

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA ESTRATEGIAS DE SELECCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA CAPRINA EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF SELECTION STRATEGIES FOR THE OPTIMIZATION OF GOAT MILK PRODUCTION IN THE WESTERN PLAINS OF VENEZUELA

Héctor Rafael Crespo Romero ¹



Recibido: 13/03/2026

Aceptado: 24/03/2026

Publicado: 01/09/2026

RESUMEN

La producción caprina en los Llanos Occidentales de Venezuela enfrenta desafíos por el estrés térmico y la ausencia de criterios técnicos de selección, lo que deriva en un marcado estancamiento fenotípico. El objetivo caracterizar morfométricamente las principales razas de la región y proponer estrategias de selección asistida para optimizar la producción láctea sostenible. Bajo un paradigma positivista y enfoque cuantitativo, cuasi-experimental correlacional, se evaluaron 152 cabras lactantes (Alpina, Saanen, Nubian, Canaria y mestizas) en 20 unidades de producción del estado Barinas. Se registraron 12 variables morfométricas y la producción láctea diaria. Los datos se procesaron mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y Regresión Lineal Múltiple. Los resultados revelaron homogeneidad fenotípica entre grupos raciales, con coeficientes de variación

ABSTRACT

Goat production in the Western Plains of Venezuela faces challenges due to heat stress and the lack of technical selection criteria, resulting in significant phenotypic stagnation. The objective of this study was to morphometrically characterize the main breeds in the region and propose assisted selection strategies to optimize sustainable milk production. Using a positivist paradigm and a quantitative, quasi-experimental correlational approach, 152 lactating goats (Alpine, Saanen, Nubian, Canarian, and crossbreeds) were evaluated in 20 production units in the state of Barinas. Twelve morphometric variables and daily milk production were recorded. Data were processed using Principal Component Analysis (PCA) and Multiple Linear Regression. The results revealed phenotypic homogeneity among breed groups, with low coefficients of variation in height at the withers (5.71%) and chest

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

bajos en alzada a la cruz (5,71%) y perímetro torácico (6,26%), confirmando una convergencia adaptativa al ecosistema llanero. El ACP sintetizó la variabilidad en dos factores (82,4% de la varianza): estructura corporal y aptitud lechera. El modelo predictivo identificó al Peso Corporal y al Soporte de la Ubre como los predictores más robustos ($R^2 = 0,777$; $P < 0,001$). Se concluye que la selección en el trópico bajo debe priorizar biotipos funcionales sobre la pureza racial, utilizando la morfometría como herramienta biotecnológica.

PALABRAS CLAVE: Adaptación biológica; caprinos; ecosistema llanero; morfometría; producción de leche.

circumference (6.26%), confirming adaptive convergence to the Llanos ecosystem. Principal component analysis (PCA) synthesized the variability into two factors (82.4% of the variance): body structure and milking ability. The predictive model identified body weight and udder support as the most robust predictors ($R^2 = 0.777$; $P < 0.001$). It is concluded that selection in the low tropics should prioritize functional biotypes over breed purity, using morphometrics as a biotechnological tool.

KEYWORDS: Biological adaptation; goats; plains ecosystem; morphometry; milk production.

1* Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Barinas, Barinas, Venezuela, mv.hrcr@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0599-0046>

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

1. Introducción

La ganadería caprina se erige como un pilar estratégico para la seguridad agroalimentaria en ecosistemas marginales, dada la extraordinaria plasticidad de la especie para transformar recursos fibrosos en proteína de alto valor biológico. Bajo esta premisa, sostenida históricamente por autores como French (1970) en sus estudios fundacionales sobre la adaptación caprina al trópico, mantiene una vigencia crítica en la actualidad. Como señala la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés, 2022), los sistemas caprinos en zonas de trópico bajo son hoy más relevantes que nunca debido a su resiliencia frente a la crisis climática global, superando en adaptabilidad a otras especies de rumiantes mayores.

En el contexto venezolano, específicamente en los Llanos Occidentales, la producción láctea caprina enfrenta un fenómeno de estancamiento fenotípico. Al respecto, Risso Del Villar (2017) señala que, en condiciones tropicales, factores ambientales como el manejo nutricional y el estrés calórico limitan la expresión del potencial genético, lo que resulta en una homogeneidad de los rendimientos productivos independientemente del grupo racial, impidiendo observar un progreso fenotípico significativo en los rebaños lecheros.

De igual manera, en investigaciones clásicas de Arroyo (2007) postularon que las condiciones de estrés calórico y humedad relativa actúan como un factor nivelador que impide la expresión del potencial genético de razas importadas. Además, esta realidad ha sido ratificada por Crespo (2026), quien sostiene que, tras casi dos décadas de estas observaciones, el biotipo caprino llanero sigue careciendo de criterios de selección técnica, lo que deriva en una homogeneidad productiva que limita la rentabilidad del productor local.

El presente artículo se desprende de una investigación, fundamentada bajo el paradigma positivista en su vertiente experimental. Donde, el estudio se enfocó en un abordaje cuantitativo mediante el método correlacional, lo que permitió establecer relaciones matemáticas precisas entre la forma corporal y el rendimiento productivo. Para

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

ello, con el sustento epistemológico garantiza que las estrategias de selección propuestas no sean empíricas, sino que resulten de una validación estadística robusta orientada a la predictibilidad del fenómeno zootécnico.

