

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS

**OPTIMIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN UTILIZADAS EN
UN REBAÑO DE GANADO CAPRINO LECHERO EMPLEANDO TECNOLOGÍA
DE INFORMACIÓN**

ABDELYN PAOLA HERNÁNDEZ ESPARZA

8-993-176

PROFESOR ASESOR:

AUDINO MELGAR M., PH.D.

I SEMESTRE

2026

**OPTIMIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN UTILIZADAS EN
UN REBAÑO DE GANADO CAPRINO LECHERO EMPLEANDO TECNOLOGÍA
DE INFORMACIÓN**

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

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS PECUARIAS**

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

APROBADO:

AUDINO MELGAR M., Ph. D.

ASESOR

VÍCTOR SÁNCHEZ, M. Sc.

MIEMBRO

GERARDO SANDOYA, M. Sc.

MIEMBRO

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2026

Dedicatoria

Este trabajo de tesis está dedicado a mi mamá, Paola Esparza, y a mi papá, Abdy Hernández, las personas que me enseñaron la disciplina, pasión y los valores que me guían. Asimismo, a mi hermano Paulger Hernández, por ser mi compañero y un ejemplo que seguir. Este logro es el fruto del esfuerzo y la dedicación que con tanto amor han sembrado en mí a lo largo de mi vida.

Con mucho amor,
Abdelyn Hernández

Agradecimiento

Quiero extender mi agradecimiento, primeramente, a quienes han estado conmigo a lo largo de este proceso que me permite cumplir una meta; a aquellos que han sido pilares, apoyo e inspiración.

De forma especial esto se lo agradezco a Dios, quien me ha dado el valor de lograr esta nueva etapa de forma exitosa y que ha prometido estar conmigo todos los días.

También a mi asesor, el Dr. Roberto Quiroz, quien desde el día cero me demostró un apoyo constante y fue una fuente de inspiración a lo largo de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos de forma desinteresada, por el esfuerzo que dedicó para que pudiera aprender y por la confianza que depositó en mí.

A mi tutor, el Dr. Audino Melgar, por su instrucción y dedicación conmigo y con el presente trabajo.

A la Sra. Charlyn Atencio y al Sr. Ebrahaim Calderón, personas que estuvieron dispuestas a aceptarme a mí y a mi estudio; quienes me apoyaron en cada detalle que necesité y siempre estuvieron dispuestos a ayudar.

A mi familia: mi tía Gidalty Hernández, mi abuelito Claudio Hernández y mi prima Rexsy Ordoñez. Fueron pilares de apoyo en cada paso de esta travesía y espero que me sigan acompañando en cada paso siguiente. Gracias por su tiempo brindado en las largas noches de esfuerzo y los días cansados.

A mis amistades y a cada persona que Dios puso en mi vida en forma de ángeles para sostenerme y darme ánimos, les agradezco con lo más sincero que hay en mi corazón.

OPTIMIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN UTILIZADAS EN UN REBAÑO DE GANADO CAPRINO LECHERO EMPLEANDO TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN

Hernández-Esparza, A. P. (2026). Optimización de las estrategias de alimentación utilizadas en un rebaño de ganado caprino lechero empleando tecnología de información (Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias).

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo la optimización de diversas estrategias de alimentación en un rebaño caprino, utilizando el modelo de simulación LIFE-SIM. La metodología consistió en la calibración del modelo basada en datos reales de la finca, seguida por la modelación de escenarios mediante un diseño de superficie de respuesta rotatable de composición central. Se evaluó la interacción del forraje base, *Cenchrus purpureus* cv. Cuba 22 (Cuba CT-22), con recursos suplementarios como *Morus alba* (Morera), *Tithonia diversifolia* (Botón de oro) y *Guazuma ulmifolia* (Guácimo). Los resultados demostraron que el punto de equilibrio económico para el Cuba CT-22 se alcanza con una oferta de 8 kg de materia fresca, mientras que la eficiencia óptima se sitúa en los 10 kg. Se identificó que la mejora en la calidad nutricional de la Morera es el factor con mayor potencial transformador, logrando márgenes brutos por lactancia competitivos frente al alimento concentrado. En conclusión, la optimización nutricional propuesta permite elevar la rentabilidad por lactancia de B/. 1,245.79 a B/. 2,317.18, lo que representa un incremento del 86% en la eficiencia financiera de la finca, validando el uso de herramientas de predicción para la toma de decisiones estratégicas en el sector agropecuario.

Palabras clave: Caprinos, Cuba CT-22, LIFE-SIM, Morera, Optimización económica, Simulación.

OPTIMIZATION OF FEEDING STRATEGIES USED IN A DAIRY GOAT HERD EMPLOYING INFORMATION TECHNOLOGY

Hernández-Esparza, A. P. (2026). Optimization of feeding strategies used in a dairy goat herd employing information technology (Undergraduate thesis, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias).

Abstract

The objective of this research was the optimization of various feeding strategies in a goat herd using the LIFE-SIM simulation model. The methodology involved model calibration based on real farm data, followed by scenario modeling using a central composite rotatable response surface design. The interaction of the base forage, *Cenchrus purpureus* cv. Cuba 22 (Cuba CT-22), with supplementary resources such as *Morus alba* (Mulberry), *Tithonia diversifolia* (Mexican sunflower), and *Guazuma ulmifolia* (Bay cedar) was evaluated. The results demonstrated that the economic break-even point for Cuba CT-22 is reached at an 8 kg fresh matter offer, while optimal efficiency is found at 10 kg. It was identified that improving the nutritional quality of Mulberry is the factor with the greatest transformative potential, achieving competitive gross margins per lactation compared to concentrated feed. In conclusion, the proposed nutritional optimization increases profitability per lactation from B/. 1,245.79 to B/. 2,317.18, representing an 86% increase in the farm's financial efficiency, validating the use of prediction tools for strategic decision-making in the agricultural sector.

Keywords: Goats, Cuba CT-22, LIFE-SIM, Mulberry, Economic optimization, Simulation.

CONTENIDO

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen	v
Abstract	vi
ÍNDICE DE GRÁFICAS	x
I. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Producción caprina en Panamá.....	2
1.2. Estudios de caso en la caracterización agropecuaria.....	2
1.3. Sistema de producción	3
1.4. Cambio de inventario en ganadería	4
1.5. Métricas de evaluación de eficiencia económica	4
1.5.1. Fórmula financiera de depreciación	4
1.5.2. Análisis costo-beneficio	5
1.5.3. Retorno de inversión	5
1.6. Métricas de evaluación de precisión	6
1.6.1. Error absoluto medio	6
1.6.2. Raíz del error cuadrático medio	6
1.6.3. Error cuadrático medio relativo	7
1.6.4. Eficiencia de Nash–Sutcliffe	7
1.7. Programa LIFE-SIM	8
1.8. Curva de Wood en la producción láctea	9
1.9. Parámetros bromatológicos para la modelación nutricional.....	9
1.10. Espectroscopía de infrarrojo cercano	11
II. MARCO METODOLÓGICO	12
2.1. Ubicación	12
2.2. Recopilación y análisis de datos	12
2.3. Inventario y valoración del rebaño	12
2.4. Valoración de activos fijos y cálculo de depreciación.....	13
2.5. Análisis de rentabilidad costo-beneficio	13
2.6. Obtención de muestras representativas en campo.....	14
2.7. Procedimiento de análisis de muestras en laboratorio	15

2.8. Parámetros de la modelación (LIFE-SIM).....	15
2.9. Procesamiento y análisis de datos para optimización de dietas	16
2.9.1. Diseño experimental de la superficie de respuesta	16
2.9.2. Validación del consumo potencial	17
2.9.3. Determinación de la capacidad de consumo voluntario de los ingredientes.....	17
2.9.4. Análisis de la respuesta productiva y la eficiencia económica	18
2.9.5. Relación costo-eficiencia de los ingredientes.....	18
2.9.6. Determinación de combinaciones óptimas y selección de dietas.....	19
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1. Clasificación del sistema de producción identificado	21
3.2. Infraestructura.....	21
3.3. Estabulación	22
3.4. Características de la unidad productiva	22
3.5. Razas caprinas especializadas.....	23
3.5.1. Saanen.....	23
3.5.3. La Mancha	24
3.6. Sanidad y control de enfermedades	24
3.7. Manejo alimenticio y forrajero	25
3.8. Evaluación de calidad nutricional de los recursos forrajeros	25
3.9. Producción láctea	29
3.10. Validación del modelo LIFE-SIM.....	29
3.11. Evaluación del potencial de consumo del forraje base	34
3.12.1. Comportamiento del costo por cada unidad de leche	35
3.12.2. Comportamiento del costo unitario de producción	35
3.13. Evaluación del potencial de consumo voluntario de los suplementos	36
3.14. Análisis de la eficiencia energético-proteica y el costo	37
3.15. Dietas seleccionadas con dos ingredientes	38
3.15.1. Cuba CT-22 y alimento concentrado	38
3.15.2. Cuba CT-22 y <i>Tithonia diversifolia</i>	39
3.15.3. Cuba CT-22 y <i>Guazuma ulmifolia</i>	40
3.15.4. Cuba CT-22 y <i>Morus alba</i>	41
3.15.5. Impacto de la mejora en la calidad nutricional de la Morera	42

3.16. Dietas seleccionadas con tres ingredientes	43
3.16.1. Cuba CT-22, alimento concentrado y <i>Tithonia diversifolia</i>	43
3.16.2. Cuba CT-22, alimento concentrado y <i>Guazuma ulmifolia</i>	45
3.16.3. Cuba CT-22, alimento concentrado y <i>Morus alba</i>	47
3.16.4. Cuba CT-22, alimento concentrado y <i>Morus alba</i> de calidad	49
1.17. Análisis comparativo de las dietas seleccionadas	50
3.18. Comercialización	51
3.19. Análisis financiero de la unidad productiva	52
3.20. Depreciación	54
IV. CONCLUSIONES	57
V. RECOMENDACIONES	59
VI. REFERENCIAS	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de la producción mensual observada y simulada, con la línea diagonal de referencia $X=Y$	31
Gráfica 2. Curva de lactancia de la producción observada y la estimada con dispersión	33
Gráfica 3. Interacción entre pasto Cuba y alimento concentrado	38
Gráfica 4. Interacción entre el pasto Cuba y Botón de oro	39
Gráfica 5. Interacción entre el pasto Cuba y Guácimo	40
Gráfica 6. Interacción entre el pasto Cuba y Morera	41
Gráfica 7. Interacción entre el pasto Cuba y Morera de calidad	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).....	8
Tabla 2. Composición nutricional de los forrajes	28
Tabla 3. Métricas de la evaluación de precisión	30
Tabla 4. Lactancia dividida en tercios.....	32
Tabla 5. Potencial de consumo voluntario de Cuba CT-22.....	34
Tabla 6. Producción y margen bruto de cada ingrediente	36
Tabla 7. Ingredientes y su eficiencia energético-proteica	37
Tabla 8. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Botón de oro	43
Tabla 9. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Guácimo	45
Tabla 10. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Morera	47
Tabla 11. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Morera de calidad	49
Tabla 12. Principales productos derivados de la leche caprina y sus precios de comercialización en Panamá, en comparación con los de la finca estudiada	52
Tabla 13. Costos operativos mensuales de la unidad productiva	52
Tabla 14. Ingresos de la unidad productiva	53
Tabla 15. Depreciación de los bienes físicos de la unidad productiva.....	54
Tabla 16. Rentabilidad de la unidad productiva	54
Tabla 17. Flujo y acumulado de cajas	55

INTRODUCCIÓN

La producción caprina en Panamá ha experimentado un crecimiento en los últimos años (INEC, 2013). Sin embargo, el sector enfrenta desafíos que limitan su desarrollo. Entre ellos, destacan los altos niveles de consanguinidad, la falta de definición racial y los sistemas de manejo con bajo nivel de desarrollo tecnológico (Marquínez, 2024). Aunque un mayor potencial genético podría incrementar la producción, también exigiría mejoras nutricionales que los sistemas actuales no siempre pueden satisfacer.

Uno de los principales obstáculos del sector es el manejo deficiente de la alimentación, que representa entre el 70% y el 80% de los costos totales de producción (Montiel, 2007). En esta problemática, también se destaca que el forraje, base de la alimentación caprina en sistemas tropicales, ve afectadas su calidad y su disponibilidad debido a factores climáticos (Paz, 2011).

Ante esta realidad, el uso de modelos predictivos en la producción animal se ha convertido en una herramienta importante para la planificación y la investigación, ya que permite predecir el comportamiento de los animales bajo diferentes condiciones de manejo, así como simular el funcionamiento de los sistemas de producción. En muchos casos, trabajar con modelos resulta más conveniente que con sistemas reales debido a la complejidad de estos, a la limitación de recursos humanos y económicos o a la imposibilidad de realizar experimentos directos en ellos (Candelaria-Martínez et al., 2011).

En estudios con pequeños rumiantes, el uso de tecnologías de la información ha sido escaso y limitado, lo que ha generado escasez de información sobre la producción de leche y la comprensión de la relación entre la rentabilidad y los sistemas de producción caprina (Magdalena et al., 2009).

I. MARCO TEÓRICO

1.1. Producción caprina en Panamá

La investigación sobre los sistemas de producción caprina en Panamá es limitada, con pocos estudios recientes sobre diagnóstico, caracterización y tipología (Villalobos Cortés & Espinosa-Tasón, 2016; Marquínez-Batista et al., 2022).

Esta escasez de diagnósticos sistemáticos dificulta reflejar la realidad del sector y destaca la importancia de una actualización urgente y confiable, pues las estadísticas entre las fuentes consultadas son muy variables. Por un lado, se tiene que la población caprina, según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2011) fue de 27,060 cabras. Basados en estos datos, el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) proyectó un crecimiento anual del 15% desde 2011 (IDIAP, 2015). De ser válida esta proyección, la población actual ascendería a 47,000 cabezas de caprinos. No obstante, los datos actuales del último censo en el año 2024 (INEC, 2025) indican que la población caprina nacional se redujo a 14,382 cabezas. Estas estadísticas y proyecciones contrastan con los datos reportados por la Asociación de Ganado Ovino y Caprino, con un inventario de 18,000 cabras a nivel nacional (AGACAP, 2019). Por tanto, se requiere una validación empírica de los datos reales que permitan construir una estrategia nacional adecuada para promover este sector productivo. En la provincia de Veraguas, la provincia en donde se ubica la unidad productiva objeto de estudio, se contabilizan 1,246 cabras (INEC, 2025), lo que representa aproximadamente el 8.7% del total nacional.

1.2. Estudios de caso en la caracterización agropecuaria

Aunque los estudios de caracterización con enfoque estadístico descriptivo ayudan a comprender la orientación general del sector caprino, a menudo no son lo suficientemente detallados como para analizar con claridad los problemas y

desafíos reales que enfrentan las explotaciones individuales en contextos específicos. Por eso, los estudios de caso se convierten en herramientas útiles: al observar sistemas reales en funcionamiento y ver las principales características de las fincas, incluyendo tanto sus logros como los desafíos (FAO, 2014). Cada estudio implica una experiencia única que evidencia la interacción entre variables como el manejo, la infraestructura y la genética para determinar la eficiencia y la rentabilidad.

Este análisis micro no solo complementa los estudios macro, sino que también genera conocimiento que permite proponer soluciones prácticas aplicables a fincas similares. Además, cuando estos estudios específicos se contrastan con marcos teóricos más amplios, se contribuye a la investigación sobre el tema (Silvetti, 2006). La investigación descriptiva permite registrar y caracterizar fenómenos observables en una población objetivo. Por otro lado, los estudios de caso exigen un conocimiento más profundo por parte del investigador (Cueva et al., 2023).

Para realizar este tipo de caracterizaciones, múltiples autores utilizan la estadística descriptiva. Por ejemplo, Socola (2019) planteó, en su estudio, la caracterización de los componentes del sistema de producción caprina, mientras que Urviola (2013) aplicó el mismo diseño de estudio para caracterizar estructural, morfológica y genéticamente las cabras de la región estudiada. En Panamá, Marquínez et al. (2022) realizaron un estudio descriptivo transversal con enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) para conocer los aspectos de la producción, la agroindustria y la comercialización de las actividades ovinas y caprinas en el país.

1.3. Sistema de producción

El sistema de producción caprina se clasifica mediante técnicas basadas en el enfoque propuesto por la FAO (1999) además, en esta investigación se empleó la adaptación de Gioffredo y Petryna (2010) que agrupa los sistemas en tres tipos: extensivo, semi-intensivo e intensivo. Esta clasificación toma en cuenta el nivel de

estabulación, el tipo de alimentación (pastoreo libre, pastoreo con suplementación o confinamiento), el grado de tecnificación y el destino productivo (carne o leche).

