% de materia seca, y 1,141 kg MF/m<sup>2</sup> de forraje fresco ofertado. Los valores por finca para oferta de forraje base seca (kg MS/m<sup>2</sup>), porcentaje de MS (%) y oferta de forraje base fresca (kgMF/m<sup>2</sup>) fueron respectivamente: F1: 0,260 – 20,18 – 1,288; F2: 0,240 – 23,36 – 1,027; F3: 0,361 – 28,62 – 1,261 y F4: 0,223 – 21,48 – 1,038.

**Cuadro 3.** Oferta de forraje (kg MS/m<sup>2</sup>) determinado con método del marco en cuatro fincas comerciales de ganado bovino de doble propósito en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

Finca	Muestreo			Promedio por finca
	1	2	3	
1	0,256	0,341	0,183	0,260
2	0,267	0,264	0,189	0,240
3	0,351	0,329	0,402	0,361
4	0,197	0,184	0,288	0,223
Promedio general				0,271

En contraste con los datos obtenidos, Hernández-Chaves, *et al.* (2021) obtuvieron 0,572 kgMS/m<sup>2</sup> durante la evaluación de cuatro años consecutivos en una *Ischaemum ciliare*) con 42 días de rebrote, y un promedio ponderado de 2,4 días de ocupación con machos de engorde, bajo el modelo de PRV (pastoreo racional Voisin) en la Región Huetar Caribe.

Argel (2006) estimó que la incorporación de especies mejoradas del género *Urochloa* representó un incremento en producción de 26% en leche y 6% en carne proveniente de sistemas de doble propósito para la región de Panamá, México y Centroamérica. No obstante, Torres, *et al.* (2020) observaron que los mejores rendimientos y valores de

proteína cruda para los cultivares Mulato II, Cobra y Cayman se obtienen cosechando con frecuencias entre los 28 y 35 días.

Lo anterior permite relacionar la baja calidad bromatológica (Cuadro 1) determinada en las pasturas con las frecuencias de pastoreo observadas, cuya media para las cuatro fincas fue de 40,5 días. Únicamente la finca 1 tuvo frecuencias de cosecha menores a 35 días en las pasturas evaluadas. Otro factor importante sobre la calidad es la profundidad de cosecha lograda durante la ocupación ( $\leq 24$  horas), la cual, aunque no fue medida en este estudio, se conoce que tiene efecto sobre la calidad del forraje en el rebrote posterior (Torres, *et al.* 2020).

En el Cuadro 4 se observa un resumen de los datos de metabolitos en suero sanguíneo por finca. Se desarrolló un análisis de componentes principales para determinar la posibilidad de reducir a tres variables que expliquen un mínimo de 80% de las fuentes de variación en los datos, este análisis fue ejecutado mediante el programa RStudio, incluyendo 36 variables relacionadas con la nutrición, y 14 variables metabólicas obtenidas de los valores en suero sanguíneo.

**Cuadro 4.** Metabolitos analizados en suero sanguíneo de cuatro hatos de doble propósito en producción en la región Huetar Norte de Costa Rica.

Metabolito	Unidad	Finca				Promedio
		1	2	3	4	
Glucosa	mg/dl	48,28	47,06	40,33	46,19	45,29
Cetonas	mmol/l	1,53	0,60	0,80	0,52	0,85
N. Ureico	mg/dl	7,33	9,50	6,81	8,48	8,00
Creatinina	mg/dl	0,92	0,99	0,98	1,00	0,97
Fósforo	mg/dl	4,74	6,51	5,53	5,83	5,66
Calcio	mg/dl	8,13	8,34	8,32	8,59	8,36
Magnesio	mg/dl	3,83	3,54	2,37	2,34	2,97
SAP	U/l	121,61	166,94	147,29	110,52	136,00
AST	U/l	99,44	79,89	83,90	80,81	85,73
GGT	U/l	27,78	16,33	15,52	17,10	18,96
Leche	kg/día	12,25	6,43	8,12	6,84	8,34
GPD <sup>1</sup> crías	kg/día	0,46	0,27	0,23	0,27	0,30
						Total
UE <sup>2</sup>	vacas	6	6	7	7	26
Repeticiones	Nº	18	18	21	21	78