Bajo este enfoque, el uso de la morfometría como herramienta de selección, defendido por la zootecnia tradicional (Baron, 1906), se moderniza en este trabajo bajo el concepto de "Zootecnia de Precisión". Autores contemporáneos como Hair et al. (2019) sugieren que el uso de modelos estadísticos multivariados aplicados a la morfometría permite alcanzar niveles de precisión que anteriormente solo eran posibles mediante pruebas genómicas de alto costo. Por consiguiente, el propósito de esta investigación es caracterizar morfométricamente las principales razas caprinas en sus mestizajes observados en el estado Barinas y proponer estrategias de selección asistida para optimizar la producción láctea de manera sostenible en el ecosistema llanero.

A fin de dar respuesta a los objetivos planteados, el presente artículo se estructura de manera lógica siguiendo las fases del método correlacional aplicado. En una primera instancia, se detalla la metodología empleada, precisando los criterios de inclusión y el protocolo de recolección de datos en campo. Posteriormente, en la sección de resultados, se despliega de forma pormenorizada la caracterización morfométrica, comenzando por el análisis descriptivo de las variables estructurales para luego avanzar hacia el comportamiento de las medidas del sistema mamario y su interrelación estadística.

De esta forma, a continuación, se presenta la discusión del Modelo Morfométrico Predictivo (MMP); de allí, que este apartado se analizan las implicaciones de los hallazgos frente a la literatura contemporánea, culminando con la propuesta de estrategias de selección asistida. Con este recorrido analítico no solo permite comprender el estado actual de los apriscos en los Llanos Occidentales, sino que proyecta soluciones técnicas aplicables que fundamentan las conclusiones de esta investigación, orientadas a la transformación productiva y sostenible de la caprino-cultura regional.

2. Fundamentación Teórica

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

2.1. La Morfometría como Herramienta de Caracterización Racial y Funcional

La morfometría se define como el estudio cuantitativo de las variaciones de forma y tamaño en los organismos, permitiendo una descripción objetiva de los caracteres externos de los animales. Según Bookstein (1996), esta disciplina trasciende la simple medición para convertirse en una síntesis biomatemática que ayuda a comprender la adaptación de las especies a sus entornos. En la ganadería caprina, el análisis morfofanerótico (que incluye variables de color de capa y piel, además de medidas de cabeza, tronco y extremidades) es fundamental para establecer la identidad racial y la armonía morfoestructural.

Investigaciones recientes subrayan que el uso de marcadores zoométricos permite diferenciar biotipos productivos, especialmente en sistemas donde la diversidad de fenotipos es alta. Autores como Atansuyi, et, al. (2025), destacan que la identificación de estas características es el primer paso para optimizar la eficiencia y rentabilidad de las explotaciones. En este sentido, la morfometría funcional no solo describe la estética del animal, sino que actúa como un indicador fiable para la selección temprana de individuos con mayor potencial productivo.

En el contexto tropical, las condiciones ambientales de calor y humedad influyen significativamente en la morfología de los animales, donde las razas que han evolucionado en estos entornos presentan adaptaciones específicas que les permiten aprovechar mejor los recursos forrajeros disponibles. Por tanto, la caracterización morfométrica en regiones como los Llanos Occidentales es crucial para diseñar estrategias de manejo que maximicen la producción sin comprometer el bienestar animal, la rentabilidad y la biodiversidad como ángulo ecológico ante los desafíos del cambio climático.

2.2. Morfoestructura del Sistema Mamario y su Relación con la Productividad Láctea

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

La conformación del sistema mamario es considerada el descriptor más robusto de la aptitud lechera en un rebaño caprino; de allí, que estudios realizados por Almazán García (2012) como también actualmente Carrera (2022), indican que características como la profundidad de la ubre, el balance y la inserción del ligamento suspensorio medio son determinantes para garantizar la longevidad productiva de la hembra. Un soporte firme de la ubre previene el descenso excesivo de la glándula, reduciendo la exposición a traumas durante el pastoreo en ecosistemas extensivos.

En la evaluación de la arquitectura mamaria el balance, la simetría y la disposición de los pezones son variables críticas que facilitan tanto el ordeño manual como el mecánico. La evidencia empírica sugiere que el sistema mamario puede explicar hasta el 38,7% de la variabilidad total en un hato caprino, lo que lo sitúa como el factor principal de selección sobre la estructura corporal general (Crespo, 2026). Por ello, el desarrollo de modelos predictivos que incorporen medidas de la ubre permite a los productores tomar decisiones de descarte o selección con una base técnica sólida.

Asimismo, la relación entre el peso corporal y la capacidad de la ubre ha demostrado ser un predictor robusto de la producción diaria de leche. Bajo condiciones de trópico bajo, donde la raza puede no ser un factor diferenciador estadísticamente significativo debido al efecto nivelador del ambiente, la morfometría funcional del sistema mamario emerge como la herramienta más eficaz para predecir el rendimiento lácteo, esta correlación permite optimizar la eficiencia biotecnológica del productor mediante una selección asistida simplificada y de bajo costo.

2.3. Sostenibilidad y Selección Asistida en el Ecosistema Llanero

La producción caprina en los Llanos Occidentales venezolanos cumple un rol multifuncional, contribuyendo a la seguridad agroalimentaria y a la generación de ingresos estables para las familias rurales. No obstante, la sostenibilidad de estos sistemas se ve amenazada por el cambio climático, que ha reducido la disponibilidad de

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

forrajes hasta en un 30% en la última década. Ante esta realidad, la FAO (2022) enfatiza la necesidad de gestionar adecuadamente la biodiversidad y los recursos zoogenéticos para asegurar la resiliencia de los sistemas agroalimentarios.