1.4. Cambio de inventario en ganadería

La valoración de las variaciones en el inventario ganadero se realiza en el marco de la NIC 41 (Normas Internacionales de Contabilidad) sobre activos biológicos. Esta norma establece el tratamiento contable de los activos biológicos a lo largo de todas sus etapas: crecimiento, decadencia, producción y reproducción, así como la medición inicial de los productos agrícolas en el momento de la cosecha (IASB, s.f.). De acuerdo con la NIC 41, estos activos deben medirse al valor razonable, menos los costos estimados de venta, y cualquier transformación biológica (como nacimientos, muertes, desarrollo o reproducción) debe reconocerse como una ganancia o pérdida.

Autores como Ríos et al. (2008) indican que los cambios físicos en el inventario se cuantifican y se relacionan con su impacto económico, lo que asocia el estado físico-productivo de los animales con su valor económico.

1.5. Métricas de evaluación de eficiencia económica

1.5.1. Fórmula financiera de depreciación

Para calcular la depreciación, la NIC 16 regula el tratamiento contable de los activos de propiedad, planta y equipo, que se reconocen cuando generan beneficios económicos futuros y cuyo costo puede medirse de forma fiable (IASB, s.f.). Este principio de reconocimiento se aplica a todos los costos de propiedad, planta y equipo en el momento en que se incurre en ellos. Estos costos incluyen los costos iniciales incurridos para adquirir o construir un elemento de propiedad, planta y

equipo, así como los costos posteriores incurridos para ampliarlo, reemplazarlo parcialmente o prestarle servicio.

Fórmula base:

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{\text{Costo-Valor residual}}{\text{Vida Útil}}$$

El valor residual y la vida útil de un activo deben revisarse al menos al final de cada año. El valor residual no es una estimación. Debe basarse en datos de mercado y revisarse anualmente para reflejar el valor real recuperable del activo según la NIC 8.

1.5.2. Análisis costo-beneficio

El análisis financiero se realiza a nivel de unidad productiva, considerando la totalidad de la propiedad con el fin de evaluar la viabilidad económica del sistema. Se consideran el costo de la inversión y el retorno esperado en un periodo determinado. Adicionalmente, se considera la tasa de descuento, definida como el valor actual de los ingresos esperados en el futuro (Martínez, 2012).

Fórmula base:

$$\text{Costo-Beneficio} = \frac{\text{VNA ingreso}}{\text{VNA egresos} + \text{Inversión}}$$

Donde VNA = Valor neto actual

1.5.3. Retorno de inversión

El retorno de la inversión (ROI) es un valor porcentual que se calcula a partir de la inversión realizada y los beneficios obtenidos para estimar la rentabilidad de un

proyecto. Martínez (2012) señala que el ROI puede variar según las condiciones del mercado, las enfermedades u otros factores imprevistos.

Fórmula base:

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} * 100$$

1.6. Métricas de evaluación de precisión

1.6.1. Error absoluto medio

El error absoluto medio (MAE) es la diferencia absoluta entre el promedio de los datos simulados y el promedio de los datos históricos observados. En este estudio, el MAE estima la magnitud promedio del error en kilogramos de leche por mes.

Fórmula base:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|$$

1.16.2. Raíz del error cuadrático medio

La raíz del error cuadrático medio (RMSE) sirve como un indicador de precisión que penaliza los errores grandes, por lo que es ideal para detectar fallos graves en la simulación. Al ser la raíz cuadrada del promedio de los errores al cuadrado, puede expresarse en las mismas unidades que los datos originales, lo que permite una interpretación directa y clara del error.

Fórmula base:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

1.6.3. Error cuadrático medio relativo

El error cuadrático medio relativo (RRMSE) permite interpretar el error en términos porcentuales, lo que facilita la comparación de la precisión del modelo con la de otros estudios o de variables con escalas de medida distintas.

Fórmula base:

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Y}}$$

El uso de estas métricas para evaluar el desempeño de modelos de simulación ha sido ampliamente documentado por varios autores (Willmott, 1982; Castellaro, Klee & Chavarría, 2007; Fontoura Júnior, 2007; Candelaria Martínez et al., 2011; Quiroz et al., 2017).

1.6.4. Eficiencia de Nash–Sutcliffe

El coeficiente de eficiencia de Nash–Sutcliffe (NSE) es una métrica que opera en una escala de 0 a 1 y es reconocida por evaluar la precisión del ajuste en modelos de simulación. Esta métrica cuantifica la capacidad del modelo para reproducir la variabilidad observada frente a un modelo de referencia. Un valor de NSE igual a 1 representa un ajuste perfecto; valores cercanos a 0 indican que el modelo no mejora respecto al uso del promedio simple como predictor (IBM Corporation, 2025).

Fórmula base:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Este coeficiente se clasifica mediante una tabla en la que un valor igual o inferior a 0 se considera inaceptable; a su vez, los valores entre 0.6 y 0.8 indican una buena capacidad predictiva del modelo frente a las variabilidades observadas (Perreault, El Alem, Chokmani, & Cambouris, 2022).

Tabla 1. Clasificación del índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

Evaluación NSE	Clasificación
≤0	Inaceptable
0 - 0.4	Débil
0.4 - 0.6	Moderado
0.6 - 0.8	Buena
0.8 - 1	Óptimo

1.7. Programa LIFE-SIM

El software *Livestock Feeding Strategies Simulation Models* (LIFE-SIM), fue desarrollado por la División de Manejo de Recursos Naturales del Centro Internacional de la papa (CIP) con apoyo del Systemwide Livestock Program (SLP) del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR, por sus siglas en inglés). Permite predecir los cambios en la producción animal en función de las estrategias de alimentación aplicadas. Su uso facilita el análisis de diferentes escenarios, al ajustar variables como las características de los animales y la composición de los alimentos (León-Velarde et al., 2006). Esta herramienta responde a la necesidad señalada por Orden et al. (2004) de generar información continua mediante ensayos de campo, que demandan elevados costos y una inversión de tiempo. No obstante, la principal limitación identificada es su precisión, que depende de datos de entrada específicos, lo cual representa un reto en

Panamá, donde la investigación caprina es escasa. A pesar de ello, LIFE-SIM ofrece múltiples ventajas a largo plazo al incluir submódulos específicos para diversas especies de producción, como bovinos, búfalos, cabras y cerdos. Esto facilita la toma de decisiones para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental.

1.8. Curva de Wood en la producción láctea

Según lo planteado por Wood (1980), la interpretación de la curva de lactancia es necesaria para optimizar el manejo nutricional y reproductivo de animales en lactación, mediante la estimación de la producción total por lactancia, el pico de producción y la persistencia productiva. Es importante determinar los parámetros que definen la curva de lactancia en caprinos lecheros, ajustándolos a las características de cada raza, al manejo del rebaño y a las condiciones ambientales, ya que el entorno ejerce una influencia directa en la configuración de dicha curva.

1.9. Parámetros bromatológicos para la modelación nutricional

Materia seca (MS): El consumo de MS es determinante para conocer la cantidad de nutrientes disponibles para el bienestar y la producción del animal. Conocer o estimar adecuadamente el consumo de MS es muy importante en los programas de alimentación, pues una subalimentación de nutrientes restringe la producción y puede afectar la salud del animal, mientras que una sobrealimentación eleva los costos de producción (Elizondo-Salazar, 2004).

Digestibilidad: Para la modelación nutricional, se utiliza el parámetro de digestibilidad aparente, esta se define como la cantidad que no se excreta en las heces y por lo tanto se considera absorbida por el animal (McDonald et al., 2002).

El coeficiente de digestibilidad aparente viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Digestibilidad Aparente} = \frac{\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado}}{\text{Nutriente consumido}}$$

Proteína cruda (PC): La proteína es un componente fundamental de todas las células y participa en funciones estructurales, enzimáticas, hormonales y de defensa del animal. En la alimentación, la fracción proteica de los ingredientes se denomina proteína cruda y se estima indirectamente a partir del contenido de nitrógeno total, multiplicándolo por el factor 6.25, utilizando este factor porque se estima que la proteína de los alimentos tiene, en promedio, un 16% de nitrógeno (McDonald et al., 2002).

Energía metabolizable (EM): La determinación de la energía disponible para el animal sigue un orden jerárquico de aprovechamiento. Inicialmente, la energía bruta (EB) se define como el contenido energético total de la materia seca. Para estimarlo, se emplea un factor de conversión promedio de 4.4 Kcal/g (o Mcal/kg).

$$ED = 4.4 * \text{Digestibilidad}$$

Sin embargo, la energía realmente aprovechable es la Energía Metabolizable (EM), definida como la parte de la ED que permanece disponible tras descontar las pérdidas energéticas excretadas en orina y en los gases producidos durante la fermentación ruminal (Elizondo-Salazar, 2008).

$$EM = ED - \text{Energía de orina} - \text{Energía de gases}$$

1.10. Espectroscopía de infrarrojo cercano

La espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica analítica no destructiva utilizada para investigar las propiedades fisicoquímicas de materiales orgánicos. El método se basa en el principio de absorción de radiación: cuando la luz infrarroja incide sobre la muestra, interactúa específicamente con los enlaces químicos de los compuestos orgánicos, provocando vibraciones moleculares que modifican su energía. Estas interacciones resultan en patrones únicos de absorción, reflexión y transmisión de la luz, generando espectros característicos que, mediante modelos de calibración preestablecidos y técnicas quimiométricas, permiten predecir la composición nutricional y las propiedades fisicoquímicas de las muestras analizadas (Evangelista et al., 2021; Deepa et al., 2026).

II. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Ubicación

El estudio se realizó en una finca comercial ubicada en el corregimiento de Nuevo Santiago, en la región de Guayaquil, provincia de Veraguas, en las coordenadas 8.103624 N, 80.827733 O. La zona presenta un clima tropical húmedo con una altitud promedio de 77 msnm, mientras que la finca de estudio presenta una elevación específica de 83 msnm, validada mediante modelos digitales del terreno (USGS, 2023).

2.2. Recopilación y análisis de datos

El trabajo descriptivo se realizó mediante un análisis de los registros de la propiedad y se consideró la producción láctea (en kg por lactancia). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva (medias), identificando los beneficios y los desafíos del sistema actual. Por otro lado, la parte experimental se realizó mediante la simulación de diferentes escenarios nutricionales, en los que se combinaron los recursos forrajeros disponibles en la explotación.

Las variables productivas se estandarizaron en kilogramos de leche por lactancia, mientras que las económicas se expresaron en balboas por lactancia. El consumo de alimento se expresó en kilogramos de materia seca al día.

2.3. Inventario y valoración del rebaño

Para realizar una valoración de los cambios en el inventario de animales en producción, se aplicaron los lineamientos de la NIC 41 sobre activos biológicos. En este estudio, se consideraron las variaciones en el hato caprino durante el periodo de análisis, incluidos los nacimientos, las ventas y las muertes. Para cada animal o

grupo, se estimó un valor de mercado local y se descontaron los costos de venta esperados, como el transporte o las comisiones, siguiendo lo establecido en la NIC 41.

Estas mediciones se realizaron mediante registros diarios de la producción de la finca y la observación directa. Si bien, no se aplicaron modelos predictivos complejos, como ARIMA (media móvil integrado autorregresiva, por sus siglas en inglés), en el estudio de Cuenca et al. (2008) sí se siguió la lógica del autor para identificar transformaciones biológicas clave (natalidad, mortalidad) en la estimación del inventario final.

Este análisis permitió determinar el impacto del crecimiento del hato sobre la rentabilidad del sistema productivo, revelando la conexión entre cambios físicos y variaciones de valor, tal como exige la NIC 41 (IASB, s.f.).

2.4. Valoración de activos fijos y cálculo de depreciación

Se identificaron los principales activos de la finca: estructuras físicas, equipos, maquinaria, transporte y animales. A cada uno se le asignó una vida útil con base en criterios contables estándar y un valor residual estimado entre el 5% y el 20% del costo original, siguiendo las prácticas de mercado según la NIC 8 (IASB, s.f.).

Los costos de adquisición de estos activos fueron proporcionados por el propietario de la finca, y la depreciación anual de cada activo puede considerarse un costo fijo en el análisis económico del sistema, lo que permite una estimación más realista del costo de producción por kilogramo de leche.

2.5. Análisis de rentabilidad costo-beneficio

El análisis se realizó en Microsoft Excel, calculando el Valor Actual Neto (VAN o VNA) de los flujos de caja proyectados de ingresos y egresos, utilizando una tasa de descuento del 10% anual.

Se utilizó una tasa de descuento del 10%, considerando el préstamo (3%) y los factores de riesgo identificados: el cambio en el precio del mercado debido a la falta de estándares de precios, la ausencia de contratos formales, el bajo consumo nacional, las enfermedades, los altos costos sanitarios y la estacionalidad climática variable. Esto coincide con los hallazgos de AGACAP (2019) y Marquínez-Batista et al. (2022) en los sistemas caprinos de Panamá y es coherente con el rango de 10-15% estándar en los agronegocios tropicales según FAO (1999).

2.6. Obtención de muestras representativas en campo

Para la obtención de muestras, se realizó la recolección durante el primer ofrecimiento de la dieta del día. Se recolectó una muestra de 1 kg del material rechazado que se encontraba en los comederos desde la alimentación anterior, el cual consistía en una mezcla de el cual consistía en una mezcla de pasto *Cenchrus purpureus* cv. Cuba 22 (Cuba CT-22), *Morus alba* (Morera) y heno *Digitaria didactyla* (Swazi). Esta muestra fue debidamente identificada en una bolsa con la fecha, el nombre de la finca y su contenido. Una vez limpiados los comederos, se procedió a la cosecha y al picado del forraje fresco principal (Cuba CT-22) y de los forrajes arbustivos complementarios (Morera, *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) y *Tithonia diversifolia* (Botón de oro). De cada uno de estos forrajes ya picados se tomó una muestra representativa de aproximadamente 1 kg, que se identificó individualmente en bolsas separadas. Adicionalmente, se extrajo una muestra de 1 kg de heno del centro de una de las pacas destinadas a la alimentación. Para calcular la ración total ofrecida, se registró el peso de cada forraje antes de mezclarlos y se sumaron los pesos para obtener la cantidad total de alimento proporcionada a los animales. Este procedimiento siguió la técnica de Tothill, Hargreaves y Jones (1992).

2.7. Procedimiento de análisis de muestras en laboratorio

Para evaluar la calidad nutricional de los forrajes empleados en un sistema de alimentación basado en corte y acarreo, se recolectaron muestras a lo largo del año. El análisis de la composición nutricional de estas muestras se realizó mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) en el Laboratorio de Bromatología de la Estación Experimental “Carlos M. Ortega” del IDIAP, en Gualaca, Chiriquí.

Las muestras, al llegar al laboratorio, fueron preparadas para el análisis. El proceso inició con un secado previo en estufa de aire forzado a 60°C durante 72 horas, con el objetivo de eliminar la humedad. Luego, el material seco fue sometido a un proceso de molienda en un molino de martillos (Retsch GmbH & Co., Alemania) equipado con un tamiz de 1 mm, para homogeneizar el tamaño de partícula y garantizar la representatividad en el análisis espectroscópico.

La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS), utilizando el equipo InfraXact Pro (FOSS, Alemania). Finalmente, la estimación de los valores energéticos, como la Energía Metabolizable (EM), se calculó mediante ecuaciones predictivas clásicas de la literatura científica, entre las que se incluyen las propuestas por Crampton et al. (1957), Swift (1957), Harris et al. (1968), Moe et al. (1972), Garret (1980) y Harris et al. (1980).

2.8. Parámetros de la modelación (LIFE-SIM)

Los parámetros utilizados para la calibración del modelo se basaron en el promedio de los animales del hato, según los valores proporcionados por los propietarios. Se consideró una edad promedio de tres años, correspondiente a su segunda lactancia, un peso preparto de 78.2 kg y un peso posparto de 71.4 kg. La pérdida de peso esperada durante el primer tercio del periodo de lactancia se estimó en un 5% del peso corporal. La duración total de la lactancia se estableció en nueve meses, mientras que la de la gestación fue de 150 días. El peso esperado de la cría al nacer

fue de 2.7 kg. En cuanto al potencial de consumo de materia seca, se consideró un valor de 3.28% del peso vivo. No se incluyó un porcentaje de ramoneo en la ingesta total de MS.

En los valores de ajuste nutricional, se definió una concentración proteica del 17% y una concentración energética de 5 Mcal de energía metabolizable por kilogramo de peso corporal ganado, parámetros predeterminados que se encuentran dentro de los rangos sugeridos por el modelo para pequeños rumiantes en producción.

Para la simulación del potencial productivo, se configuró el modelo con los parámetros de una cabra de raza Nubian de la costa central del Perú. Se le establece una producción total de 604 kg por lactancia, con un pico productivo a los 23 días y una producción máxima de 3 kg/día. La curva de lactancia se ajustó mediante el modelo de Wood, con los parámetros $a = 2.369$, $b = 0.1413$ y $c = 0.00809$.