<sup>1</sup> ganancia de peso diaria en las crías durante el periodo de evaluación,<sup>2</sup> unidades experimentales: vacas distribuidas en fincas



Según Mair, *et al.* (2016) la media poblacional para glucosa denota normoglicemia ( $40 < X < 60$  mg/dl), dicho comportamiento se mantuvo individualmente por finca (Cuadro 4). La concentración sérica de cetonas demostró normalidad ( $< 1,2$  mmol/l) a nivel poblacional según lo reportado por Roche (2012), basado en este criterio se determina la presencia de cetosis subclínica para la finca 1 ( $1,2 < X < 2,0$  mmol/l). Los resultados generales obtenidos para nitrógeno ureico ( $< 15$  mg/dl) indican un desbalance entre el consumo de proteína degradable en rumen respecto a las fuentes de energía fermentable en el rumen (Hammond, 1998). Esto concuerda con la baja cantidad de proteína cruda presente en los forrajes (Cuadro 1), y en las raciones (Cuadro 2), encontrándose un desbalance importante ( $-1,06$  kg PC/día) según los requerimientos nutricionales para vacas de 450 kg con producción promedio de 10 kg diarios reportado por Anrique (2014), citado por Avilés-Ruiz, *et al.* (2022). La concentración sérica general de creatinina supera el máximo (0,86 mg/dl) indicado en el intervalo general reportado para vacas lecheras de diferentes niveles de producción por Nozad, *et al.* (2012), lo que podría estar relacionado al desgaste corporal que sufren las vacas estudiadas por su desbalance energético y proteico (Luna y Gonzales, 2018).

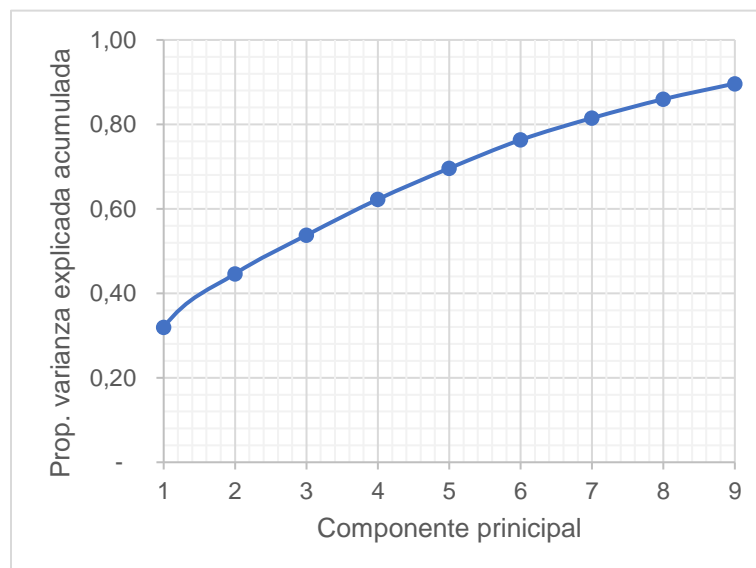
Los resultados obtenidos para los tres macrominerales estudiados (media poblacional de  $\text{Ca}=8,36$  mg/dl,  $\text{P}=5,66$  mg/dl y  $\text{Mg}=2,97$  mg/dl) se consideran por encima del mínimo según los criterios establecidos por Sánchez y Saborío-Montero (2014) para calcio (hipocalcemia subclínica  $< 8$  mg/dl; hipocalcemia clínica  $< 5,5$  mg/dl) y magnesio (hipomagnesemia  $< 1,8$  mg/dl), y Goselink, *et al.* (2015) para fósforo (hipofosfatemia  $< 4$  mg/dl), ambos criterios desarrollados en vacas lecheras.

La concentración de AST obtenida (85,73 U/l) se encuentra sobre el umbral determinado para vacas lecheras (28,40 U/l) por Ohmer y Mohamed (2012), sin embargo, un estudio más reciente desarrollado por Sánchez (2020) indica que aumentos moderados de AST ( $\leq 150$  U/l) no representa específicamente una enfermedad hepática, sino más bien indica lesión a nivel de musculo esquelético o cardiaco, con pocas posibilidades de que los individuos desarrollen problemas secundarios (hígado graso, edemas y ascitis).