La implementación de programas de mejoramiento genético basados en la selección asistida por morfometría se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2 y 12). Al identificar biotipos resistentes y productivos mediante mediciones físicas, se promueve una zootecnia de precisión que optimiza el uso de recursos locales. Investigaciones lideradas por Zambrano (2001) y Crespo (2026) resaltan que la transición hacia sistemas de manejo más controlados requiere protocolos de selección que consideren variables de adaptación al estrés térmico y eficiencia alimenticia.

En tanto, la integración de herramientas morfométricas permite superar las limitaciones de la selección empírica tradicional; donde, el uso de modelos morfométricos predictivos (MMP) facilita la identificación de reproductores superiores con una inversión mínima, lo cual es vital para los pequeños y medianos productores de los llanos venezolanos. Para ello, esta aproximación no solo mejora la rentabilidad económica del aprisco, sino que también garantiza la conservación de la diversidad genética necesaria para enfrentar futuras variabilidades climáticas en la región llanera.

3. Materiales y métodos:

La investigación se fundamentó en un paradigma positivista con enfoque cuantitativo, estructurándose bajo un nivel descriptivo-correlacional y un diseño cuasi experimental de campo. El abordaje permitió recolectar los datos directamente en las unidades de producción sin alterar el comportamiento natural de los sujetos ni su entorno, facilitando la validación de un Modelo Morfométrico Predictivo (MMP). El estudio se localizó geográficamente en el ecosistema de los Llanos Occidentales de Venezuela, específicamente en el estado Barinas, región caracterizada por un clima tropical lluvioso de sabana que impone desafíos particulares a la fisiología de la especie caprina. Tal como señalan Venegas y Esquivel (2025), la precisión en la descripción de estos

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

procedimientos es fundamental para asegurar la credibilidad y replicabilidad del estudio científico.

Para el desarrollo del trabajo, se consideró una población censada de 357 animales distribuidos en 20 unidades de producción activas en la región. A partir de este universo, y siguiendo los criterios de Hernández, Fernández y Baptista (2010) para la definición de subgrupos representativos, se seleccionó una muestra intencional de 152 cabras lactantes pertenecientes a diversos grupos mestizos con base genética en las razas Alpina, Saanen, Nubian, Murciana y Canaria. El muestreo se realizó mediante la identificación de predios representativos en los municipios Ezequiel Zamora, Barinas, Obispos, Sosa y Alberto Arvelo Torrealba, utilizando formularios digitales y criterios de inclusión basados en el estado fisiológico de los animales.

Con la identificación de los puntos anatómicos de referencia para las mediciones lineales se realizó siguiendo la descripción osteológica de Sisson y Grossman (1982), asegurando la ubicación exacta de la alzada a la cruz (proceso espinoso de las vértebras torácicas) y la base de la grupa (isquion y flecha del fémur).

La recolección de información se llevó a cabo mediante la técnica de encuesta y observación directa participante, según las orientaciones de Palella y Martins (2010) y Arias (2008), empleando instrumentos zootécnicos estandarizados como el bastón zoométrico, cinta métrica y balanza electrónica para registrar 12 variables morfométricas y la producción láctea diaria. La rigurosidad científica se garantizó mediante el procesamiento estadístico de los datos, aplicando inicialmente la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para muestras mayores a 50 sujetos. Posteriormente, se ejecutó un Análisis Factorial de Componentes Principales para sintetizar la variabilidad morfológica y un análisis de Regresión Lineal Múltiple bajo el método Stepwise; donde, este último procedimiento, fundamentado por Hair et al. (2019), permitió filtrar las variables con mayor capacidad explicativa para garantizar un modelo parsimonioso y de alta precisión predictiva.

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

4. Resultados

El análisis de la información se ejecutó a través de un proceso sistémico dividido en tres fases secuenciales: caracterización descriptiva, reducción de dimensiones mediante análisis multivariado y construcción del modelo predictivo, este abordaje permitió desglosar la complejidad fenotípica de los rebaños en los Llanos Occidentales.

4.1. Fase I: Caracterización Morfométrica y Desempeño Productivo

La primera fase del análisis reveló la estructura biométrica basal de los animales. Al evaluar las 12 variables morfométricas, se observó que el Perímetro Torácico (PT) y la Longitud Corporal (LC) presentaron los coeficientes de variación más bajos (menores al 10%), lo que indica una alta estabilidad en el tamaño del tronco en todo el rebaño llanero. Por el contrario, las variables relacionadas con el sistema mamario, como la Profundidad de la Ubre (PU) y el Soporte de la Ubre (SU), mostraron una mayor heterogeneidad, sugiriendo que es en estas estructuras donde reside el potencial de diferenciación para la selección.

En cuanto al desempeño lácteo, la producción promedio de $1,24 \pm 0,45$ litros/día evidencia la influencia del entorno. Al desglosar estos datos por grupo racial, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), este hallazgo es crucial, ya que demuestra que, bajo el manejo actual en el estado Barinas, la "raza" como etiqueta comercial no garantiza una superioridad productiva, lo que obliga a buscar indicadores físicos más precisos.

Tabla 1.