2.9. Procesamiento y análisis de datos para optimización de dietas

2.9.1. Diseño experimental de la superficie de respuesta

Para determinar la combinación óptima de ingredientes en la dieta, se empleó un diseño de superficie de respuesta rotatable de composición central. Esta metodología facilita la estimación de efectos sobre las variables de respuesta y la identificación de niveles óptimos (Montgomery, 1984; León-Velarde & Quiroz, 1998; Preciado, 2003). Siguiendo la metodología de Hernández (2024), los tratamientos se generaron mediante la hoja de cálculo desarrollada por León-Velarde y Quiroz (1998), utilizando un valor α de 1.414 para el modelo de dos factores y un valor α de 1.632 para el modelo de tres factores para garantizar la rotabilidad del diseño. El modelo contempló factores independientes codificados en cinco niveles (-2, -1, 0, 1, 2), evaluando puntos factoriales, axiales y un punto central, que se repite según la cantidad de factores del modelo, para un total de 13 tratamientos en el modelo de dos factores y de 20 en el modelo de tres factores. Las variables de respuesta,

producción de leche por lactancia (kg) y margen bruto por lactancia (balboas), se obtuvieron mediante simulación en el software LIFE-SIM.

2.9.2. Validación del consumo potencial

Una vez definidos los tratamientos experimentales, se procedió a la validación del modelo mediante la comparación de los valores de producción de leche observados en campo con los simulados por el software, utilizando como base el consumo potencial de materia seca calibrado a partir de los registros individuales de los animales. El consumo potencial inicial se estableció con un ajuste fino considerando un rango de 2.80% a 3.30% del peso vivo, lo que permitió evaluar la sensibilidad del modelo y seleccionar el valor que minimizara las diferencias entre la producción observada y la simulada. Posteriormente, se definió el consumo en 3.28% del peso vivo (Granados-Rivera et al., 2021; Carbajal, 2011). Estos datos fueron obtenidos a partir del promedio de los registros de producción.

2.9.3. Determinación de la capacidad de consumo voluntario de los ingredientes

Con el modelo calibrado, se determinó el consumo voluntario máximo de los ingredientes mediante la estrategia propuesta por Hernández (2024). En primer lugar, se evaluó el consumo voluntario del forraje base (Cuba CT-22). Para esto, se simuló ofertas crecientes de este forraje, con incrementos de 1 kg de materia fresca (MF), registrando la producción de leche total por lactancia (kg) y el margen bruto total por lactancia (balboas), este último calculado como el ingreso por la venta de leche menos el costo del ingrediente. Este análisis permitió identificar el nivel de oferta a partir del cual el animal alcanza su capacidad de consumo voluntario, así como el punto de equilibrio económico, donde el margen bruto se torna positivo, y el punto de inflexión, donde la producción marginal comienza a decrecer. Y, segundo, para determinar el consumo voluntario máximo de los demás ingredientes,

se empleó una estrategia de sustitución controlada. Se redujo la oferta de forraje base a un mínimo de 3 kg MF/animal/día, lo que permitió que cada ingrediente se ofreciera en cantidades crecientes hasta alcanzar el punto de rechazo, expresando así su capacidad máxima de ingestión voluntaria.

2.9.4. Análisis de la respuesta productiva y la eficiencia económica

A partir de las simulaciones, incrementa la oferta del forraje base (Cuba CT-22), se calcularon dos indicadores mencionados por McDonald et al. (2002).

El costo unitario de la producción se calculó mediante la relación entre el costo total de alimentación en la lactancia (balboas) y el volumen de leche obtenida por lactancia (kg), expresada como:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo de alimentación (Balboas)}}{\text{Producción de leche (Kg)}}$$

Y la producción marginal se identificó para evaluar el desempeño productivo del animal al aumentar la oferta forrajera; se calculó dicha producción. Esto se hizo a partir de la diferencia en el volumen de leche entre niveles consecutivos de 1 kg MF en la oferta.

Producción marginal= Kg de leche con oferta actual-Kg de leche con oferta anterior

2.9.5. Relación costo-eficiencia de los ingredientes

Se organizaron los datos bromatológicos obtenidos para cada ingrediente, incluidos los porcentajes de proteína cruda y de digestibilidad. También se registró el costo

de cada ingrediente mediante los siguientes cálculos, que, según León-Velarde et al. (2006), el software realiza internamente para simular la producción.

El cálculo de densidad energética se calculó para determinar el aporte energético de cada ingrediente en megacalorías por kilogramo (Mcal/kg); la energía metabolizable (EM) se obtuvo por medio de la conversión de los valores de digestibilidad expresados en decimal y utilizando la fórmula:

$$EM \text{ Mcal/Kg de Pc} = 4.4 * \text{Digestibilidad} * 0.81$$

Para calcular la densidad proteica de cada ingrediente, se utilizó el valor de proteína cruda. Este se reporta como un porcentaje de la materia seca, por lo que se convierte en una fracción decimal.

$$\text{Densidad Proteica} = \frac{\%PC}{100}$$

Finalmente, el costo por unidad del nutriente se determinó por medio del costo por megacaloría o kg de proteína cruda de forma independiente para cada ingrediente, con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por Mcal o Kg de Pc} = \frac{\text{Costo del ingrediente}}{\text{Megacaloría o Densidad proteica}}$$

2.9.6. Determinación de combinaciones óptimas y selección de dietas

Una vez ajustado el modelo cuadrático, se determinó el punto estacionario. Este punto representa la combinación de factores que maximiza la producción de leche por lactancia (kg) y el margen bruto por lactancia (balboas) dentro del dominio

experimental. El análisis se realizó en dos etapas: primero, se generaron tablas que compararon los resultados en escala codificada y en unidades naturales; luego, se verificó que las combinaciones óptimas se mantuvieran dentro de los límites experimentales establecidos y que las cantidades reales resultaran positivas.

Con base en los puntos estacionarios identificados, se seleccionaron las dietas que mostraron superioridad en la producción de leche por lactancia (kg) y en el margen bruto por lactancia (balboas), en comparación con los registros productivos actuales de la finca. Para los modelos de dos factores, se evaluaron las combinaciones de cada ingrediente con el forraje base (Cuba CT-22) y para los modelos de tres factores, se consideraron las interacciones entre el forraje base, el alimento concentrado y los recursos forrajeros complementarios.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Clasificación del sistema de producción identificado

Se determinó que el sistema de producción corresponde al tipo intensivo, ya que los animales permanecen en estabulación total, con alimentación basada en corte y acarreo y suplementación controlada.

Como referencia para contextualizar el modelo predominante en la región, se tuvieron en consideración los antecedentes reportados por Aued y Olave (1995) y Marquínez et al. (2022), quienes identificaron una predominancia de sistemas extensivos y semi-extensivos en Panamá, con pastoreo sobre vegetación natural. Al comparar ambos sistemas, se identificaron las características que diferencian el sistema evaluado del modelo tradicional del país. Mientras que en 1995 el 68% de los productores usaba el pastoreo extensivo con instalaciones básicas, para 2022 solo el 43% lo mantenía. En contraste, el sistema de producción estudiado no implementa pastoreo mediante un manejo intensivo basado en la estabulación total, lo que evidencia una transición hacia modelos de manejo más controlados.

3.2. Infraestructura

El sistema de producción analizado fue de estabulación total, con una población total de 46 animales, de los cuales el 72% eran adultos y el 28%, crías. La infraestructura cuenta con cuatro apriscos de 4.5×4.5 m cada uno, con ventilación natural. También tiene comederos manuales colectivos tipo canal y bebederos automáticos.

Las instalaciones están en estado nuevo; cuentan con apriscos de madera y techos de zinc en toda la infraestructura. Estos techos se ubican a 3 metros de altura para favorecer la circulación del aire. Los pisos de los apriscos son de madera, mientras que el resto de la infraestructura presenta pisos de cemento.

3.3. Estabulación

Monteiro et al. (2017) indican que la estabulación se considera el mejor sistema de manejo para las cabras de alta producción lechera. Este sistema destaca por la ausencia de pastoreo, lo que conlleva un mayor uso de alimentos concentrados comerciales. Por otro lado, el forraje proviene en su mayoría de bancos forrajeros y proteicos; este se les lleva directamente a los animales.

En un sistema estabulado se requieren instalaciones adecuadas para la producción. Estas instalaciones se diseñan con el objetivo de brindar a los animales el mayor confort posible para que alcancen sus rendimientos óptimos (Figueroa, 2009). Además, se deben proporcionar concentrados con alto contenido proteico y energético. Aunque presenta una desventaja, como su elevado costo, facilita en gran medida el manejo de los animales, lo que permite obtener mejores índices productivos, según Aréchiga et al. (2008).

3.4. Características de la unidad productiva

El estudio se llevó a cabo en una finca de pequeña escala (≤ 50 animales) con un sistema de producción intensivo. Las razas presentes son Saanen (66%), Alpina (21.3%) y La Mancha (8.50%), y los cruces entre Alpina y La Mancha (4.30%). Esta composición racial coincide con los hallazgos de Marquínez et al. (2022), quienes reportaron la progresiva pérdida de caprinos criollos en Panamá y la predominancia de razas mejoradas y sus cruces, como Saanen, Nubia, Toggenburg, Alpina, Murciana, Granadina y La Mancha. Asimismo, Oliveira et al. (2022) caracterizaron en Brasil la combinación de razas especializadas (Saanen dominante) con infraestructura básica pero funcional, logrando una producción diaria de 1.8 L/cabra, un valor comparable al de la finca estudiada. El tamaño del hato se ajusta a la descripción de Solís Lucas et al. (2020) en su estudio de tipificación integral de los sistemas caprinos de la provincia de Santa Elena, Ecuador. En aquel estudio, el 64% de los productores tenían hatos de 25 animales o menos, lo que sitúa la finca

del presente estudio entre el 28% de los productores con poblaciones de 26 a 50 animales. Esta cifra es superior a los reportados en Tailandia por Nakavisut y Anothaisinthawee (2014) que indica que el tamaño promedio de las granjas lecheras oscila entre 15 y 20 cabras.

3.5. Razas caprinas especializadas

3.5.1. Saanen

En la finca, las cabras Saanen presentaron pesos de 50–55 kg en estado adulto y de 60–90 kg durante la gestación, valores que confirman el estándar de 50 kg para hembras adultas descrito por Kassahun y Abegaz (2008). En cuanto a la producción de leche, Dickinson et al. (2027) señalan que la raza puede alcanzar rendimientos de 3.5 a 6.5 kg/día; sin embargo, en Panamá, Cedeño et al. (2023) reportaron un promedio diario de 1.85 kg para Saanen, cifra superior a la registrada en la finca de este estudio, que presenta un promedio de 1.3 kg/cabra. Esta diferencia podría deberse a factores como el nivel de alimentación y la calidad del forraje disponible, ya que la Saanen, por su alto potencial productivo, es una raza que requiere cubrir exigentes necesidades nutricionales para expresar su verdadera capacidad genética (Rosa, 2011).

3.5.2. Alpina

En el rebaño, las cabras Alpinas se usan para mejorar las características morfológicas y compensar la baja adaptación de otras razas. Sus crías presentaron pesos al nacer de 6-9 libras (2.7-4.1 kg); los pesos registrados coinciden con el rango estándar reportado por Hysi et al. (2024), quienes hallaron un peso promedio al nacer de 3.6 kg. La función de mejorar la adaptación respalda a Solaiman (2010) quien indicó que esta raza muestra tolerancia a sistemas

diversos desde el pastoreo hasta la estabulación. Asimismo, la estrategia de usarlas para mejorar rasgos morfológicos concuerda con su descripción como animales de gran tamaño y uniformidad, y con que cuentan con ubres de gran tamaño y bien formadas. El patrón de pelaje de los animales de esta raza de la finca concuerda con lo descrito por Gillespie y Flanders (2010), al abarcar desde el blanco puro hasta el negro, incluyendo muchos otros patrones de color. Las tonalidades incluyen leonado, marrón, gris y rojo. Asimismo, tienen orejas erguidas y pelo corto.

3.5.3. La Mancha

Las cabras La Mancha propiedad de este estudio se caracterizaron por la predominancia de orejas tipo elfo; este hallazgo está de acuerdo con la descrita por Gillespie y Flanders (2010) quienes describen los dos tipos de orejas: de tuza y de elfo. La oreja de tuza mide 2.54 cm (1 pulgada) o menos de largo, con poco o ningún cartílago. El extremo está curvado hacia arriba o hacia abajo, mientras que la oreja de elfo puede medir 5.1 cm (2 pulgadas) de largo. La baja representación de esta raza en el hato (8.50%) limitó la evaluación de su rendimiento lácteo específico; sin embargo, Majid et al. (1997) indican que esta raza alcanza hasta 2 kg al día en la primera lactancia, 3 kg en la segunda y 3-4 kg en la tercera y la cuarta lactancia.

3.6. Sanidad y control de enfermedades

Desde el punto de vista del manejo sanitario, la finca en estudio aplica un plan de desparasitación preventiva en crías recién nacidas y en cabras en postparto, ya que son la población más vulnerable inmunológicamente. Adicionalmente, se complementa con una desparasitación anual selectiva, basada en análisis coprológicos previos, para determinar la necesidad de su aplicación. Esta práctica, además de racionalizar el uso de antiparasitarios, concuerda con lo recomendado por Riet-Correa et al. (2013) quienes demostraron que la asistencia técnica basada en el diagnóstico redujo la incidencia de mastitis subclínica (15.1-8.60%) en

sistemas brasileños. Ese porcentaje inicial, antes de la asistencia, supera al reportado en la finca, ya que el rebaño ha sido afectado por la mastitis únicamente en un 10.3%. En contraste, Kagucia et al. (2020) encontraron que en Kenia el 97% de las fincas desparasitan sin diagnóstico previo, lo que puede generar resistencia y reducir la eficacia de los tratamientos.

3.7. Manejo alimenticio y forrajero

Uno de los principales desafíos identificados fue la estacionalidad en la disponibilidad de forraje. Durante la época seca, se observó una reducción significativa en la oferta forrajera, un problema también reportado en el 27.9% de los sistemas caprinos de Filipinas (LennyLyn et al., 2020) y hasta en el 49% de las fincas de Tanzania (Stone et al., 2020). Esta situación evidencia que las fincas caprinas en los países tropicales se ven afectadas por la época seca si no se cuenta con sistemas adecuados de conservación o de reserva de forraje. En Panamá, Aued y Olave (1995) identificaron, en su caracterización de bases forrajeras tradicionales, el pasto *Digitaria didactyla* y el árbol forrajero *Guazuma ulmifolia*, ambos utilizados en la finca estudiada de distintas formas. Actualmente, el sistema forrajero incluye Cuba CT-22, Swazi, Morera, Botón de oro y Guácimo, lo cual coincide con las prácticas de aproximadamente el 50% de los productores nacionales que emplean pastos de corte y especies arbustivas (Marquínez-Batista et al., 2022).

3.8. Evaluación de calidad nutricional de los recursos forrajeros

La ración principal consistió en 29.5 kg MF de pasto Cuba CT-22 dos veces al día (59 kg), complementada con otros forrajes. Los resultados mostraron que el pasto Cuba tiene un contenido proteico de 13.8%, valor que se encuentra dentro del rango de 8-14% reportado para esta especie de gramíneas tropicales (Cepeda, 2013). En Panamá se han documentado valores de proteína cruda para este forraje que van entre 8.30-10% (Herrera et al., 2021). Sin embargo, su elevado contenido de fibra

(69.1% FDN) resultó en una digestibilidad de 59.1%, valores que coinciden con lo reportado por Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez (2010) en estudios con King Grass (FDN 68-75%, digestibilidad 58-65%) y en investigaciones del cv. Cuba CT-115 que registró FDN de 66-71% y digestibilidad de 57-65% (De Dios-León et al., 2022). Finalmente, el contenido de materia seca de 18.5% se encuentra dentro del rango característico de 18-28% establecido para estas gramíneas tropicales (Cepeda, 2013).

La Morera, que se les ofreció a los animales, fue de 20.8 kg MF/día y presentó un contenido proteico de 17.8%, acorde con lo documentado en condiciones tropicales. Su combinación de digestibilidad 66.9% y niveles moderados de fibra la convierte en un forraje de excelente calidad, ideal para la suplementación de rumiantes, especialmente en cabras lecheras. Los valores de proteína cruda y digestibilidad obtenidos para la Morera en este estudio se alinean con lo reportado en la literatura para condiciones tropicales. Investigaciones como la de Martín et al. (2007) documentan contenidos proteicos entre 17.6-20.8% y digestibilidades in vitro de 65-70%, mientras que estudios específicos en caprinos (Elizondo-Salazar et al., 2004) reportan rangos de 16.8-19.2% de proteína y de 66.5-71.8% de digestibilidad. Esto también coincide con estudios realizados en Panamá, donde se ha demostrado que la edad de cosecha es un factor determinante. Ya que se registraron valores de 17.6% de proteína cruda y 71.5% de digestibilidad en una edad específica de rebrote (Polo & Moreno, 2022).

Por otro lado, el Guácimo se destacó como la especie con el mayor contenido proteico (20.3%) y una alta digestibilidad (69.1%), lo que confirma su valor como suplemento proteico para caprinos. Sin embargo, su bajo porcentaje de materia seca (13.8%), debido a la alta humedad durante la época lluviosa, puede dificultar su conservación. Esto coincide con lo reportado por Ortega-Vargas et al. (2013), quienes documentaron que durante la época lluviosa el Guácimo presenta contenidos de materia seca entre 19-21%, significativamente menores que los observados en la época seca (29-33%).