En el presente estudio se desarrolló el método estadístico de Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de identificar asociaciones entre los datos recopilados para los metabolitos y variables bromatológicas, este procedimiento agrupa los datos determinando grupos de componentes para los que asigna una carga (estadística) por

variable, siendo necesario un valor absoluto superior a 0,5 para considerar una variable como parte del componente principal. Para validar la potencia del método se buscaba que un 80% de variabilidad se explicará a partir de los tres primeros componentes (presentando una carga acumulada de los tres primeros componentes superior a 80,00%).

En la Figura 1 se muestra la carga acumulada de los tres primeros componentes con 53,77%, indicando que sería necesario abordar 7 componentes para obtener una carga acumulada superior al 80%, lo que indica que los datos que originan este análisis son disimiles entre sí, encontrando poca potencia para reducir la dimensionalidad de la base de datos. A su vez, no fue posible encontrar una combinación entre las variables estudiadas que reduzca a tres variables que logren explicar un porcentaje importante ( $\geq 80\%$ ) de la variabilidad en el banco de datos (Terrádez, 2000).



**Figura 1.** Proporción de la varianza explicada acumulada para los primeros 9 componentes principales realizado con 50 variables nutricionales y metabólicas de cuatro hatos de ganado de doble propósito en la región Huetar Norte de Costa Rica.

Vilaboá y Díaz (2009) emplearon un ACP para caracterizar sistemas de producción de doble propósito en México según el uso de tecnología y nivel socioeconómico de los productores, agrupando las variables medidas en 3 nuevas (componentes principales), en contraste a los resultados del presente estudio, difiere por el uso de variables categóricas.

En la presente investigación se estudiaron las asociaciones directas entre variables mediante coeficientes de correlación de Pearson, no obstante, no se encontró ninguna correlación significativa ( $P > 0,05$ ) entre los datos bromatológicos, dietarios y la oferta forrajera con los metabolitos. Basados en los datos del Cuadro 3, los promedios demostraron normoglicemia bovina en las cuatro fincas y el promedio general, sin embargo, la finca 1 demostró tener un promedio que indica cetosis subclínica, lo que contrasta con lo observado por Lammoglia-Villagómez, *et al.* (2022) en ganado de doble propósito, dichos autores encontraron una correlación altamente significativa ( $-0,56$  y  $P < 0,0001$ ) entre el valor de glucosa y beta hidroxibutirato determinados por glucómetro portátil, sin embargo, no fueron realizadas asociaciones con variables nutricionales.

Avilés-Ruiz, *et al.* (2022) indican que el balance energético negativo es el principal factor nutricional asociado a la incidencia de cetosis. La movilización de reservas corporales se vincula con la concentración de cuerpos cetónicos en suero sanguíneo (Saborío y Sánchez, 2016). Lo que puede explicar la cetosis subclínica encontrada en la finca 1 considerando que presenta mayor demanda energética ligada a su producción (12,25 kg/vaca/día), pese a tener mejor calidad en su oferta forrajera (Cuadro 1), y encontrar valores glicémicos normales.

A pesar de no determinarse correlación significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre el consumo de proteína y la concentración de nitrógeno ureico en suero sanguíneo, Lascano y Holmann (1997) determinaron que el BUN puede ser empleado para determinar el estado nutricional de vacas doble propósito. Por su parte, Chase *et al.* (1993) constataron la reducción en el nitrógeno ureico sanguíneo de toros de engorde de 19,7 a 5,6 mg/dl cuando se duplicó la concentración de energía de mantenimiento y se conservó constante el consumo de proteína en la dieta. Hammond (1998) propone que para vacas lecheras el balance entre proteína degradable en rumen y fuentes de energía fermentable se da cuando el valor del BUN se encuentra entre 15 y 19 mg/dl.

Luna y Gonzales (2018) demostraron que no hubo correlación entre nitrógeno ureico y creatinina con la ciclicidad determinada por la presencia de un cuerpo lúteo funcional en 70 vacas productoras de leche. Este reporte concuerda con los resultados para ambos metabolitos al evaluar su correlación con variables nutricionales en el presente estudio. En contraposición a los resultados obtenidos, Zapata (2020) encontró correlación ( $P < 0,05$ )

entre el contenido de proteína cruda del forraje con el nitrógeno ureico sanguíneo medido en 30 hembras bovinas de aptitud lechera.