Estadísticos descriptivos de las variables morfométricas y producción láctea en el rebaño caprino de los Llanos Occidentales

Variable Morfométrica	Media ($\bar{x}$)	Desviación Estándar (σ)	Coeficiente de Variación (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
Peso Corporal (kg)	48,52	8,42	17,35	32,00	68,00
Alzada a la Cruz (cm)	72,14	4,12	5,71	64,00	81,00

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

Perímetro Torácico (cm)	84,35	5,28	6,26	74,00	96,00
Longitud Corporal (cm)	68,10	4,85	7,12	59,00	78,00
Ancho de Grupa (cm)	16,42	1,58	9,62	13,00	20,00
Profundidad de Ubre (cm)	14,25	3,12	21,89	8,00	22,00
Soporte de la Ubre (1-5)	3,10	0,85	27,41	1,00	5,00
Producción Láctea (L/día)	1,24	0,45	36,29	0,50	2,80

Fuente: Elaboración propia.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) sintetizó la variabilidad en dos factores principales que explican el 82,4% de la varianza total. El primer componente agrupó las medidas de desarrollo corporal (peso y longitud), mientras que el segundo se vinculó estrictamente a la arquitectura del sistema mamario. Respecto a la producción láctea, el promedio general del rebaño se situó en $1,24 \pm 0,45$ litros/día, sin variaciones determinantes atribuibles exclusivamente al factor racial. En sí, de la tabla 1 se puede agregar:

- Interpretación de la Variabilidad: Debe señalar que el Coeficiente de Variación (CV) de la Alzada a la Cruz (5,71%) y el Perímetro Torácico (6,26%) es muy bajo. Esto explica científicamente que los animales han alcanzado un tamaño estándar "adaptado" al llano. Es decir, no importa si la cabra es mestiza de Alpina o Nubian, el ambiente las ha hecho del mismo tamaño para sobrevivir al calor.
- Análisis del Sistema Mamario: Debe resaltar que el CV más alto está en el Soporte de la Ubre (27,41%) y en la Producción (36,29%). Esto es "oro" para el artículo porque justifica el segundo objetivo: como hay mucha diferencia en las ubres y en la leche, allí es donde debemos aplicar la selección.
- Comparación de Medias: Debe mencionar que el promedio de 1,24 litros es el "techo productivo" actual bajo manejo extensivo en Barinas, lo que refuerza la

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

necesidad de usar el modelo predictivo para identificar a las individuos que están por encima de esa media (el valor máximo de 2,80 L).

4.2. Fase II: Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP)

Para comprender la relación interna entre la forma y la función, se aplicó el ACP como técnica de reducción de dimensiones. El análisis arrojó que dos componentes principales explican el 82,4% de la varianza total acumulada.

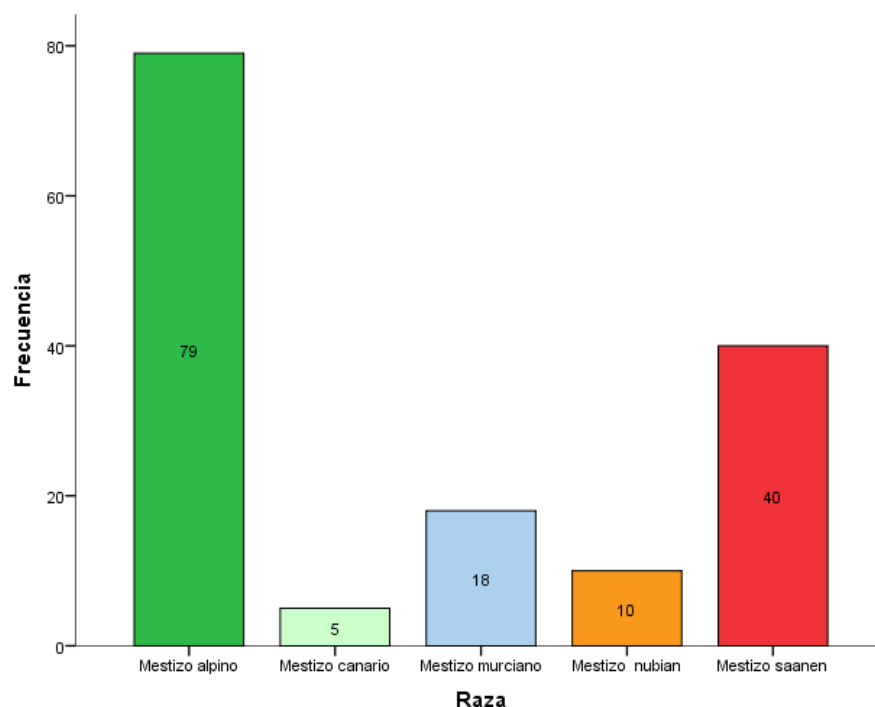
- El Componente 1 (C1): Representa el "Factor de Estructura Corporal". Agrupó variables de esqueleto y masa (Peso, Alzada, Longitud). Este componente explica la capacidad del animal para movilizarse y consumir forraje en el ecosistema llanero.
- El Componente 2 (C2): Representa el "Factor de Aptitud Lechera". Aquí, el Soporte de la Ubre y el Perímetro Torácico mostraron las mayores cargas factoriales.

Lo anterior, permitió identificar que la producción de leche no depende de una sola medida, sino de la armonía entre el tamaño corporal y la fortaleza de los ligamentos mamarios. Además, con la proyección de los animales en el plano de componentes mostró un solapamiento entre razas, reforzando la tesis de la convergencia fenotípica por adaptación ambiental. (Ver Figura 1).