Por su parte, el Botón de oro presentó un nivel proteico del 7.81%, ubicándose en el límite inferior del rango reportado en la literatura para condiciones de trópico húmedo. En cuanto a la MS y la digestibilidad, la literatura reporta valores consistentes con los hallazgos de este estudio. Según Navas et al. (2019), los contenidos de MS oscilan entre 22.5-28.7%, mientras que la digestibilidad está en 62-68%. Medina et al. (2009) documentan contenidos de MS en el rango de 25-30%. Asimismo, Rivera et al. (2021) registran contenidos de MS entre 26.3-31.8% y valores de digestibilidad entre 58.5-66.2%. Estos estudios confirman que el contenido de MS del 28.9% y la digestibilidad del 62.5% obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los rangos reportados para la especie en condiciones tropicales.

Finalmente, el heno de Swazi se ofrece en una cantidad de 17.2 kg MF/día; este suplemento muestra que con una conservación adecuada es capaz de alcanzar hasta 91.9% de MS y un valor proteico de hasta 9.5%, valores reportados para henos de gramíneas tropicales bien manejados (Heuzé et al., 2006). Esta calidad proteica, concuerda con la interacción entre la fisiología de las gramíneas tropicales y el estado de madurez en la cosecha. Como señala Givens (2000), el retraso en la cosecha de forrajes tropicales influye en el contenido de proteína cruda y el contenido de fibra indigestible. Esta característica destaca por la naturaleza de las gramíneas tropicales, que, según Pavezzi et al. (2021), se lignifican más rápidamente que las de zonas templadas.

Tabla 2. Composición nutricional de los forrajes.

Descripción de la muestra	Cuba CT-22	Morera (<i>Morus alba</i>)	Heno Swazi	Guácimo (<i>Guasuma umifolia</i>)	Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)
Materia Seca (MS), %	18.5	24.8	91.9	13.8	28.9
Proteína Cruda (PC), %	13.8	17.8	7.50	20.3	7.81
Fibra Detergente Neutro (FDN), %	69.1	60.2	67.8	63.5	83.4
Fibra Detergente Ácido (FDA), %	38.2	28.3	38.1	25.4	33.8
Digestibilidad de la Materia Seca (DMS), %	59.1	66.9	51.5	69.1	62.5
Energía Digestible (ED), Mcal/kg MS	2.6079	2.9483	2.53	3.0469	2.7577
Energía metabolizable (EM), Mcal/Kg MS	2.184	2.528	2.06	2.627	2.335

3.9. Producción láctea

Durante la etapa de lactancia evaluada, con 11 cabras en producción, se registró un rendimiento promedio de 1.3 kg/cabra. Este dato se encuentra dentro del rango de producción reportado en sistemas tropicales (0.44–2.96 kg/cabra), como lo indican Stone et al. (2020), LenyLyn et al. (2020), Riet-Correa et al. (2013) y Kagucia et al. (2020).

3.10. Validación del modelo LIFE-SIM

La validación del modelo se realizó contrastando la producción de leche observada mensualmente con la producción simulada, utilizando un potencial de consumo de MS ajustado entre 2.8% y 3.3% del peso vivo. A partir de este rango se obtuvo un promedio de producción simulada que se comparó con los valores observados (Tabla 3). La calibración posterior permitió definir un consumo potencial óptimo del 3.28 % del peso vivo, valor que se utilizó en las simulaciones de dietas. Este porcentaje coincide con lo reportado en cabras lactantes, ya que se ha documentado que para optimizar la producción de leche y mantener una buena condición para la siguiente lactancia, la ingesta total de MS debe ser de alrededor del 4% del peso corporal de las cabras (Granados-Rivera et al., 2021; Carbajal, 2011).

Tabla 3. Métricas de la evaluación de precisión.

Mes	Observado (kg)	Simulado (kg)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	MAE	MSE	RMSE	RRMSE	NSE
1	1.45	1.31	0.10	9.95	0.12	0.03	0.16	16.55	0.74
2	1.56	1.53	0.14	13.79					
3	1.30	1.39	0.21	21.19					
4	1.17	1.22	0.22	21.79					
5	0.89	1.12	0.03	3.42					
6	0.79	1.11	0.14	13.72					
7	0.78	0.97	0.10	9.77					
8	0.73	0.68	0.13	13.30					
9	0.00	0.00	0	0					
		Observado	Simulado	Diferencia					
Producción total		8.65	9.34	0.69					
Pico de lactancia		1.56	1.53	-0.02					
Promedio total		0.96	1.04	0.08					

Nota. MAE (Error absoluto medio), MSE (Error cuadrático medio), RMSE (Raíz del error cuadrático medio), RRMSE (Error cuadrático medio relativo), NSE (Eficiencia de Nash-Sutcliffe).

En general, la producción total observada fue de 8.65 kg, mientras que la simulada alcanzó 8.92 kg, con una diferencia de 0.27 kg, equivalente a un 7.98% de sobreestimación. El promedio diario total fue de 0.96 kg en la producción observada y de 1.04 kg en la simulada, con una diferencia de 0.08 kg. Los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 3.42% y 21.79%; esta amplitud indica que el modelo es muy sensible a los cambios en el potencial de consumo.

Las métricas de precisión obtenidas fueron: MAE= 0.12 kg, MSE= 0.03 kg, RMSE= 0.16 kg, RRMSE= 16.55%. Este valor, según los criterios reportados por Wimalasiri et al. (2021), se considera una buena precisión, ya que un RRMSE menor al 30% indica un ajuste confiable entre lo simulado y lo observado. Por su parte, el NSE es 0.74; se clasifica como bueno según Perreault et al. (2022) en su clasificación del coeficiente de Nash-Sutcliffe.

Gráfica 1. Distribución de la producción mensual observada y simulada, con la línea diagonal de referencia $X=Y$.

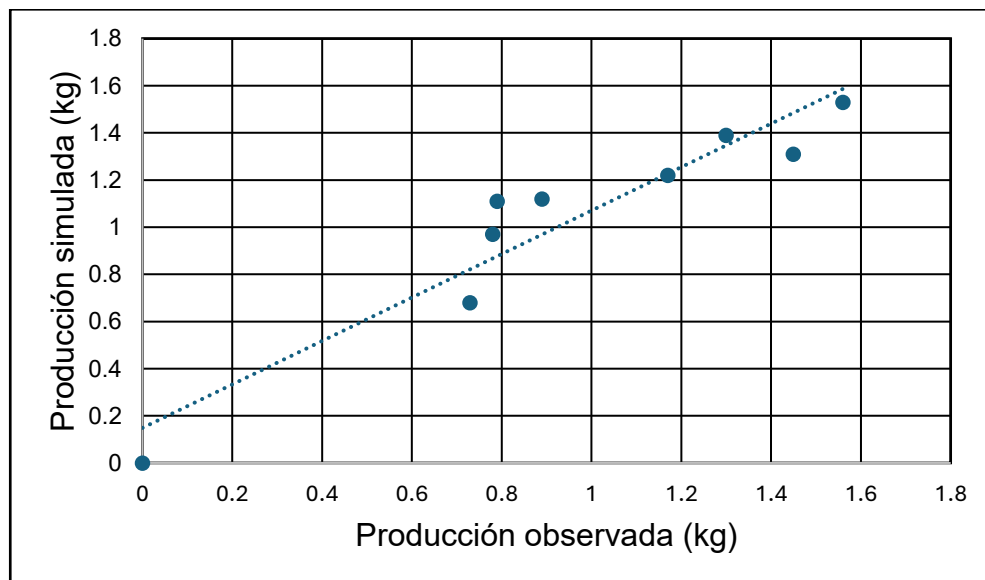
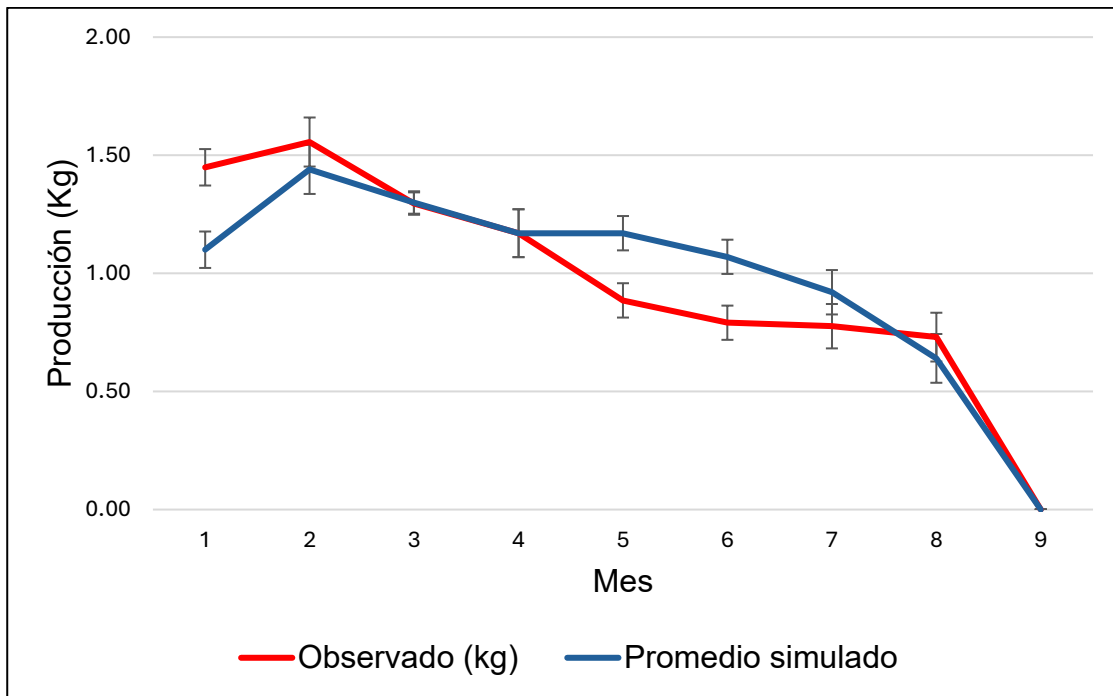


Tabla 4. Lactancia dividida en tercios.

Tercios	Promedio de tercios observados	Promedio de tercios simulados
Primer tercio	1.43	1.41
Segundo tercio	0.95	1.15
Tercer tercio	0.50	0.55

Al analizar la producción promedio de leche dividida en tercios de lactancia, se observó que en el primer tercio, donde se registró el ascenso y el pico de producción, el valor observado fue de 1.43 kg, mientras que el simulado fue de 1.41 kg. Durante el segundo tercio, la simulación reportó una producción de 1.15 kg, frente a los 0.95 kg observados. Esto significa que la simulación mantuvo una persistencia en la producción ligeramente mayor que la observada en los antecedentes. En el tercer tercio de la lactancia, ambos valores fueron muy similares: 0.55 kg simulados frente a 0.5 kg observados, lo que demuestra un ajuste adecuado del modelo en la fase final, cuando la producción va cayendo de forma constante. Estos valores obtenidos concuerdan a lo reportado por Sánchez de la Rosa et al. (2006) que indican que el pico de producción suele alcanzarse entre la segunda y la cuarta semana de lactancia y que posteriormente se produce una disminución gradual.

Gráfica 2. Curva de lactancia de la producción observada y la estimada con dispersión.



La gráfica de la producción total de leche muestra una curva simulada (línea azul) que sigue la tendencia observada (línea roja). Las dos líneas muestran un aumento inicial hasta el segundo mes, cuando alcanzan el pico de lactancia. El pico de lactancia se presentó con valores de 1.56 kg observados y de 1.53 kg simulados. En la gráfica se observa que la mayoría de los valores simulados se encuentran dentro del rango de variación de los datos observados o cercanos a él. Durante el primer tercio de la lactancia, las barras de error muestran un leve aumento de la dispersión. Sin embargo, a medida que la lactancia avanza, las barras se mantienen relativamente cortas y la simulación sigue la curva observada.

3.11. Evaluación del potencial de consumo del forraje base

Tabla 5. Potencial de consumo voluntario de Cuba CT-22.

Oferta (kg MF)	Leche (kg por lactancia)	Margen bruto (Balboas por lactancia)	Costo de alimentación (Balboas por lactancia)	Costo unitario (B/. Alimentación/kg leche) por lactancia	Producción marginal (kg de leche) por lactancia
6	0.06	-265.97	133.17	2219.50	33.77
7	33.83	-124.66	155.36	4.59	80.32
8	114.15	272.71	177.55	1.56	86.61
9	200.76	704.47	199.75	0.99	86.15
10	286.91	1134.12	221.94	0.77	86.17
11	373.08	1563.66	244.14	0.65	63.12
12	436.2	1866.46	266.33	0.61	42.91
13	479.11	2058.04	288.52	0.60	28.84
14	507.95	2172.31	310.72	0.61	

En este análisis se identifica el punto de inflexión en el que se retribuye económicamente la producción. Esta relación observada entre la oferta forrajera y el rendimiento lácteo es una aplicación práctica de la teoría de la producción (Echevarria, 2022). Al identificar que solo a partir del alcance de la oferta de 8 kg de MF se logra un margen positivo, el autor confirma la importancia de determinar los niveles óptimos de insumos para corregir ineficiencias en los costos. Esta

teoría permite validar la eficiencia en la asignación de los recursos alimenticios, demostrando que los niveles de oferta inferiores no cubren los costos de alimentación.

3.12. Respuesta productiva y económica

3.12.1. Comportamiento del costo por cada unidad de leche

Como se demostró anteriormente, el punto de equilibrio económico se alcanzó a una oferta de 8 kg MF, en la que se obtuvo un retorno positivo. A medida que aumentó la oferta de forraje, se observó una estabilización de la eficiencia de ganancia. A partir de los 9 kg MF, el margen bruto por lactancia aumentó de forma constante. La oferta de 10 kg MF presentó los indicadores de mayor estabilidad productiva. Lo que representó la máxima eficiencia operativa del forraje base. En cuanto al nivel de eficiencia productiva y económica, fue de 11 kg MF por oferta. A partir de ahí, se entró en una fase de rendimientos decrecientes en la que, aunque aumentaron los kilogramos de leche, la respuesta marginal de producción disminuyó.

Este hallazgo confirma lo señalado por Rodríguez (2004) quien dicen que las inversiones adicionales de capital en ciertas producciones no incrementan la tasa de ganancia.

3.12.2. Comportamiento del costo unitario de producción

El costo marginal fue alto al inicio porque, con una oferta forrajera baja, la mayor parte de la energía del alimento se destina a los requerimientos basales de mantenimiento del animal. Al aumentar la oferta, el costo marginal disminuye. Ahí es cuando el animal empieza a utilizar el forraje para producir leche. Relacionado a esto, Sánchez (2000) explica que los tejidos secretores de la glándula mamaria tienen una alta demanda metabólica y necesitan nutrientes de forma constante para

mantener la producción de leche. En la nutrición del ganado lechero, la oferta nutricional es la que tiene ese trabajo: primero se cumplen los requerimientos de mantenimiento; una vez cumplidos, los nutrientes se canalizan hacia la producción láctea.

3.13. Evaluación del potencial de consumo voluntario de los suplementos

Tabla 6. Producción y margen bruto de cada ingrediente.

Ingrediente	Oferta (kg de materia fresca)	Producción de leche (kg por lactancia)	Margen bruto (Balboas por lactancia)
Cuba	14	508.19	2173.59
Alimento	2.25	532.58	2093.21
Morera	8	503	1663.88
Botón de Oro	7.15	271.35	497.27
Heno	2.25	137.38	129.25
Guácimo	15	523.64	938.45

Se identificaron sus techos de consumo voluntario y se determinó el punto en el que el animal comenzó a rechazar el ingrediente. Este análisis es fundamental para comprender la palatabilidad y el valor nutricional real de los ingredientes bajo restricciones de forraje base.

Los ingredientes identificados como pilares de la dieta fueron Cuba y alimento concentrado. Aunque el alimento concentrado registra la mayor producción de leche, el Cuba alcanza el margen bruto más alto, lo que demuestra que, pese a la producción láctea inferior, su ventaja radica en los bajos costos del ingrediente. Leng (2006) informa que en países tropicales es necesario elevar la incorporación de forrajes para minimizar la compra de recursos externos para la finca.

El heno, específicamente, presenta un resultado bajo, lo que indica su inviabilidad como ingrediente base en una estrategia de maximización de ganancias. Morcillo (2009) reporta que, en Panamá, un gran volumen de los henos de gramíneas se

caracteriza por un contenido bajo de proteína cruda (4-6%), como es el caso del heno de pasto *Cynodon dactylon* (Alicia). Aunque esta especie pertenece a un género diferente al del pasto *Digitaria didactyla* (Swazi), ambas son gramíneas tropicales perennes de crecimiento estolonífero. Heuzé et al. (2006) señalan que, bajo un manejo adecuado el heno de Swazi puede alcanzar valores proteicos de hasta 9.5% en países tropicales.