En el presente estudio hubo mayor incidencia (91,03%) de hipouremia (<15 mg/dl) (Hammond, 1998), no se observó casos de hiperuremia, sin embargo la investigación realizada por Barrios, *et al.* (2014) evidenció menor producción de leche acumulada a 270 días (1306,5 kg), para vacas de doble propósito sometidas a hiperuremia ( $\geq 20$  mg/dl) respecto a sus pares en normouremia (<20 mg/dl) con producción de 2105,9 kg de leche durante 270 días, con diferencias significativas ( $P=0,0001$ ), por lo que proponen la valoración del BUN al inicio de la lactancia como un predictor de la producción de leche acumulada en vacas de doble propósito.

No hubo correlación entre el consumo de calcio, fósforo y magnesio con sus niveles sanguíneos respectivamente. No obstante, en un estudio realizado en vacas de doble propósito por Barrios, *et al.* (2013), determinaron una relación directa ( $r^2=0,91$ ) entre el fósforo sérico y el presente en el suelo, además encontraron una significativa relación entre los valores séricos de fósforo y la suplementación mineral, con un coeficiente de Pearson ( $r^2 = 0,93$  ( $p < 0,05$ )). Aunado a esto, existe evidencia de la asociación existente entre el consumo de calcio y magnesio de vacas lecheras de raza Jersey, con la incidencia de hipocalcemia e hipomagnesemia (Sánchez y Saborio-Montero, 2014, Sánchez y Saborío, 2014).

Los principales hallazgos del estudio comprenden el alto nivel de fibra observado en los pastos (Cuadro 1) que merma la calidad nutricional de estos, cuyo factor determinante es el manejo de la frecuencia de pastoreo. A su vez, el alto contenido de FDN en las praderas y la inadecuada planificación de la suplementación genera un consumo bajo de materia seca (-1,56 kgMS/día), y deficiencias importantes de proteína cruda (-1,056 PC kg/día), y moderadas de energía (-0,61 Mcal ENI/día) (Anrique, 2014, citado por Avilés-Ruiz, *et al.* 2022). Se encontró alteraciones importantes en el nivel de nitrógeno ureico sanguíneo, con una incidencia poblacional de este metabolito por debajo del valor de referencia. Sin embargo, a pesar de encontrar relaciones prácticas que asocian desbalances con indicadores metabólicos, no fue posible reducir las variables del estudio en un ACP, permitiendo relacionar los aspectos nutricionales con los perfiles metabólicos.

## **CONCLUSIONES**

Los niveles de FDN de los forrajes utilizados en las cuatro fincas comerciales donde se desarrolló la investigación comprometen de forma importante el consumo de materia seca de las vacas productoras.

La calidad nutricional de los forrajes evaluados se vio comprometida principalmente por la frecuencia de pastoreo, siendo primordial el manejo de edades de cosecha que disminuyan el contenido de pared celular (FDN).

A partir de la estimación de consumo y los requerimientos de referencia para vacas de doble propósito se determinaron deficiencias de materia seca, energía neta de lactancia, proteína cruda, calcio, fósforo y magnesio en las raciones consumidas.

Las variables evaluadas en el presente estudio por su grado de disimilitud no permitieron reducir a un número de variables menor la base de datos por medio del ACP.

Los datos recopilados no permitieron asociar los analitos metabólicos con las variables bromatológicas de los forrajes y nutricionales de las raciones consumidas, sin embargo ampliar el número de unidades experimentales y repeticiones, además de cuantificar otras variables como condición corporal, consumo de materia seca por medición directa, peso vivo, producción de leche individual y número de partos, puede dar origen a futuras investigaciones que demuestren la relación existente entre las variables.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Anrique, R. 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. 4ta. Edición. Universidad austral de Chile. ISBN 978-956-8765-04-0.

Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2006. Vol. 14 (2): 65 – 72. Y

Arroyo, C., Rojas-Bourrillón, A., Rosales, R. 2003. Urea o pollinaza como suplemento proteico para toretes consumiendo ensilaje de pulpa de pejibaye. Agronomía Costarricense 27(2): 69-73.

Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O., Alcalá-Rico, J., Chavira, J., Flores-Nájera, M., Ruiz-Albarrán, M. 2022. Deficiencias nutricionales que afectan al reinicio de la ciclicidad posparto en bovinos doble propósito. *Revista Científica Abanico Veterinario*. Vol. 12 (1): 1 – 21.

Barrios, M., Sandoval, E., Borges, J. A., Sánchez, D. 2013. Efecto de una suplementación mineral sobre fósforo sérico, parámetros productivos y reproductivos en vacunos doble propósito de fincas deficientes en fósforo edáfico. *REDVET* Vol. 14 (2).

Barrios, M., Sandoval, E., Borges, J. A., Sánchez, D., Bastardo, Y. 2014. Comportamiento productivo de vacas de doble propósito con niveles elevados de urea sérica (hiperuremia). *Mundo Pecuario*, N° 2, 84-89.

Belyea, R., B. Steevens, G. Garner, J. Whittier, and H. Sewell. 1996. Using NDF and ADF to balance diets. Missouri University Extension: g3161. MO, USA.

Chase, C. C., Larsen, R. E., Hammond, A. C., Randel, R. D. 1993. Effect of dietary energy on growth and reproductive characteristics of Angus and Senepol Bulls during summer in Florida. *Theriogenology*. Vol. 40 (1): 43 – 61.

Cruz, M., Sánchez, J.M. 2000. Fibra en la alimentación del ganado lechero. *Revista Nutrición Animal Tropical*, Vol. 6 (1). 39 – 74.

García, D., Wencomo, H., González, M., Medina, M., Cova, L., Spengler, I. 2008. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Trop*. Vol. 26 (1).

Goselink, R. M. A., Klop, G., Dijkstra, J., Bannik, A. 2105. Phosphorus metabolism in dairy cattle: literature study on recent developments and gaps in knowledge. Wageningen UR Livestock Research (Livestock Research rapport 910) – 36.

Hammond, A., Chase, C.C. 1997. Uso de indicadores en la sangre y la leche para determinar el estado nutricional y reproductivo del ganado vacuno. Estación de Investigación Agrícola Subtropical, USDA.

Hammond, A. 1998. Use of BUN and MUN as Guides for Protein and Energy Supplementation in Cattle. *Revista Corpoica* (2): 44 – 48.

Hernández-Chaves, M., Abarca-Monge, S., Soto-Blanco, R. 2021. Efecto del clima en animales pastoreando cayman en el trópico muy húmedo de Costa Rica. Alcances Tecnológicos. 14(1): 84 - 97.

Lammoglia, M. A., Avalos, I., Cabrera, A., Rojas, M. R., Garcez, N., Tabarez, A. 2021. Indicators of immunosuppression peripartum in dual purpose cows in the tropics affected health, productive and reproductive parameters. Animal Reproduction Vol. 18(4):2-9.

Lammoglia-Villagómez, M. A., Chagoya-Fuentes, J. L., Rojas-Ronquillo, M.R., Cruz-Sánchez, P., Cabrera-Nuñez, A, 2022. Diagnóstico práctico y económico de cetosis por medio de un modelo lineal utilizando la correlación de glucosa y betahidroxibutirato en sangre en vacas de doble propósito. Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan 10 (2): 83 – 94.

Lascano, C. E., Holmann, F. 1997. Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Centro Internacional de Agricultura Tropical. ISBN 958-9439-93-4.

Lemus, R., Van der Hoek, R., Newman, Y.C., Mena M.; Albrecht K.A. 2021 Effects of maturity and drying method on the nutritive value of tropical grasses in Nicaragua. Conference paper prepared for The International Grassland & International Rangeland Kenya 2021 Virtual Congress, 25 – 29 October 2021. 4 p.

López-Herrera, M., WingChing-Jones, R., Rojas-Bourrillón, A. 2016. Bromatología de ensilados de corona de piña con pulpa de cítricos, heno y urea. Agronomía Mesoamericana Vol. 27 (1): pp. 37 - 47.

Luna, J. E., Gonzales, O. A. 2018. Correlación de los niveles sanguíneos de nitrógeno ureico y creatinina con la tasa de preñez en vacas sometidas a dos protocolos de sincronización y las prácticas de manejo en las fincas productoras de leche del trópico alto del departamento de Nariño. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias.