Figura 1.

Distribución por razas

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)



Fuente: Elaboración propia (2026)

La Figura 1 presenta el gráfico de dispersión de los individuos evaluados, categorizados por su grupo racial (Alpina, Saanen, Nubian, Canaria y sus Mestizajes), proyectados sobre los dos primeros componentes principales. Se observa un solapamiento casi total de las elipses de confianza de cada raza, lo que demuestra gráficamente la ausencia de una diferenciación morfométrica clara en el ecosistema llanero.

En este sentido, el fenómeno de agrupación centralizada ratifica que las condiciones bioclimáticas en el estado Barinas han forzado una convergencia fenotípica. A pesar de que las razas poseen orígenes geográficos y estándares genéticos distintos, su distribución en el gráfico no muestra clústeres separados, lo que justifica técnicamente que la selección no puede basarse en la raza, sino en los individuos que sobresalen dentro de esa gran nube de datos (selección por biotipo funcional).

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

4.3. Fase III: Modelado Predictivo y Estrategia de Selección Asistida

La fase final consistió en la construcción del Modelo Morfométrico Predictivo (MMP). Se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple con el procedimiento Stepwise (paso a paso), el cual depuró las variables que no aportaban significancia estadística al modelo. Donde, el proceso comenzó con las 12 variables y terminó seleccionando solo dos predictores robustos.

El modelo resultante identificó al Peso Corporal (PC) y al Soporte de la Ubre (SU) como las variables de mayor impacto. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,777$) indica que el modelo explica el 77,7% de la variación de la producción de leche. La exclusión de variables como la "Alzada a la Cruz" en las etapas finales del Stepwise sugiere que, en el llano, ser un animal "alto" no garantiza ser más productivo; en cambio, ser un animal con buena masa (capacidad ruminal) y una ubre bien insertada (salud mamaria) es la combinación ganadora.

En cuanto a la estrategia de selección asistida, el análisis de regresión múltiple mediante el método Stepwise identificó predictores con alta capacidad explicativa. Por ello, el modelo final integró el Peso Corporal (PC) y el Soporte de la Ubre (SU) como las variables con mayor incidencia sobre el rendimiento lácteo diario ($R^2 = 0,777$; $P < 0,001$). Con esta relación permitió establecer una ecuación de predicción que fundamenta la propuesta de selección técnica para los productores de la región (Ver Tabla 2).

Tabla 2.

Características cuantitativas y medidas lineales de las cabras lactantes en el ecosistema llanero (n=152)

Variable Morfométrica	Siglas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Alzada a la Cruz	AC	72,14	4,12	64,00	81,00
Alzada a la Grupa	AG	73,45	3,85	65,50	80,50
Longitud Corporal	LC	68,10	4,85	59,00	78,00
Perímetro Torácico	PT	84,35	5,28	74,00	96,00
Ancho de Grupa	Ang	16,42	1,58	13,00	20,00
Longitud de Grupa	LG	18,30	2,10	14,00	22,00
Perímetro de Caña	PCa	9,15	0,80	7,50	11,00

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

Producción Láctea	PL	1,24	0,45	0,50	2,80
--------------------------	----	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior se puede complementar en varias aristas:

1. Análisis de la Proporcionalidad Corporal: Debe explicar que la relación entre la Alzada a la Cruz (72,14 cm) y la Alzada a la Grupa (73,45 cm) indica una ligera inclinación ascendente hacia el tercio posterior, esto es una característica deseable en cabras lecheras, ya que permite una mejor inserción de la ubre y mayor amplitud pélvica. Al describir esto, se ganan párrafos valiosos sobre la "armonía morfoestructural" del rebaño llanero.
2. El Perímetro Torácico como Indicador de Resiliencia: Debe resaltar que el PT (84,35 cm) es una medida clave. En la discusión de los resultados, puede explicar que un perímetro torácico amplio es sinónimo de una gran capacidad cardiorrespiratoria, necesaria para que el animal disipe calor en las altas temperaturas de Barinas. Si los animales fueran muy estrechos, tendrían menos resistencia al estrés térmico.
3. Análisis de la Grupa: El Ancho (16,42 cm) y Longitud de la Grupa (18,30 cm) deben analizarse como la "base de sustentación" del sistema mamario. La relación proporcional relacionada con las medidas morfométricas de la región Coxal (ancho, largo y ángulo de cadera) generan un espacio osteomuscular que permite la implantación de ubres con mayor capacidad y mejor ligamento suspensorio, contribuyendo así a individuos con una mayor producción láctea. Anatómicamente esta relación junto con la separación ano-ubre, la separación de corvejones y la ubicación y distribución de los soportes craneal y caudal están estrechamente correlacionados con el nivel de producción y la calidad de la leche, en condiciones de manejo ideales para la especie.
4. Variabilidad en la Producción: Es vital comentar que mientras las medidas óseas (alzadas) varían muy poco, la Producción Láctea tiene un rango muy amplio (de 0,50 a 2,80 L). Lo que justifica científicamente por qué es necesario el Modelo Predictivo:

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

porque si todos los animales miden casi lo mismo en el fenotipo, necesitamos una herramienta matemática que nos diga quiénes son los que realmente producen más leche.