3.14. Análisis de la eficiencia energético-proteica y el costo

Tabla 7. Ingredientes y su eficiencia energético-proteica.

Ingrediente		Unidad de nutriente	Costo de nutriente
Cuba		Mcal/Kg PC	Mcal/Kg PC
Digestibilidad	59.1	2.1	B/.0.02
PC	13.8	0.138	B/.0.29
Morera			
Digestibilidad	66.9	2.38	B/.0.04
PC	17.8	0.178	B/.0.56
Morera de calidad			
Digestibilidad	80.6	2.87	B/.0.03
PC	19.1	0.191	B/.0.52
Alimento			
Digestibilidad	80	2.85	B/.0.20
PC	22	0.22	B/.2.59
Botón de oro			
Digestibilidad	62.5	2.22	B/.0.05
PC	7.81	0.781	B/.0.13
Guácimo			
Digestibilidad	69.1	2.46	B/.0.04
PC	20.3	0.203	B/.0.49
Heno			
Digestibilidad	51.5	1.83	B/.0.22
PC	7.5	0.075	B/.5.33

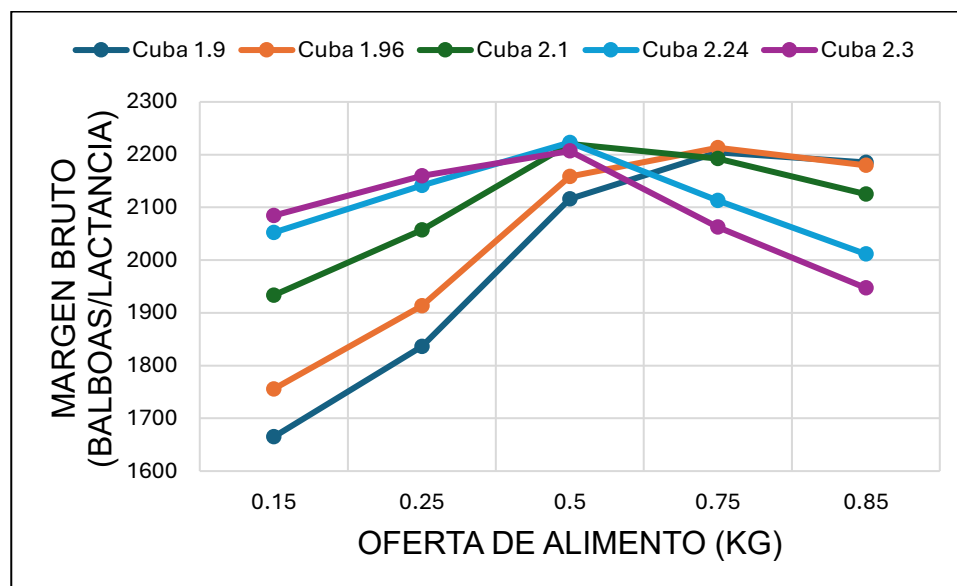
Nota. PC (Proteína cruda), Mcal (Megacalorías).

El pasto de corte y acarreo, Cuba y el Botón de oro destacan como fuentes de alta eficiencia en ambos costos: de energía y de proteína. En contraste, el alimento

concentrado y el heno de Swazi presentan los costos energéticos más altos. Esto indica que el concentrado, aunque es una fuente de energía densa, es más costoso que el Cuba por unidad de energía aportada. Esto recalca nuevamente lo señalado por Leng (2006) de la utilización de recursos propios. Por eso, ingredientes como el alimento deben reservarse exclusivamente para cubrir déficits nutricionales que los forrajes, a pesar de ser baratos, no alcanzan a suplir.

3.15. Dietas seleccionadas con dos ingredientes

3.15.1. Cuba CT-22 y alimento concentrado

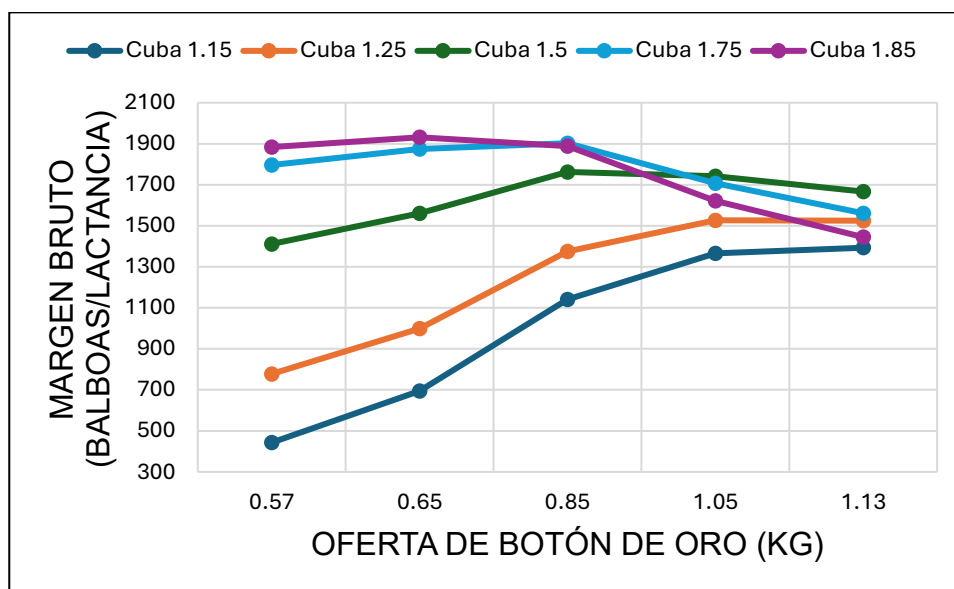


Gráfica 3. Interacción entre pasto Cuba y alimento concentrado.

Se observó que, para cualquier nivel de alimento concentrado, un aumento de la oferta de Cuba mejoró el margen bruto. Esto confirma que el Cuba actúa como el componente que reduce los precios de la dieta, elevando la rentabilidad al disminuir la dependencia de insumos costosos. La máxima rentabilidad se alcanzó al

combinar 2.24 kg MS de Cuba (12.1 kg MF) con 0.5 kg MS de alimento concentrado (0.55 kg MF), obteniendo un margen bruto de B/.2,222.94 por lactancia.

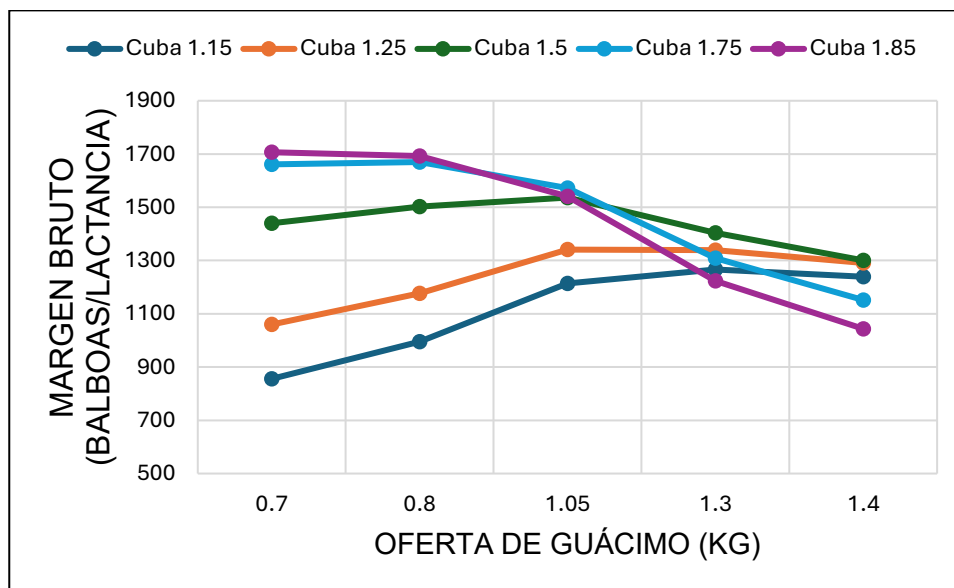
3.15.2. Cuba CT-22 y *Tithonia diversifolia*



Gráfica 4. Interacción entre el pasto Cuba y Botón de oro.

Los valores máximos indican que, aunque el Botón de Oro es un recurso que considerar, su densidad nutricional es menor que la del alimento concentrado. La mejor rentabilidad se logra con la combinación de 1.85 kg MS de Cuba (10 kg MF) y 0.65 kg MS de Botón de Oro (2.24 kg MF), alcanzando un margen bruto de B/. 1,931.5 por lactancia. Sin embargo, existe un punto en donde, cuando la inclusión de Botón de Oro pasa de 0.65 kg MS, el margen bruto de la lactancia se desploma. Demostrando que el exceso de suplementación no garantiza una mayor rentabilidad.

3.15.3. Cuba CT-22 y *Guazuma ulmifolia*

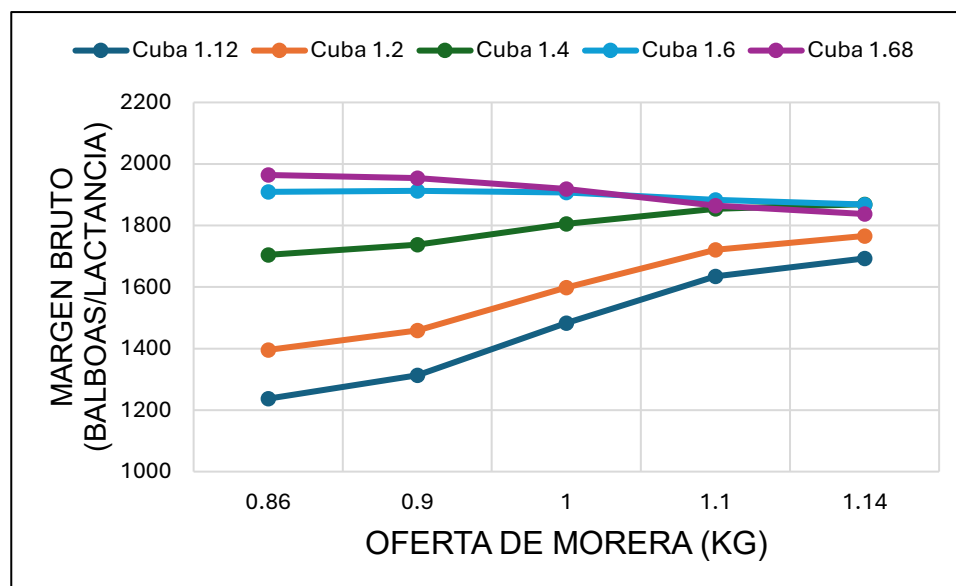


Gráfica 5. Interacción entre el pasto Cuba y Guácimo.

El Guácimo muestra un potencial reducido como suplemento de bajo costo, alcanzando su máxima rentabilidad con la combinación de 1.85 kg MS de Cuba (10 kg MF) y 0.7 kg MS de Guácimo (5.07 kg MF), lo que generó un margen bruto de B/. 1,706.65 por lactancia. En términos de valor nutricional aportado, es un recurso con menor capacidad para potenciar el margen bruto en comparación con otras alternativas. El hallazgo de que el margen bruto de la lactancia disminuyó al intentar incrementar su inclusión confirma que este recurso funciona mejor como apoyo que como base de la dieta.

Reportes de Villa-Herrera et al. (2010) afirman que el uso del Guácimo es común debido a que es un alimento muy palatable. Sin embargo, los productores no lo utilizan de manera sistemática, sólo cuando no hay suficiente pasto.

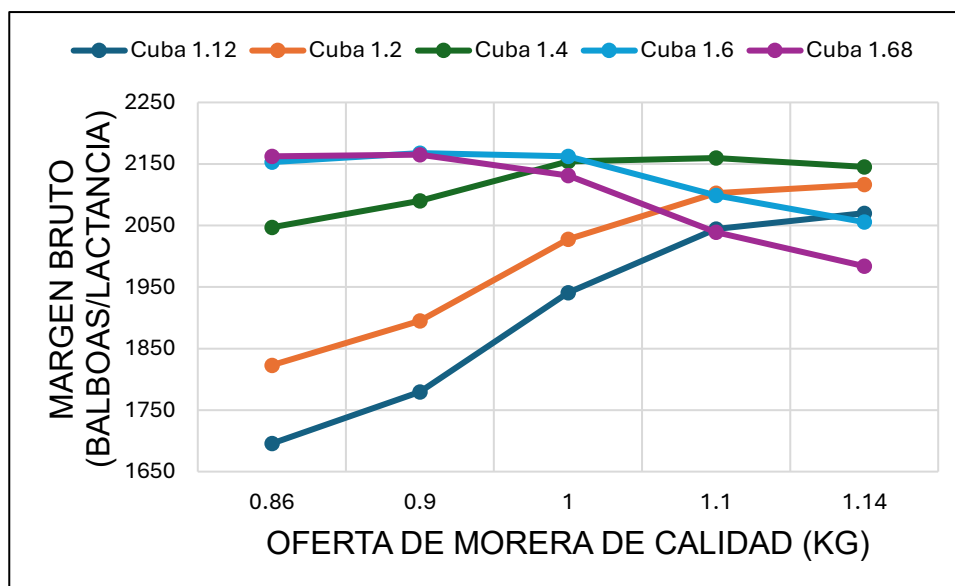
3.15.4. Cuba CT-22 y *Morus alba*



Gráfica 6. Interacción entre el pasto Cuba y Morera.

La Morera muestra un comportamiento muy estable. La mejor combinación se alcanzó con 1.68 kg MS de Cuba (9.08 kg MF) y 0.86 kg MS de Morera (3.46 kg MF), obteniendo un margen bruto de B/. 1,964.12 por lactancia. Al exceder el óptimo, no se observan caídas drásticas del margen bruto durante la lactancia, a pesar de emplear niveles altos de inclusión. Cabe destacar que el aumento de Cuba es el factor que determina la rentabilidad.

3.15.5. Impacto de la mejora en la calidad nutricional de la Morera



Gráfica 7. Interacción entre el pasto Cuba y Morera de calidad.

Al mejorar la calidad de la Morera, el margen bruto por lactancia alcanzó B/. 2,167.67 con la combinación de 1.6 kg MS de Cuba (8.64 kg MF) y 0.9 kg MS de Morera con una calidad más alta (2.98 kg MF). Este valor supera el de la Morera de la finca y se aproxima a la rentabilidad obtenida con el alimento concentrado. De acuerdo con Heuzé et al. (2019), con un manejo adecuado, la Morera tiene potencial significativo en la alimentación en zonas tropicales.

3.16. Dietas seleccionadas con tres ingredientes

3.16.1. Cuba CT-22, alimento concentrado y *Tithonia diversifolia*

Tabla 8. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Botón de oro.

Y = Margen bruto por lactancia B/. 2,317.18		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Alim	0.08	286.98	544.93	757.36	772.66	670.03
	0.25	846.33	1,097.22	1,299.30	1,304.26	1,194.56
	0.50	1,457.01	1,697.56	1,884.47	1,874.25	1,754.21
	0.75	1,818.63	2,048.83	2,220.57	2,195.18	2,064.79
	0.92	1,922.40	2,145.54	2,306.93	2,271.19	2,133.75
		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Botón	0.08	-787.97	-46.70	874.42	1,598.41	1,979.10
	0.25	-141.92	504.69	1,287.01	1,872.19	2,158.21
	0.50	671.17	1,178.98	1,757.77	2,139.43	2,286.65
	0.75	1,324.69	1,693.69	2,068.96	2,247.09	2,255.50
	0.92	1,678.86	1,953.20	2,189.66	2,228.99	2,142.74
		X1=Alimento				
	Kg MS	0.08	0.25	0.50	0.75	0.92
X2 = Botón	0.08	-506.18	14.76	569.12	874.42	939.78
	0.25	-108.89	415.93	976.00	1,287.01	1,356.26
	0.50	339.43	869.96	1,438.40	1,757.77	1,832.72
	0.75	628.19	1,164.42	1,741.22	2,068.96	2,149.61
	0.92	733.59	1,273.72	1,856.22	2,189.66	2,274.21

El Cuba y el alimento concentrado evidencian que niveles intermedios de Cuba, combinados con niveles altos de alimento concentrado, maximizan el margen bruto de la lactancia. La mejor combinación se alcanzó con 1 kg MS de Cuba (5.4 kg MF) y 0.92 kg MS de alimento (1 kg MF), lo que da un margen bruto de B/. 2,306.93 por lactancia. Sin embargo, si aumentamos el Cuba hasta su punto máximo, el margen bruto disminuye.

Por otro lado, los pastos Cuba y Botón de oro demuestran que, al fijar el alimento concentrado en 0, se logra un margen por lactancia superior con la combinación de Cuba al máximo de 1.42 kg MS (7.67 kg MF) y Botón de oro en nivel medio, 0.5 kg MS (0.7 kg MF), alcanzando B/. 2,286.65 por lactancia. Validando que una finca bien manejada, con Cuba y Botón de oro, puede ser tan rentable como otra que compra grandes cantidades de alimento concentrado.