Macedo, R., Galina, M., Zorrilla, J. 2008. Balance forrajero, energético y proteico de un sistema de producción tradicional de doble propósito en México. Zootecnia Trop. Vol. 26 (4).

Mair, B; Drillich, M; Kleim; Kanz, P; Borchardt, S; Meyer, L; Schwendenwein, I; Iwersen, M. 2016. Glucose concentration in capillary blood of dairy cows obtained by a minimally invasive lancet technique and determined with three different hand- held devices. BMC Veterinary Research 12(34).

Mata, L. 2017. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. 2. ed. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Centro de Investigación en Nutrición Animal.

McDowell, L.R., Conrad, J.H., Thomas, J.E., Harris, L.E. 1974, Latin American Tables of Feed Composition USA: University of Florida Dept of Animal Science

Mertens, D. R. 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. Page 1 in Georgia Nutr. Conf., Univ. Georgia, Athens.

Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim. Sci. 64: 1548.

Mertens, D.R. 1992. Nonstructural and structural carbohydrates. In: Large dairy herd management. H.H. Van Horn y C.J. Wilcox (eds.). American Dairy Sci. Association. III. USA. 219-239 p.

Moya, J.C. 2012. Como hacer microorganismos eficientes. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Regional Central Occidental, Unidad de Información y Comunicación, Extensión Agropecuaria. Hoja divulgativa No. 4.

National Research Council. 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 381 p.

Nozad, S; Ramin, A; Moghadam, G; Asri, S; Babapour, A; Ramin, S. 2012. Relationship between blood urea, protein, creatinine, triglycerides and macro- mineral concentrations with the quality and quantity of milk in dairy Holstein cows. Veterinary Research Forum 3(1): 55 – 59.



Ohmer, A; Mohamed, A. 2012. Metabolic and Endocrine Responses of Crossbred Dairy Cows in Relation to Pregnancy and Season Under Tropical Conditions. *American-Eurasian J. Agricultural and Environment Sciences*. 12(8): 1065 – 1074.

Roche, J. 2012. Avoiding metabolic diseases around calving. *Dairy NZ Technical Series* 6(4): 13 – 18.

Saborío, A; Sánchez, J. 2016. Relación entre la concentración sanguínea de  $\beta$ -hidroxibutirato e indicadores productivos, reproductivos y de salud de hatos Jersey y Holstein. *Agronomía Costarricense* 40(1) 2016.

Sánchez, C. 2020. Evaluación de funcionalidad de hígado mediante perfiles hepáticos en vacas lecheras en el sub-trópico sometidas a un protocolo de lacto-inducción en Nanegalito provincia de Pichincha. Universidad de las Américas, Quito.

Sánchez, J; Saborío, A. 2014. Prevalencia de hipocalcemia en cuatro hatos Jersey en pastoreo en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 38(2) 2014: 33 – 41.

Sánchez, J; Saborío-Montero, A. 2014. Hipocalcemia e hipomagnesemia en un hato de vacas Holstein, Jersey y Guernsey en pastoreo. *Agronomía Costarricense* 38(2): 55 – 65

Solís, L.A., Meneses, G., Villacrés, J. 2022. Aporte energético de especies forrajeras para producción de ganado bovino de doble propósito. *Archivos de zootecnia* vol. 71 núm. 274, 82 p.

Soto-Murillo, H., Sánchez-González, J. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos II. Componentes de la pared celular. *Nutrición Animal Tropical*. Vol. 4 (1).

Terradéz, M. 2000. Análisis de componentes principales. Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD). OEC.

Torres, N., Moctezuma, M., Rojas, A. R., Maldonado, M. A., Gómez, A., Sánchez, P. 2020. Comportamiento productivo y calidad de pastos híbridos de *Urochloa* y estrella pastoreados con bovinos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* Vol.11 (24).

Vilaboa, J., Díaz, P. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Trop.* Vol. 27 (4).

Zapata, R. 2020. Correlación de los niveles de proteína cruda del forraje con relación a condición corporal, nitrógeno ureico en sangre y valores del hemograma, en unidades ganaderas lecheras tradicionales y de transición agroecológica. Universidad Antonio Nariño.

Zelal, A. 2017. Hypomagnesemia Tetany in Cattle. *Journal Advances in Dairy Research.* 5 (2).