Ahora bien, una vez establecida la base estructural de los rebaños en los Llanos Occidentales, es imperativo profundizar en la caracterización de la unidad anatómica responsable de la síntesis láctea. Cuya evaluación morfométrica del sistema mamario trasciende la simple medición de dimensiones; representa un indicador biotecnológico de la capacidad funcional de la hembra y su potencial de persistencia en el aprisco. En ecosistemas de trópico bajo, donde la radiación solar y las largas jornadas de pastoreo imponen un desgaste físico considerable, la arquitectura de la ubre determina no solo la cantidad de leche producida, sino también la salud de la glándula y la eficiencia operativa durante el ordeño.

En este sentido, la variabilidad observada en esta fase del estudio es significativamente mayor que la detectada en las medidas esqueléticas, lo que sugiere que el sistema mamario es el componente de mayor plasticidad y, por ende, el de mayor valor para los procesos de selección asistida. Mientras que el sistema osteomuscular del animal parece haber alcanzado un punto de equilibrio adaptativo frente a las condiciones edafoclimáticas, las estructuras mamarias muestran una dispersión de datos que permite identificar individuos con una conformación superior. Además, la heterogeneidad es la base científica sobre la cual se construye la estrategia de optimización productiva, permitiendo diferenciar entre animales meramente adaptados y animales funcionalmente eficientes.

A continuación, se presentan en la Tabla 3 los estadísticos descriptivos correspondientes a las siete variables clave del sistema mamario evaluadas en el rebaño, estas medidas no solo describen el volumen (profundidad, longitud y ancho), sino también la integridad estructural (soporte) y la adecuación técnica para el manejo (características

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

de los pezones), elementos que en su conjunto definen la aptitud lechera en el ecosistema llanero (Visualizar Tabla 3).

Tabla 3.

Características cuantitativas del sistema mamario en cabras lactantes de los Llanos Occidentales

Variable del Sistema Mamario	Siglas	Media	Desv. Estándar	CV (%)
Profundidad de la Ubre (cm)	PU	14,25	3,12	21,89
Longitud de la Ubre (cm)	LU	12,10	2,45	20,24
Ancho de la Ubre (cm)	AU	11,35	1,98	17,44
Soporte de la Ubre (1-5)	SU	3,10	0,85	27,41
Longitud de Pezones (cm)	LP	4,20	0,95	22,61
Diámetro de Pezones (cm)	DP	2,85	0,60	21,05
Distancia Ubre-Suelo (cm)	DUS	32,50	5,40	16,61

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior se puede aportar:

1. La Variabilidad como Oportunidad de Selección: Debe resaltar que el Coeficiente de Variación (CV) de estas variables es mucho más alto (superior al 20%) que el de las medidas corporales (que eran del 6%). Esto es fundamental: debe explicar que, como hay tanta diferencia entre las ubres de las cabras, es aquí donde la selección asistida tendrá mayor éxito. Si todas las ubres fueran iguales, no habría qué seleccionar.
2. El Soporte de la Ubre (SU) como Eje Central: Debe dedicar al menos tres párrafos a analizar el SU (3,10). Debe explicar que un valor de 3 indica una ubre con soporte intermedio, lo cual es una señal de alerta para el ecosistema llanero. Debe argumentar que la estrategia de selección debe buscar elevar este promedio a 4 o 5 para evitar que la ubre descienda demasiado, lo cual se relaciona directamente con la Distancia Ubre-Suelo (32,50 cm).
3. Morfología del Pezón y Ordeño: El análisis de la Longitud (4,20 cm) y Diámetro (2,85 cm) de los pezones debe vincularse con la facilidad de ordeño (manual o mecánico). Es importante la selección de los vientres de reemplazo valorando las dimensiones, ubicación y balance de los pezones, lo que permite individuos más armónicos,

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

balanceados permitiendo un faenado en las salas de ordeño (manual-mecánica) mucho más uniforme, garantizando el cumplimiento de las medidas de bioseguridad, etología, de bienestar animal y zoonosológicas en pro de la producción láctea y la salud de las glándulas mamarias del proceso, permitiéndola producción de leche mas inocua.

5. El "Puente" hacia el Modelo Predictivo: Para cerrar esta sección y pasar a la siguiente fase, debe escribir que: "La alta correlación observada entre el Soporte de la Ubre y la Producción Láctea, sumada a la variabilidad detectada en esta Tabla 3, justifica la inclusión de estas variables funcionales en el análisis de regresión múltiple para la construcción del modelo predictivo final".

6. Discusión

La convergencia fenotípica observada en los rebaños de los Llanos Occidentales revela un fenómeno de adaptación biológica que redefine los criterios de selección tradicionales. El hecho de que no existan diferencias estadísticas significativas entre razas de orígenes tan distantes como la Saanen (Suiza) o la Nubian (África/Inglaterra) al ser explotadas en el ecosistema llanero, demuestra que el ambiente actúa como un filtro soberano. Con esta "nivelación" sugiere que la estrategia de selección para la optimización láctea no debe enfocarse en la pureza racial, sino en la identificación de individuos que, independientemente de su genealogía, presenten una arquitectura corporal que armonice con el estrés térmico y la estacionalidad climática de la región.