Finalmente, el Botón de oro y el alimento concentrado demuestran que, maximizando la oferta de ingredientes, 0.92 kg MS de alimento (1 kg MF) y 0.92 kg MS de Botón de oro (3.18 kg MF) se pueden obtener un margen bruto de B/. 2,274.21 por lactancia, siendo competente con el margen por lactancia del alimento cuando este se fija. Sin embargo, hay que destacar el margen bruto negativo en la lactancia que se obtiene si el Botón de oro no se complementa con otro ingrediente. Este comportamiento se explica porque, como señalan Van Sao, Thi Mui y Van Binh (2010), aunque las cabras consumen bien el follaje de Botón de oro, necesitan una suplementación adecuada para que se evidencie su valor nutritivo potencial.

3.16.2. Cuba CT-22, alimento concentrado y *Guazuma ulmifolia*

Tabla 9. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Guácimo.

Y = Margen bruto por lactancia B/. 2,066.82		X1=Cuba				
	Kg MS	0.63	0.88	1.25	1.62	1.87
X2 = Alim	0.08	-1,282.95	-409.45	572.07	1,197.74	1,420.35
	0.25	-513.84	240.74	1,047.90	1,499.21	1,602.91
	0.50	394.00	974.23	1,525.72	1,721.38	1,650.72
	0.75	1,040.41	1,446.27	1,742.11	1,682.11	1,437.09
	0.92	1,331.31	1,618.26	1,739.74	1,505.37	1,141.44
		X1=Cuba				
	Kg MS	0.63	0.88	1.25	1.62	1.87
X2 = Gua	0.10	346.94	1,008.86	1,680.15	1,995.60	2,006.64
	0.20	562.16	1,176.65	1,778.40	2,024.31	1,987.91
	0.35	806.40	1,351.35	1,851.13	1,995.06	1,889.13
	0.50	965.82	1,441.22	1,839.03	1,881.00	1,705.52
	0.60	1,025.89	1,453.87	1,782.13	1,754.55	1,531.65
		X1=Alimento				
	Kg MS	0.08	0.25	0.50	0.75	0.92
X2 = Gua	0.10	11.29	613.96	1,277.77	1,680.15	1,804.62
	0.20	201.93	781.11	1,410.47	1,778.40	1,879.38
	0.35	410.13	954.86	1,533.71	1,851.13	1,917.65
	0.50	533.51	1,043.79	1,572.13	1,839.03	1,871.11
	0.60	569.00	1,055.79	1,549.68	1,782.13	1,790.71

En la interacción entre Cuba y alimento concentrado, se observa que el margen bruto de la lactancia alcanza su máximo con una oferta de Cuba intermedia y de alimento media-alta, con 0.75 kg MS (4.05 kg MF), obteniendo B/. 1,742.11 por lactancia. Si la oferta de Cuba y alimento aumentara hasta su nivel máximo, provocaría una caída del margen bruto, lo que indicaría un punto en el que el costo de la oferta forrajera adicional no se traduciría en ingresos suficientes para cubrir el gasto de alimentación, según explica Rodríguez (2004).

A su vez, Cuba, con el Guácimo, presenta un mayor éxito en la dieta. Con la mejor combinación de 1.87 kg MS de Cuba (10.1 kg MF) y 0.1 kg MS de Guácimo (0.72 kg MF), alcanzando B/. 2,006.64 por lactancia.

Por último, el alimento ofertado al máximo, 0.92 kg MS (1 kg MF), con el Guácimo en niveles intermedios de oferta, 0.35 kg MS (2.53 kg MF), obteniendo un margen bruto de B/. 1,917.65 por lactancia.

3.16.3. Cuba CT-22, alimento concentrado y *Morus alba*

Tabla 10. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Morera.

Y = Margen bruto por lactancia B/. 2,115.54		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Alim	0.08	-50.55	425.34	999.51	1,426.69	1,633.71
	0.25	487.35	898.35	1,377.36	1,709.39	1,851.51
	0.50	1,106.61	1,422.46	1,761.95	1,954.46	2,001.43
	0.75	1,524.38	1,745.08	1,945.06	1,998.04	1,949.87
	0.92	1,693.74	1,849.55	1,954.37	1,912.21	1,799.14
		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Morera	0.08	-384.67	127.33	754.44	1,234.56	1,477.69
	0.25	11.73	487.40	1,061.23	1,488.08	1,694.88
	0.50	494.16	916.56	1,412.28	1,761.01	1,914.54
	0.75	859.13	1,228.25	1,645.86	1,916.47	2,016.72
	0.92	1,040.65	1,373.44	1,737.77	1,955.12	2,019.03
		X1=Alimento				
	Kg MS	0.08	0.25	0.50	0.75	0.92
X2 = Morera	0.08	-13.25	561.40	1,234.56	1,706.22	1,912.34
	0.25	373.64	894.22	1,488.08	1,880.46	2,032.49
	0.50	842.13	1,283.42	1,761.01	2,037.13	2,109.87
	0.75	1,193.15	1,555.14	1,916.47	2,076.32	2,069.78
	0.92	1,365.16	1,673.07	1,955.12	2,035.68	1,975.05

Al fijar la Morera, el Cuba y el alimento concentrado alcanzan una oferta de 1.42 kg MS de Cuba (7.67 kg MF) y una oferta media de alimento, 0.5 kg MS (0.55 kg MF), un margen bruto de B/. 2,001.43 por lactancia. Se observa que el margen bruto empieza a disminuir cuando se aplica la oferta máxima de alimento. Indicando que, con Morera en la dieta, el costo del alimento no se compensa en la producción, lo que hace que la dieta más rentable sea la de nivel medio de concentrado.

Con el alimento fijo, la combinación de máxima oferta de Cuba y Morera resulta más rentable que la combinación de alimento y Cuba con 1.42 kg MS (7.67 kg MF) y 0.92 kg MS de Morera (3.7 kg MF), alcanzando B/. 2,019.03 por lactancia.

Continuando con la Morera y el alimento concentrado, se observa un escenario en el que el alimento destaca en su máxima oferta, con 0.92 kg MS (1 kg MF), y la Morera, en niveles intermedios, con 0.5 kg MS (2 kg MF), generando B/. 2,109.87 por lactancia.

3.16.4. Cuba CT-22, alimento concentrado y *Morus alba* de calidad

Tabla 11. Interacción entre Cuba, alimento concentrado y Morera de calidad.

Y = Margen bruto por lactancia B/. 2,165.95		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Alim	0.08	33.30	511.19	1,086.37	1,512.29	1,717.15
	0.25	571.82	985.43	1,466.36	1,798.03	1,938.61
	0.50	1,191.89	1,511.24	1,853.97	2,047.44	2,093.77
	0.75	1,610.33	1,835.44	2,039.97	2,095.24	2,047.31
	0.92	1,780.07	1,940.90	2,051.18	2,012.19	1,899.99
		X1=Cuba				
	Kg MS	0.58	0.75	1.00	1.25	1.42
X2 = Morera	0.08	464.40	882.74	1,370.61	1,709.21	1,854.52
	0.25	795.83	1,178.37	1,613.76	1,899.88	2,009.40
	0.50	1,183.82	1,513.88	1,872.32	2,081.49	2,138.53
	0.75	1,455.32	1,732.90	2,014.39	2,146.61	2,151.17
	0.92	1,573.67	1,815.46	2,044.47	2,124.20	2,092.97
		X1=Alimento				
	Kg MS	0.08	0.25	0.50	0.75	0.92
X2 = Morera	0.08	-719.18	-50.27	760.98	1,370.61	1,670.74
	0.25	-265.58	349.82	1,082.60	1,613.76	1,860.37
	0.50	301.56	838.49	1,456.21	1,872.32	2,040.47
	0.75	752.21	1,210.67	1,713.34	2,014.39	2,104.07
	0.92	992.74	1,397.68	1,821.88	2,044.47	2,080.63

El Cuba y alimento concentrado muestran que la inclusión de ambos ingredientes en niveles medio-altos alcanza un margen bruto de B/. 2,095.24 por lactancia con una combinación de 1.25 kg MS de Cuba (6.75 kg MF) y 0.75 kg MS de alimento (0.83 kg MF). Fijando el alimento, la Morera y el Cuba, alcanzan el margen bruto de B/. 2,151.17 por lactancia, con 1.42 kg MS de Cuba (7.67 kg MF) y 0.75 kg MS de Morera (2.48 kg MF), mientras que la combinación de Morera de calidad, en una oferta de 0.75 kg MS (2.48 kg MF) y alimento 0.92 kg MS (1kg MF) genera B/. 2,104.07 por lactancia. Demostrando, nuevamente que una dieta basada

en forrajes producidos en finca es más rentable que una combinación que incluya alimento.

Para concluir hay que destacar que los escenarios tuvieron restricción máxima de alimento, basado en la investigación de Wang (2005), quien indica que una alimentación, caracterizada por altos niveles de alimento concentrado, conduce a la rápida producción de ácidos grasos volátiles en el rumen. También, que este exceso reduce el pH, lo que puede provocar alteraciones en el equilibrio microbiano ruminal. En consecuencia, el consumo prolongado de dietas con alto contenido de concentrado puede desencadenar trastornos metabólicos.

1.17. Análisis comparativo de las dietas seleccionadas

Entre las dietas seleccionadas con dos ingredientes, la combinación de Cuba y alimento concentrado destacó por su excelente desempeño económico, con un margen bruto de B/. 2,222.94 por lactancia. Sin embargo, la combinación de Cuba con Morera de mejor calidad, obtenida mediante un manejo adecuado, alcanzó B/. 2,167.67 por lactancia, siendo una alternativa competitiva frente al alimento comercial. Los otros forrajes suplementarios evaluados mostraron un desempeño inferior. La Morera, con la calidad actual de la finca, alcanzó B/. 1,964.12 por lactancia, seguido del Botón de oro con B/. 1,931.50 por lactancia y, finalmente, el Guácimo con B/. 1,706.65 por lactancia, siendo este último el que presentó el margen bruto más bajo. Estos resultados coinciden con lo señalado por Sánchez (2000), quien indica que las hojas de Morera pueden utilizarse como suplemento que reemplaza los concentrados en bovinos lecheros y como alimento principal para cabras. Asimismo, Lunpha y Sevilla (2014) señalan que la Morera constituye un sustituto potencial del concentrado o un suplemento para forrajes de baja calidad en rumiantes, al mejorar la función ruminal y, en consecuencia, el rendimiento animal.

Entre las dietas con tres ingredientes, la combinación de Cuba, alimento concentrado y Botón de oro fue la de mayor ingreso, con un margen bruto de B/. 2,317.18 por lactancia, superando incluso a la mezcla de Cuba, alimento concentrado y Morera de mejor calidad, que alcanzó B/. 2,165.95 por lactancia. Le sigue de cerca la combinación de Cuba, alimento concentrado y Morera con la calidad actual de la finca, que registró B/. 2,115.54 por lactancia, mientras que la mezcla de Cuba, alimento concentrado y Morera, con el menor desempeño, obtuvo B/. 2,066.82 por lactancia, siendo la opción de menor margen bruto dentro de este grupo.

Este hallazgo demuestra que el Botón de oro tiene una mayor eficiencia energético-proteica, como se evidencia en la Tabla 7. Además, Rodríguez-Segura et al. (2024) demuestran que, al incluir el Botón de Oro, logra una reducción del 3.6% en el costo total de producción, reduciendo alimento comercial. Esto no solo permite abaratar el costo por kilogramo de leche producido sin comprometer el volumen de producción.

3.18. Comercialización

Respecto a la comercialización, la finca vende sus productos directamente al consumidor final a través de redes sociales y a los vecinos locales. Esta modalidad coincide en parte con la comercialización descrita en el estudio de Arruda et al. (2014) en Brasil, donde el 33% de los productores comercializan directamente al consumidor, pero la principal venta se realiza en las ferias, un método común entre los productores en Panamá. Marquínez et al. (2022) reportaron que el 57% de los productores transforman la leche en derivados como leche fluida, queso y yogurt, destinados principalmente al mercado local, con frecuencia para consumidores extranjeros residentes. Relacionado a esto, Stone et al. (2020) aseguran que es poco común lograr contratos con los mercados formales. En el caso de la finca estudiada, ubicada en ese segmento, procesa sus propios productos y establece precios competitivos frente a la industria.

Tabla 12. Principales productos derivados de la leche caprina y sus precios de comercialización en Panamá, en comparación con los de la finca estudiada.

Producto	Precio B/. Artesano	Precio B/. Agroindustria	Precio B/. Mis cabritas 09
Leche fluida	B/. 3.00/kg	B/. 3.25/kg	B/. 2.75/medio kg
Yogurt	B/. 1.50/0.24 kg	B/. 1.50/0.24 kg 6.00/1 kg	B/. 6.00/kg y B/. 3.50/medio kg
Queso	B/. 19.00/kg	B/. 20.00 a 26.00/kg	B/. 6.00 a B/. 8.00/0.24 kg y 0.38 kg fresco y semiprensado B/. 8.00/0.24 kg prensado

Nota. Precios suministrados por los canales de distribución, actualizados a 2019. Y el menú actual ofrecido por la finca Mis Cabritas 09.

Estos precios coinciden con el estudio de Gracia (2015) donde se indica que en la provincia de Chiriquí el litro de leche de cabra alcanza hasta 5.47 balboas.

3.19. Análisis financiero de la unidad productiva

Este análisis se realizó para la unidad productiva en su totalidad, no para factores independientes.

Tabla 13. Costos operativos mensuales de la unidad productiva.

Activo	Tipo de costo	Costo anual	Costo por lactancia
Total de alimentación	Variable	B/.21,204.00	B/.15,903.00
Costo de producción de leche	Variable	B/.14,094.00	B/.10,570.50
IA (pajuelas + hormonas)	Variable	B/.300.00	B/.300.00
Combustible	Variable	B/.600.00	B/.450.00
Total de costos variables		B/.36,198.00	B/.27,223.50
Alquiler equipo	Fijo	B/.360.00	B/.270.00
Depreciación anual	Fijo	B/.5,368.58	B/.4,026.42
Intereses préstamo	Fijo	B/.381.76	B/.286.29
Total de costos fijos		B/.6,110.34	B/.4,582.71
Costo total		B/.42,308.28	B/.31,806.21

Tabla 14. Ingresos de la unidad productiva.

Producto	Cantidad estimada	Precio de la unidad	Ingreso anual	Ingreso lactancia
Leche fluida (30%)	3,600 botellas	B/.4.00	B/.14,400.00	B/.10,800.00
Yogurt (40%)	4,800 botellas	B/.6.00	B/.28,800.00	B/.21,600.00
Queso (30%)	360 kg	B/.7.00	B/.2,520.00	B/.1,890.00
Otros productos			B/.6,000.00	B/.4,500.00
Total de ventas			B/.51,720.00	B/.38,790.00
Valor razonable (VR)				
Inventario inicial	26			
Hembras gestantes	11	B/.190.00	B/.2,090.00	
Hembras lactantes	14	B/.250.00	B/.3,500.00	
Macho reproductor	1	B/.150.00	B/.150.00	
VR inicial (VRI)			B/.5,740.00	
Inventario final	36			
Hembras gestantes	14	B/.250.00	B/.2,660.00	
Hembras lactantes	11	B/.190.00	B/.2,750.00	
Crias destetadas	21	B/.200.00	B/.4,200.00	
Macho reproductor	1	B/.150.00	B/.150.00	
VR final (VRF)			B/.9,760.00	
Inventario final total	46			
Animales nacidos	20	B/.50.00	B/.1,000.00	
Animales vendidos	20	B/.185.00	B/.3,700.00	
Ganancia por cambio de inventario			B/.6,720.00	
Beneficio total			B/.58,440.00	B/.45,510.00

Nota. Fórmula para ganancia por cambio de inventario según NIC 41: (VRF – VRI)
+ ventas del periodo – nacimientos del periodo.

3.20. Depreciación

Tabla 15. Depreciación de los bienes físicos de la unidad productiva.

Activo	Vida útil (años)	% Valor residual	Costo inicial	Valor residual	Depreciación
Apriscos de madera	20	5%	B/.50,000.00	B/.2,500.00	B/.2,375.00
Suelo de cemento	20	5%	B/.5,000.00	B/.250.00	B/.237.50
Ojo de agua	20	5%	B/.5,000.00	B/.250.00	B/.237.50
Cercas	20	5%	B/.30,000.00	B/.1,500.00	B/.1,425.00
Picadora	10	10%	B/.5,000.00	B/.500.00	B/.450.00
Peletizadora	10	10%	B/.4,000.00	B/.400.00	B/.360.00
Ordeñadora	10	10%	B/.250.00	B/.25.00	B/.22.50
Tanque nitrógeno	10	15%	B/.100.00	B/.15.00	B/.8.50
Bebedores automáticos	10	15%	B/.48.00	B/.7.20	B/.4.08
Tanque de leche	10	15%	B/.100.00	B/.15.00	B/.8.50
Automóvil	5	20%	B/.1,500.00	B/.300.00	B/.240.00
Total			B/.100,998.00	B/.5,762.20	B/.5,368.58

Adoptado de MINAGRI, 2020; SII, 2003; FAO, 1999.

Tabla 16. Rentabilidad de la unidad productiva.

Indicador	Anual (B/.)	Por lactancia (B/.)
Beneficio total	B/.58,440.00	B/.45,510.00
Costo total	B/.42,308.28	B/.31,806.21
Margen bruto	B/.16,131.72	B/.13,703.79
Total de inversión	B/.100,998.00	
ROI	16%	

Nota. Retorno de inversión (ROI) se expresa en porcentaje.

Tabla 17. Flujo y acumulado de cajas.

Año	Flujo de caja	Flujo acumulado	VNA	Tasa
0	-B/.100,998.00	-B/.100,998.00	B/.10,754.58	10%
1	B/.16,131.72	-B/.84,866.28		
2	B/.16,131.72	-B/.68,734.56		
3	B/.16,131.72	-B/.52,602.84		
4	B/.16,131.72	-B/.36,471.12		
5	B/.16,131.72	-B/.20,339.40		
6	B/.16,131.72	-B/.4,207.68		
7	B/.16,131.72	B/.11,924.04		
8	B/.16,131.72	B/.28,055.76		
9	B/.16,131.72	B/.44,187.48		
10	B/.16,131.72	B/.60,319.20		
11	B/.16,131.72	B/.76,450.92		
12	B/.21,893.92	B/.98,344.84		

Este análisis financiero se hizo con una actividad propuesta a 12 años, de acuerdo con lo planteado por Hernández et al. (2024) en su estudio. En la finca estudiada, que opera bajo un sistema intensivo de estabulación total, sin pastoreo, alimentación por corte y acarreo, se observó que dicho sistema presentó una depreciación de la infraestructura que contrasta con el reportado en sistemas lecheros bovinos en Turquía (Sarica et al., 2022). En el caso de la producción caprina, los resultados muestran similitud ya que tanto como Bustamante (2019) en Colombia y Barboza et al. (2020) en Costa Rica identificaron los sistemas actuales a nivel regional, extensivos y semi-intensivo, como los predominantes en la especie caprina. Esta diferencia se explica porque en los sistemas intensivos la inversión en infraestructura es alta, mientras que en los sistemas semi-intensivo predominan corrales o establos semiabiertos de menor costo, y parte de la alimentación proviene del pastoreo.

Según lo que indica NIC 41 de los activos biológicos (caprinos), estos fueron valorados razonablemente en lugar de depreciarse linealmente. Esto significa que los animales se estimaron a precios de mercado y que los cambios en su valor debido a transformaciones biológicas (crecimiento, reproducción) se registraron

como ganancias o pérdidas en el estado de resultados. De esta forma, coincidiendo con FAO (1999) y IASB (s.f.), permite obtener una visión más fiel de la rentabilidad y del patrimonio de la unidad productiva, alineándose con las prácticas contables internacionales para el sector agropecuario.

En las fincas semi-intensivo de Turquía, el ingreso principal proviene de la venta de leche fluida; en fincas caprinas intensivas panameñas, la venta de leche es superada por la venta de yogurt (Gracia, 2015). Diferentes autores coinciden en destacar que la comercialización constituye un problema del sector caprino (Marquínez-Batista, et al., 2022; IDIAP, 2020; Chacon-Villalobos & Mora-Velarde, 2019) esto confirma que la transformación de la leche se vuelve una necesidad para desarrollar nuevas estrategias y oportunidades de comercialización que permitan acceder al mercado proporcionando un valor agregado a la venta que permite amortiguar los costos elevados en la inversión.

El ROI explica la combinación de estrategias de valor agregado, como la venta de yogurt y queso, y la valoración realista del hato mediante el valor razonable, que refleja el crecimiento biológico y reproductivo de los animales. Este indicador confirma que la inversión es financieramente viable para la finca estudiada. Como lo indica la FAO (1999), los sistemas intensivos, aunque con una alta inversión inicial, pueden lograr mayores rendimientos y rentabilidad mediante una gestión eficiente y valor agregado. Además, Martínez (2012) en su análisis del retorno de la inversión, destaca que el valor agregado es una estrategia clave para mejorar la rentabilidad en negocios con altos costos fijos.

IV. CONCLUSIONES

- La validación del modelo LIFE-SIM demostró una buena precisión (RRMSE = 16.5%) y una buena capacidad predictiva (NSE = 0.74), lo que lo convierte en una herramienta confiable para simular el comportamiento productivo de caprinos lecheros en condiciones tropicales. El consumo potencial óptimo de materia seca se estableció en 3.28% del peso vivo, un valor dentro del rango esperado para cabras en lactación.
- El análisis económico de la unidad productiva, bajo el sistema intensivo actual, arroja un ROI de 16% y un Valor Actual Neto (VNA) positivo, lo que confirma su viabilidad financiera a largo plazo.
- La evaluación nutricional de los recursos forrajeros posiciona al pasto Cuba CT-22 como el pilar económico de la dieta, ofreciendo el mayor margen bruto por lactancia por su bajo costo, y a la morera como el forraje suplementario de mayor calidad, capaz de competir económicamente con el alimento cuando se maneja adecuadamente. No obstante, para que la Morera constituya una opción rentable dentro de la solución óptima, su calidad nutricional debe ser coherente con el precio que se paga por ella; si el costo es alto en relación con el valor nutritivo que aporta, su inclusión deja de ser competitiva frente a otras alternativas.
- Mediante la optimización de dietas se identificó que las combinaciones con dos ingredientes más rentables son Cuba y alimento concentrado (B/. 2,222.94) al igual que la Cuba y Morera de calidad (B/. 2,167.67). En las combinaciones de tres ingredientes, la mezcla Cuba, alimento y Botón de oro alcanzó el mayor margen bruto por lactancia (B/. 2,317.18), lo que demuestra el potencial del Botón de oro como suplemento estratégico para reducir costos.
- El análisis de rentabilidad de la unidad productiva demuestra que el sistema actual opera con un margen bruto anual de B/.16,131.72, que equivale a B/.13,703.79 durante el periodo de lactancia de 9 meses, lo que a su vez representa un margen bruto por cabra de B/. 1245.79 por lactancia. Con la implementación de las dietas optimizadas, este margen por lactancia de las

cabras cabra se elevaría entre B/. 2,167.67 y B/. 2,317.18. Este incremento representa una mejora aproximada del 74% al 86%.

V. RECOMENDACIONES

- Ajustar las estrategias de alimentación para implementar las dietas identificadas en el estudio, priorizando el uso de forrajes producidos en la finca.
- Utilizar la combinación Cuba y Morera como base, orientado en mejorar la calidad nutricional de la Morera mediante un manejo agronómico e incorporar estratégicamente Botón de oro como suplemento para reducir la dependencia de alimento concentrado.
- Mantener y profundizar los registros productivos y económicos diarios para que permitan capturar, de manera oportuna, las variables determinantes del sistema productivo y continuar con la estrategia de transformación de la leche en derivados, ya que representa un factor importante para la rentabilidad de la finca.

VI. REFERENCIAS

- AGACAP. (10 de diciembre de 2019). *Sector ovino y caprino en Panamá: producción y comercialización*. Obtenido de Asociación de Ganado Ovino y Caprino de Panamá: <https://socialagri.com/login/login-otp?medio=rumiantes.com&edicion=es&urlredirect=https%3A%2F%2Frumiantes.com%2Fsector-ovino-caprino-panama-produccion-comercializacion%2F>
- Aréchiga, C. F., Aguilera, J. J., Rincón, R., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V. R., & Meza-Herrera, C. A. (2008). *Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización*. Obtenido de Tropical and Subtropical Agroecosystems: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911227001>
- Aued, J., & Olave, G. (1995). *Caracterización de las explotaciones caprinas en la provincia de Los Santos*. Obtenido de Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- Barboza Mora, M. A., Jiménez Castro, J. P., Porras Solís, Á. J., Miranda Bonilla, O., & Camacho Cascante, M. I. (2020). *Caracterización de los sistemas de producción caprinos en la Región Huetar Norte de Costa Rica mediante la utilización de técnicas estadísticas multivariantes*. Obtenido de Perspectivas Rurales: Nueva época: <http://doi.org/10.15359/prne.18-36.7>
- Bustamante, C. V. (2019). *La producción caprina en Colombia*. Obtenido de Tierras Caprino: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/40191/Ver_documento_40191.pdf?sequence=1
- Candelaria Martínez, B., Ruiz Rosado, O., Gallardo López, F., Pérez Hernández, P., Martínez Becerra, Á., & Vargas Villamil, L. (2011). *Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura*. Obtenido de Tropical and Subtropical Agroecosystems: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1103/601>
- Carbajal, S. d. (2011). *Alimentación*. Obtenido de Manual de producción caprina: https://ppryc.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/04/capitulo-3.pdf#:~:text=%204.5%20%25%20*%202.8%20%25%20*,de%20Materia%20Seca%20de%20distintas%20categor%C3%ADas%20caprinas.
- Castellaro, G., Klee, G., & Chavarría, J. (2007). *Un modelo desimulación de sistemas de engorda de bovinos a pastoreo*. Obtenido de Agricultura Técnica: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000200006>

- Cedeño, H., Rios, K., Pile, E., Saavedra, R., Sanchez-Galan, E., Pimentel, T., . . . Grajales-Cedeño, J. (13 de noviembre de 2023). *Producción de leche en cabras Saanen en Panamá: Un análisis comparativo*. Obtenido de Semilla Este: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n1.4446>
- Cepeda, T. J. (2013). *Agronomía del Pennisetum purpureum en el trópico*. Obtenido de Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=gCAGCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA155&dq=Agronom%C3%ADa+del+Pennisetum+purpureum+en+el+tr%C3%B3pico&ots=r_vGy8n_lo&sig=jX2GT2d_XHZYbmT72ZXHgZ16ARQ
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2010). *Consumo de Pennisetum purpureum cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos*. Obtenido de Agronomía mesoamericana: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212010000200005
- Chacón-Villalobos, A., & Mora-Valverde, D. (2019). *Caracterización técnica, productiva y comercial de las MIPYMES lácteas caprinas en Costa Rica*. Obtenido de Nutrición Animal Tropical : <https://doi.org/10.15517/nat.v13i2.38751>
- Cuenca Jiménez, N. J., Chavarro Miranda, F., & Diaz Gantiva, O. H. (2008). *El sector de ganadería bovina en Colombia. Aplicación de modelos de series de tiempo al inventario ganadero*. Obtenido de Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121-68052008000100012&script=sci_arttext
- Cueva, T., Jara, O., Arias, J. L., Flores, F. A., & Balmaceda, C. A. (21 de julio de 2023). *Métodos mixtos de investigación para principiantes*. Obtenido de Editorial INUDI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.106>
- De Dios-León, G. E., Ramos-Juárez, J. A., Izquierdo-Reyes, F., Joaquín-Torres, B. M., & Meléndez-Nava, F. (2022). *Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto Pennisetum purpureum cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote*. Obtenido de Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217>
- Deepa, K., Senthilkumar, S., Kalpana, K., Suganya, T., Sasikimar, P., Thirumalaisamy, G., & Vasanthakumar, P. (2016). *NIRS in animal sciences*. Obtenido de International Journal Science: <https://krishikosh.egranth.ac.in/server/api/core/bitstreams/ea7bf79-7c8f-4bf3-b843-b2ff424b2b13/content>
- Dickson, L., D'Aubeterre, R., Reverón, Á., Baldizán, A., García, O., García, M., . . . López. (2017). *Manual de producción caprinos y ovinos. 3era Edición*.

Obtenido de Editorial Alfredo Maneiro: https://www.iga-goatworld.com/uploads/6/1/6/2/6162024/manual_de_produccion_caprinos_y_ovinos.pdf

- Echevarria, S. G. (2022). *Teoría económica de la empresa: fundamentos teóricos: teoría institucional, teoría de producción y teoría de costes*. Obtenido de Ediciones Diaz Santos: https://books.google.com.pa/books?hl=es&lr=&id=yWNbEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=punto+de+equilibrio+producci%C3%B3n-económico&ots=Nz-w-U2S_W&sig=XNK0xuuaP0CtA7CZHSyJ4D6wgT8&redir_esc=y#v=onepage&q=punto%20de%20equilibrio%20producci%C3%B3n-económico&f=false
- Elizondo-Salazar, J. A. (2004). *Quality and intake of mulberry (Morus alba), ramie (Bohemeria nivea (L) Gaud) and black sorghum (Sorghum alnum) fodder in goats*. Obtenido de Agronomía mesoamericana: <https://doi.org/10.15517/am.v15i2.11915>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2004). *Requerimientos nutricionales de las cabras*. Obtenido de Kerwa - Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica: <https://hdl.handle.net/10669/90960>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2008). *Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. I. Energía metabolizable*. Obtenido de Agronomía Mesoamericana: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711424013.pdf>
- Evangelista, C., Basiricò, L., & Bernabucci, U. (2021). *An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows*. Obtenido de Agriculture: <https://www.mdpi.com/2624-7402/3/1/5>
- FAO. (1999). *Agroforesteria para la producción animal en América Latina*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <https://www.fao.org/4/x1213s/x1213s.pdf>
- FAO. (1999). *Manual de contabilidad agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <https://www.fao.org/3/x8737s/x8737s.pdf>
- FAO. (2014). *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/16c68b04-797c-4b2e-9b67-e0d5eae89024/content>
- Figueroa, C., Meda, F., & Janacua, H. (2009). *Manual de buenas prácticas en producción de leche caprina*. Obtenido de Servicio Nacional de Sanidad,

- Inocuidad y Calidad Agroalimentaria:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859833/Leche_caprina.pdf
- Fontoura Júnior, J. A. (enero de 2007). *Utilização de modelos de simulação em sistemas de produção de bovinos de corte*. Obtenido de Veterinária e Zootecnia:
https://www.researchgate.net/publication/302875810_Utilizacao_de_modelos_de_simulacao_em_sistemas_de_producao_de_bovinos_de_corte
- Gillespie, J. R., & Flanders, F. B. (2010). *Modern livestock & poultry production (8th ed.)*. Obtenido de Cengage Learning: https://www.agropustaka.id/wp-content/uploads/2020/04/agropustaka.id_buku_Modern-Livestock-and-Poultry-Production-8th-Edition-by-James-R.-Gillespie-Frank-B.-Flanders.pdf
- Gioffredo, J. J., & Petryna, A. (2010). *Caprinos: generalidades, nutrición, reproducción e instalaciones*. Obtenido de Sitio Argentino de Producción Animal: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/ovina_y_caprina_curso_fav/122-curso_UNRC.pdf
- Givens, D. I. (2000). *Forage evaluation in ruminant nutrition*. Obtenido de CABI Publishing:
https://www.researchgate.net/profile/Khalid_Hassan10/post/Can_anybody_help_with_ruminant_nutrition_textbook2/attachment/59d6393779197b80779966e8/AS:400869553131522@1472586157622/download/Forage+evaluation+in+Ruminant.pdf
- Gracia, Á. M. (2015). *Aspectos generales del mercado de la leche de cabra en la ciudad de David y simulación de costo de producción del litro de leche*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Panamá: https://up-rid.up.ac.pa/7367/1/angel_marin.pdf
- Granados-Rivera, L. D., Maldonado-Jáquez, J., Bautista-Martínez, Y., Garay-Martínez, J. R., & Álvarez-Ojeda, M. G. (2021). *El horario de complementación alimenticia modifica la respuesta productiva de cabras lecheras en pastoreo*. Obtenido de Revista MVZ Córdoba: <https://doi.org/10.21897/rmvz.2340>
- Hernández, J. D., Ramírez, A., Pezo, D., Villanueva, C., & Quiroz, R. (2024). *Simulación de sistemas de engorde de bovinos en pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica en función de carga animal, nivel de melaza suplementaria y época del año*. Obtenido de Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales: [https://doi.org/10.17138/tgft\(12\)173-190](https://doi.org/10.17138/tgft(12)173-190)
- Herrera Domínguez, D., Guerrero Rojas, B., Ramos Batista, D., & Frías, J. (2021). *Efecto de la sustitución del ensilaje de maíz por pasto de corte Pennisetum purpureum CT-22, para la producción de leche en fincas doble propósito*