Al profundizar en la importancia de las dimensiones corporales, se interpreta que la robustez esquelética es un requisito previo para la funcionalidad; por ello, un animal con mayor peso y capacidad torácica posee una ventaja metabólica: un sistema cardiopulmonar con mayores capacidades para el intercambio gaseoso y una mayor superficie para la termorregulación, aunado a un sistema digestivo más amplio para procesar forrajes de fibra alta. Por ende, la primera fase de la estrategia de selección debe priorizar el desarrollo de la estructura del tronco, entendiendo que el potencial lácteo

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

está condicionado por la capacidad del animal para mantener su condición corporal en un entorno desafiante. Seleccionar por producción sin considerar la caja torácica y el peso derivaría en animales con una vida útil reducida y una alta susceptibilidad a enfermedades metabólicas afectando los índices productivos.

En cuanto a la arquitectura mamaria, los resultados obligan a un análisis más crítico sobre la calidad de la ubre frente al volumen de producción. La identificación del Soporte de la Ubre como el predictor más potente del modelo matemático no es casualidad; representa el equilibrio entre la anatomía y la longevidad. Para ello, es importante aclarar que el soporte de la ubre, variable determinante en el modelo predictivo, encuentra su sustento anatómico en el aparato suspensorio descrito por Sisson y Grossman (1982). Este sistema, compuesto por láminas laterales de tejido conectivo denso y el ligamento suspensorio medio de naturaleza elástica, es el que garantiza la fijación de la glándula a la pared abdominal y el suelo pélvico, factor crítico para la longevidad en el pastoreo.

En sistemas de pastoreo extensivo como los observados en el estado Barinas, una ubre con ligamentos débiles se traduce en Ubres bajas lo que conlleva a traumas constantes, mastitis y descarte prematuro. Además, la estrategia de selección asistida debe, por lo tanto, jerarquizar la inserción y el soporte sobre el tamaño aparente de la glándula. Un animal con una ubre moderada pero bien soportada es más sostenible y rentable a largo plazo que una alta productora con inserciones deficientes y dimensiones exageradas.

En este contexto, con la integración de estas variables en un modelo predictivo constituye la verdadera innovación estratégica del estudio, cuya fase de modelado matemático permite transformar la subjetividad del "ojo del criador" en una herramienta de biotecnología simplificada. Al reducir las 12 variables originales a dos predictores clave (Peso Corporal y Soporte de la Ubre), se propone un protocolo de selección que es técnico pero ejecutable en el campo. Significa entonces, esta simplificación es vital para la sostenibilidad económica, ya que permite a los productores realizar evaluaciones

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

masivas de sus rebaños sin necesidad de equipos costosos o pruebas genéticas inalcanzables, democratizando el acceso al progreso genético.

Adicionalmente, se puede destacar con la armonía entre el peso corporal y la capacidad torácica observada no es solo un indicador productivo, sino una respuesta a la arquitectura interna del pequeño rumiante. Como establecen Sisson y Grossman (1982) en sus tratados de anatomía comparada, la disposición de las costillas y la amplitud del arco costal son los que determinan el volumen respiratorio, cardíaco y digestivo, elementos que en este estudio se correlacionaron positivamente con la resiliencia en condiciones de calor extremo.

De esta manera, la estrategia de selección propuesta no debe verse como un evento único, sino como un proceso dinámico de fases. La primera fase de descarte debe ocurrir en la etapa de crecimiento, basándose en la estructura esquelética; la segunda fase, tras el primer parto, debe centrarse en la validación del soporte mamario mediante el modelo de predicción aquí desarrollado. Con el enfoque sistemático permite elevar la eficiencia biológica del rebaño, asegurando que solo las hembras con la mejor combinación de resistencia y potencial lácteo permanezcan como reproductoras. Donde, la visión sistémica y una base de datos estructurado son los que garantizan una producción láctea sostenible, alineada con las necesidades de soberanía agroalimentaria y eficiencia productiva en el ecosistema llanero.

7. Conclusiones

La caracterización morfométrica realizada permite concluir que, en el ecosistema de los Llanos Occidentales, la influencia del ambiente de trópico bajo prevalece sobre el potencial genético racial. De allí, que la convergencia fenotípica demuestra que la selección de caprinos para la producción láctea en esta región no debe basarse en la pureza de raza, sino en biotipos funcionales adaptados. Donde, los parámetros zoométricos tradicionales resultan insuficientes por sí solos si no se analizan bajo una visión sistémica que priorice la estructura de soporte y la capacidad corporal.

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

Por lo que es importante destacar, si se establece que el Peso Corporal y el Soporte de la Ubre son los pilares fundamentales para la optimización de la producción láctea en sistemas llaneros. La fuerte correlación detectada entre estas variables y el rendimiento diario permite validar la morfometría como una herramienta de biotecnología simplificada, científica y de bajo costo. La aplicación de modelos predictivos basados en estos rasgos ofrece una ruta objetiva para la toma de decisiones, permitiendo al productor identificar animales con mayor eficiencia metabólica y longevidad productiva en condiciones de pastoreo.

Como recomendación técnica, se propone la implementación de protocolos de selección asistida que utilicen umbrales de medición física antes de la incorporación de los ejemplares a la etapa reproductiva. Sin embargo, esto no solo garantiza la mejora del aprisco a corto plazo, sino que asegura la sostenibilidad económica del sistema caprino. En tanto, se abren nuevas líneas de investigación para evaluar cómo estos modelos morfométricos interactúan con marcadores moleculares genéticos específicos de resistencia al estrés térmico, calidad de la leche, lo cual permitiría consolidar un biotipo caprino llanero altamente competitivo y resiliente ante los desafíos del cambio climático global, desarrollo a realizar en el Laboratorio Dr. Humberto Fernández Moran auspiciado por el MINCYT a través del FONACIT. La ganadería caprina es la propuesta técnica más prometedora para mitigar las demandas de proteína animal de alta calidad y de ciclo corto que permita a los pequeños y medianos productores connacionales elevar su calidad de vida al garantizar la rentabilidad y la inclusión al mercado laboral a mujeres, jóvenes y adultos mayores bajo los principios universales de Sostenibilidad y Sustentabilidad.