- durante la época seca*. Obtenido de Visión Antataura:
<https://revistas.up.ac.pa/index.php/antataura/article/view/2184>
- Heuzé, V., Tran, G., & Hassoun, P. (2006). *Swazi grass (Digitaria swazilandensis)*. Obtenido de Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO: <https://feedipedia.org/node/454>
- Heuzé, V., Tran, G., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2019). *White mulberry (Morus alba)*. Obtenido de Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO: <https://www.feedipedia.org/node/123>
- Hysi, L., Hoda, A., Papa, L., Jankulla, S., & Ajçe, S. (15 de diciembre de 2024). *The effect of goat breed and farming system on milk yield and quality in Albania*. Obtenido de Agriculture and Forestry: <https://doi:10.17707/AgricultForest.70.4.05>
- IBM Corporation. (3 de julio de 2025). *IBM Cognos Analytics*. Obtenido de Detalles estadísticos de previsión: <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.2.x?topic=forecasting-statistical-details>
- IDIAP. (17 de diciembre de 2015). *Producción ovina, actividad en crecimiento*. Obtenido de Instituto de Innovación Agropecuaria: <http://www.idiap.gob.pa/produccion-ovina-actividad-en-crecimiento/>
- IDIAP. (2020). *Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá*. Obtenido de Investigación e innovación para el fortalecimiento de las cadenas de valor de ovinos y caprinos en Panamá: Propuesta de proyecto 2020-2024: https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/Propuesta_O_C_-_2020_a_2024.pdf
- INEC. (24 de abril de 2011). *Explotaciones agropecuarias en la República, por clase de animal, según provincia, comarca indígena, distrito y corregimiento*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Censo: <https://www.inec.gob.pa/archivos/P4801Cuadro1.pdf>
- INEC. (30 de junio de 2025). *Existencia de animales en la república, por clase de animal, según provincia y comarca indígena: VIII Censo Nacional Agropecuario 2024*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Censo: <https://www.inec.gob.pa/archivos/P0709037920250630104943Cuadro%2017.pdf>
- International Accounting Standards Board (IASB). (s.f.). *IAS 16 Property, Plant and Equipment*. Obtenido de IFRS Foundation: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ias-16-property-plant-and-equipment/>
- International Accounting Standards Board (IASB). (s.f.). *IAS 41 Agriculture*. Obtenido de IFRS Foundation: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ias-41-agriculture/#about>

- Kagucia, A. W., Kagira, J. M., Maina, N., Karanja, S. M., & Njunge, F. K. (2020). *Characterisation of productivity and diseases affecting dairy goats in smallholder systems of Greater Thika Region, Kenya*. Obtenido de Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics: <https://doi.org/10.17170/kobra-202010191972>
- Kassahun, A., & Abegaz, S. (2008). *Breeds of sheep and goats. Sheep and goat production handbook for Ethiopia*. Obtenido de Ethiopia Sheep and Goat Productivity Improvement Program (ESGPIP): [http://dawog.net/Goats/Sheep%20&%20Goat%20Hdbk%20of%20Ethiopia%20\(reduced%20size\).pdf](http://dawog.net/Goats/Sheep%20&%20Goat%20Hdbk%20of%20Ethiopia%20(reduced%20size).pdf)
- Leng, T. R. (16 de marzo de 2006). *Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics*. Obtenido de Penambul Books: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.5555/19886768351>
- Lennylyn, M., Del Rosario, N., Orden, E., Cruz, E., Garabiles, J., Excelsis, M., & Orden, M. (2020). *Tracing the Dairy Goat Industry: Profiling of Dairy Goat Farms in the Philippines*. Obtenido de CLSU International Journal of Education and Development Studies: <https://ijeds.clsu.edu.ph/index.php/journal/article/view/ijeds.2020.v1n1.01/4>
- León-Velarde, C., & Quiroz, R. A. (1998). *Selecting optimum ranges of technological alternatives by using response surface designs in systems analysis*. Obtenido de CIP Program Report 1997-1998: <https://hdl.handle.net/10568/109460>
- León-Velarde, C., Quiroz, R., Cañas, R., Osorio, J., Guerrero, J., & Pezo, D. (2006). *LIFE SIM: Livestock feeding strategies simulation models*. Obtenido de International Potato Center (CIP).
- Lunpha, A., & Sevilla, C. (2014). *Nutrient digestibility and growth performance of ruminants fed with mulberry (morus alba L.) at different cutting intervals*. Obtenido de College, Laguna: Graduate School, University of the Philippines Los Baños.: <https://koha.uplb.edu.ph/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=399893>
- Magdalena, R., Fernández, C., Martín, J. D., Soria, E., Martínez, M., Navarro, M. J., & Mata, C. (13 de mayo de 2009). *Qualitative analysis of goat and sheep production data using self-organizing maps*. Obtenido de Wiley Online Library: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0394.2009.00477.x>
- Majid, A. M., Cartwright, T. C., Yazman, J. A., & Fitzhugh, H. A. (10 de diciembre de 1997). *Performance of five breeds of dairy goats in southern United States. II. lactation yield and curves*. Obtenido de World Review of Animal Production, Vol. 29: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19970107320>

- Marquínez-Batista, L., Saldaña-Ríos, C., Moreno, E., Rivera, R., Escudero, V., Sandoya, I., . . . Martínez, M. (2022). *Caracterización de la producción, agroindustrialización y comercialización de ovinos y caprinos en Panamá*. Obtenido de Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá: https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/594-Texto_del_art%C3%ADculo-905-2-10-20220701.pdf
- Martín, G. J., Noda, Y., Pentón, G., García, D. E., García, F., González, F., . . . Arece, J. (2007). *La morera (Morus alba, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal*. Obtenido de Pastos y Forrajes: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942007000500001&script=sci_arttext
- Martínez, A. C. (2012). *Del ROI al IOR: el retorno de la inversión de la comunicación empresarial y publicitaria en medios sociales*. Obtenido de Introducción a la Investigación de Medios Publicitarios: <http://hdl.handle.net/10045/20513>
- Martínez, A. C. (2012). *Del ROI al IOR: el retorno de la inversión de la comunicación empresarial y publicitaria en medios sociales*. Obtenido de Introducción a la Investigación de Medios Publicitarios: <http://hdl.handle.net/10045/20513>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2002). *Animal Nutrition Seventh Edition*. Obtenido de Prentis hall: https://www.up.lublin.pl/files/animal/ANIM%20NUTR/animal-nutrition_mcdonald_et_al..pdf
- Medina, M., García, D., González, M., Cova, L., & Moratinos, P. (2009). *Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de Tithonia diversifolia en la etapa inicial de crecimiento*. Obtenido de Zootecnia tropical: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692009000200003
- MINAGRI. (2020). *Manual de contabilidad agrícola con el reglamento oficial: Ejemplo de contabilidad mínima exigida por el reglamento, disposiciones de leyes sociales, tablas de sueldos y salarios*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile : <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/84533/1/179662.pdf&origen=BDigital>
- Monteiro, A., Costa, J. M., & Lima, M. J. (20 de diciembre de 2017). *Goat System Productions: Advantages and Disadvantages to the Animal, Environment and Farmer*. Obtenido de Goat Science: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.70002>

- Montgomery, D. (1984). *Design and analysis of experiments*. Obtenido de 2nd ed. John Wiley & Sons.
- Montiel, W. H. (noviembre de 2007). *Obtención de los requerimientos de energía y proteína en cabras lecheras a través de un programa de computación para calculo de raciones en ganado caprino*. Obtenido de Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna:
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2776/wilber%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morcillo, J. (2009). *Evaluación bioeconomica de tres alternativas de alimentación en novillas doble propósito de rreemplazo durante la época seca*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Panamá: https://up-rid.up.ac.pa/7175/1/jorge_morcillo.pdf#:~:text=INDICE%20DE%20GR%C3%81FICAS%20N%C2%BA%20T%C3%8DTULO%20P%C3%A1g.
- Nakavisut, S., & Anothaisinthawee, S. (2014). *Dairy Goat Production in Thailand*. Obtenido de Proceedings of the 2nd Asian- Australasian Dairy Goat Conference:
https://www.researchgate.net/publication/289433640_Productivity_of_Ettawah_Crossbreed_Goat_Supplemented_with_Yeast_Probiotic_R1_and_R2?enrichId=rgreq-a868d50fc7255a0ce25aac4bdeb0b952-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4OTQzMzY0MDtBUzozMTQ3OTgwMTk5NDZNTNAMTQ1
- Navas Panadero, A., & Montana, V. (2019). *Comportamiento de Tithonia diversifolia bajo condiciones de bosque húmedo tropical*. Obtenido de Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú:
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066>
- Orden, E., Pezo, D., León-Velarde, C., Domingo, S., & Villar, E. (2004). *Predicting body weight changes of beef cattle in the lowland rainfed areas in umingan, pangasinan: a simulation model*. Obtenido de Philippine Journal of Veterinary and Sciences: https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Orden/publication/266387421_PREDICTING_BODY_WEIGHT_CHANGES_OF_BEEF_CATTLE_IN_THE_LOWLAND_RAINFED_AREAS_IN_UMINGAN_PANGASINAN_A_SIMULATION_MODEL/links/542f288b0cf27e39fa994ff3/PREDICTING-BODY-WEIGHT-CHANGES-OF-BEE
- Ortega-Vargas, E., López-Ortiz, S., Burgueño-Ferreira, J. A., Bruce Campbell, W., & Jarillo-Rodríguez, J. (15 de marzo de 2013). *Date of pruning of Guazuma ulmifolia during the rainy season affects the availability, productivity and nutritional quality of forage during the dry season*. Obtenido de Agroforest System: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9608-y>

- Pavezzi Barbero, R., de Carvalho Ribeiro, A. C., Morais Moura, A., Zironi Longhini, V., de Almeida Mattos, T. F., & Dias Barbero, M. M. (2021). *Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review*. Obtenido de Ciencia Animal Brasileira: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>
- Paz, P. C. (2011). *Evaluación de la toma de decisiones de productores ganaderos respecto a las medidas de adaptación a cambio climático en Guanacaste, Costa Rica*. Obtenido de Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8011/130.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Perreault, S., El Alem, A., Chokmani, K., & Cambouris, A. (20 de febrero de 2022). *Development of Pedotransfer Functions to Predict Soil Physical Properties in Southern Quebec, Canada*. Obtenido de Agronomy: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020526>
- Polo Ledezma, E. A., & Moreno, Y. (26 de octubre de 2022). *Producción y calidad de biomasa de la morera (Morus alba) bajo tres distancias de siembra y frecuencia de poda*. Obtenido de Revista Semilla del Este: https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/3202
- Preciado, G. F. (diciembre de 2003). *Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN*. Obtenido de Mosaicos Matemáticos: <https://semana.mat.uson.mx/Memorias/gudelia.pdf>
- Quiroz, R., Loayza, H., Barreda, C., Gavilán, C., Posadas, A., & Ramírez, D. A. (2017). *Linking process-based potato models with light reflectance data: Does model complexity enhance yield prediction accuracy?* Obtenido de European Journal of Agronomy: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.008>
- Riet-Correa, B., Dantas Simões, S. V., Pereira Filho, J. M., Santos de Azevedo, S., Barreto de Melo, D., Batista, J. A., . . . Riet-Correa, F. (marzo de 2013). *Sistemas Produtivos de Caprinocultura Leiteira No Semiárido Paraibano: Caracterização, Principais Limitantes e Avaliação de Estratégias de Intervenção*. Obtenido de Scielo: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000300012>
- Ríos Atehortúa, G. P., & Gómez Osorio, L. M. (2008). *Análisis de costeo para un sistema de producción de lechería especializada un acercamiento al análisis económico en ganadería de leche: estudio de caso*. Obtenido de Dyna: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532008000200004&script=sci_arttext
- Rivera, J. E., Ruíz, T. E., Chará, J., Gómez-Leyva, J. F., & Barahona, R. (septiembre de 2021). *Biomass production and nutritional properties of promising genotypes of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray under different*

- environments*. Obtenido de Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales:
[https://doi.org/10.17138/tgft\(9\)280-291](https://doi.org/10.17138/tgft(9)280-291)
- Rodriguez, J. L. (2004). *Renta, cambio tecnológico y desarrollo agropecuario: una explicación del caso argentino*. Obtenido de VI Jornadas Nacionales de Sociología. ¿Para qué la sociología en la Argentina actual:
<https://cdsa.aacademica.org/000-045/114.pdf>
- Rodríguez-Segura, A., Camacho-Cascante, I., Alpízar-Naranjo, A., & Castillo-Umaña, M. Á. (24 de marzo de 2024). *Evaluación de Tithonia diversifolia Hemsl. A Gray como suplemento en la alimentación de cabras lecheras*. Obtenido de Revista Perspectivas Rurales:
<https://doi.org/10.15359/prne.23-45.3>
- Rosa, S. d. (2011). *Manual de producción caprina. - 1a ed. - Formosa*. Obtenido de Producción de pequeños rumiantes y cerdos:
<https://ppryc.files.wordpress.com/2014/05/capitulo-1-sistemas-de-produccion-caprina.pdf>
- Sánchez de la Rosa, I., Martínez Rojero, R., Torres Hernández, G., Becerril Pérez, C., Mastache Lagunas, Á., Suárez Espinosa, J., & Rubio Rubio, M. (enero de 2006). *Producción de leche y curvas de lactancia en tres razas de cabras en el trópico seco de México*. Obtenido de Veterinaria México:
https://www.researchgate.net/publication/26462735_Produccion_de_leche_y_curvas_de_lactancia_en_tres_razas_de_cabras_en_el_tropico_seco_de_Mexico
- Sánchez, J. (2000). *Nutrición energética del ganado lechero*. Obtenido de Nutrición animal tropical:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166278>
- Sánchez, M. D. (2000). *Mulberry, an exceptional forage available almost worldwide*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): <https://www.fao.org/4/x9895e/x9895e0t.htm>
- Sarica, D., Demircan, V., Naziroglu, A., Aydin, O., & Koknaroglu, H. (2022). *The cost and profitability analysis of different dairy farm sizes*. Obtenido de Tropical Animal Health and Production : <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03321-5>
- SII. (2003). *Nueva Tabla de Vida Útil de los bienes físicos del activo inmovilizado*. Obtenido de Servicio de Impuestos Internos :
https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm
- Silvetti, F. (2006). *Lo que estamos perdiendo. La producción de conocimiento a partir de la sistematización de experiencias de intervención con*

- campesinos*. Obtenido de Cuadernos de desarrollo rural:
<https://www.redalyc.org/pdf/117/11705702.pdf>
- Socola, V. A. (2019). *Sistema de producción de caprinos en tres zonas vulnerables al cambio climático de la Región Piura*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3985>
- Solaiman, S. G. (2010). *Goat science and production*. Obtenido de John Wiley & Sons. :
<https://www.boerboksa.co.za/Publications/Articles/New/Goat%20Science%20and%20Production.pdf>
- Solís Lucas, L. A., Lanari, M. R., & Oyarzabal, M. I. (28 de febrero de 2020). *Tipificación integral de sistemas caprinos de la provincia de Santa Elena, Ecuador*. Obtenido de LA GRANJA. Revista de Ciencias:
<https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.06>
- Stone, T., Francis, C. A., & Eik, L. O. (2020). *A Survey of Dairy-Goat Keeping in Zanzibar*. Obtenido de African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development : <https://doi.org/10.18697/ajfand.92.18665>
- Tothill, J. C., Hargreaves, J. N., & Jones, R. (1992). *BOTANAL: A comprehensive sampling procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field sampling*. Obtenido de Tropical Agronomy Technical Memorandum:
https://www.researchgate.net/publication/303169091_BOTANAL_A_comprehensive_sampling_procedure_for_estimating_pasture_yield_and_composition_I_Field_sampling
- Urviola, N. C. (2013). *Caracterización estructural, morfológica y genética de la población de cabras autóctonas de la región apurímac del Perú*. Obtenido de Universidad Autónoma de Barcelona :
<https://hdl.handle.net/10803/125720>
- USGS. (2023). Obtenido de United States Geological Survey:
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Van Sao, N., Thi Mui, N., & Van Binh, D. (2010). *Biomass production of Tithonia diversifolia (Wild Sunflower), soil improvement on sloping land and use as high protein foliage for feeding goats*. Obtenido de Livestock Research for Rural Development: <https://www.lrrd.org/lrrd22/8/sao22151.htm>
- Villa-Herrera, A., Nava-Tablada, M., López-Ortiz, S., Vargas-López, S., Ortega-Jimenez, E., & Gallardo-López, F. (2010). *Utilización del guácimo (guazuma ulmifolia lam.) como fuente de forraje en la ganadería bovina extensiva del trópico mexicano*. Obtenido de Tropical and Subtropical Agroecosystems:
<http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/213/60>

- Villalobos Cortés, A., & Espinosa-Tasón, J. (noviembre de 2016). *La producción caprina en Panamá*. Obtenido de Biodiversidad caprina iberoamericana: https://www.researchgate.net/publication/312171658_LA_PRODUCCION_CAPRINA_EN_PANAMA_THE_GOAT_PRODUCTION_IN_PANAMA
- Wang, J. M. (26 de mayo de 2025). *Acidosis ruminal en rumiantes: una revisión de los efectos de las dietas con alto contenido de concentrado y el papel modulador potencial de la espuma ruminal*. Obtenido de Sección de Nutrición y Metabolismo Animal: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2025.1595615/full>
- Willmott, C. J. (1982). *Some comments on the evaluation of model performance*. Obtenido de Bulletin of the American Meteorological Society: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2)
- Wimalasiri, E., Jahanshiri, E., Chimonyo, V., Azam-Ali, S., & Gregory, P. (2021). *Crop model ideotyping for agricultural diversification*. Obtenido de MethodsX: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101420>
- Wood, P. (octubre de 1980). *Breed variation in the shape of the lactation curve of cattle and their implications for efficiency*. Obtenido de Animal Science: <https://doi.org/10.1017/S0003356100024363>