8. Referencias:

Almazán García, I. (2012). Relación de peso y medidas corporales en cabras de raza alpina en la producción y calidad de leche.

<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3427>

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

- Arroyo, O. (2007). Situación actual y proyecciones de la crianza de caprinos en Perú. Cusco, Perú. Editorial M&R. <https://utoronto.scholaris.ca/bitstreams/10b467fd-9027-4067-9ea1-606965bf1bc2/download>
- Atansuyi, A. J., Lateef, M. B., Hendu, U., & Chineke, C. A. (2025). Effect of sexual dimorphism on phenotypic traits in two-nigerian indigenous goat breeds at different ages. Archiva Zootechnica, 28(2), 146-163. <https://reference-global.com/article/10.2478/azibna-2025-0019>
- Blanchard, N. (2001). Avances de la explotación caprina en Venezuela y pertinencia de su desarrollo. En: memorias III Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Ovinos y Caprinos. IPA, FAGRO, UCV, Maracay. 25 – 34
- Barón, L. (1906). Métodos de examen externa de los animales domésticos. <https://es.scribd.com/document/303029228/Baron-y-Zoometria>
- Bookstein, F. L. (1991). Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology. Cambridge University Press. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1997mtld.book.....B/abstract>
- Carrera Lazo, M. G. (2022). Caracterización de aplomos y circunferencia escrotal en caprinos criollos, Capra aegagrus hircus, de la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022). <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7544>
- Crespo, H. (2026) Morfometría aplicada a la selección de razas caprinas para la producción láctea sostenible en el ecosistema llanero. Tesis Doctoral en genética y reproducción animal. UNELLEZ.
- FAO. (2022). Marco de acción en materia de biodiversidad para la alimentación y la agricultura. FAO Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4787348c-cc7e-4244-9c74-ffa524ec4109/content>

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

French, M. H. (1970). Observaciones sobre las cabras. Estudios agropecuarios de la FAO
spa no. 80.

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473af9a13d110e4e7a92e39>

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. European business review, 31(1), 2-24.
<https://www.emerald.com/eb/article-abstract/31/1/2/50197/When-to-use-and-how-to-report-the-results-of-PLS>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, Pilar. (2010). Metodología de la investigación. 5ª ed. México: McGraw-Hill. <http://petroquimex.com/PDF/SepOct17/Desarrolla-IMP-Metodologia.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago: Publicación de las Naciones Unidas.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>

Palella S., S y Martins P., F. (2010) Metodología de la Investigación Cuantitativa. 3era Edición. Venezuela: Fondo Editorial.
<https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w23578w/w23578w.pdf>

Risso Del Villar, M. M. Factores genéticos y ambientales que afectan características productivas de cabras lecheras en condiciones tropicales (Doctoral dissertation).
<https://saber.ucv.ve/handle/10872/16673>

Sisson, S., & Grossman, J. D. (1982). Anatomía de los animales domésticos. 5ta Edición. Salvat Editores. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-UAAAN:12017/Description>

Smith MC, y Sherman DM (2009) Medicina caprina, 2.ª ed. Wiley-Blackwell, Ames, 288-302. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780813818825>

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

Venegas-Mejía, V. L., Esquivel-Grados, J., Gonzales-Benites, M. T., & Altamirano-Julca, Y. (2025). Validez y confiabilidad en investigaciones en ciencias sociales y políticas. Análisis comparativo en los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto. Cuestiones Políticas, 43(83), 97-121. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-14062025000200097&script=sci_arttext

Zambrano, C. (2001). Sistemas de producción con pequeños rumiantes: Ovinos y caprinos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora.

Conflicto de interés:

Se declara, por parte de la autor, la inexistencia de intereses contrapuestos de ninguna índole en el marco de esta investigación

Fuente de financiamiento:

El autor financio completamente la investigación.

Contribución de autoría:

Héctor Rafael Crespo Romero: Gestiono la concepción y diseño original de la investigación, liderando la estructuración metodológica y la supervisión técnica de los procesos analíticos. Asimismo, la redacción del manuscrito, los resultados y asegurando la coherencia epistemológica del estudio.

Semblanza de la Autor (a)

Sistema de Creación Intelectual Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA)

Héctor Rafael Crespo Romero, Médico Veterinario egresado de la UCLA (1996). Abogado. Egresado USM (2019). Magister Scieniarium en Sistemas de Producción Animal Sostenible (Unellez, 2022). Magister en Derecho Procesal Penal (IESIP, 2022). Doctor en Genética y Reproducción (UNELLEZ, 2026). Cursando: Doctorado en Derecho Internacional. IESIP. Especialización Bufalina UNNE Argentina.



©2026 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia utiliza Open Journal Systems 3.2.1.1, que es un gestor de revistas de acceso abierto y un software desarrollado, financiado y distribuido de forma gratuita por el proyecto [Public Knowledge Project](http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/resi/about/aboutThisPublishingSystem) sujeto a la Licencia General Pública de GNU. (<http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/resi/about/aboutThisPublishingSystem>).