

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA**

**Factores de riesgo asociados al virus de la artritis y encefalitis caprina
(VAEC), evaluación de rasgos lineales y análisis de la estructura
poblacional en caprinos lecheros**

Trabajo Final de Graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa

Modalidad de Artículo Científico

Bach. WENDY MICHELLE MARÍN MORA

Heredia, Costa Rica

Octubre, 2023

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA**

**Factores de riesgo asociados al virus de la artritis y encefalitis caprina
(VAEC), evaluación de rasgos lineales y análisis de la estructura
poblacional en caprinos lecheros**

Por:

Bach. Wendy Michelle Marín Mora

Tutor:

M.Sc. Esteban Jiménez Alfaro

Asesores:

M.Sc José Pablo Jiménez Castro

M.Sc Mónica Madrigal Valverde

Heredia, Costa Rica

Octubre, 2023

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinar de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar por el grado de Licenciatura en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa bajo la modalidad de Artículo Científico.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

M.Sc. Omar Barrantes Sotela
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. Manuel Campos Aguilar
Dirección de la Escuela de Ciencias Agrarias

M.Sc Esteban Jiménez Alfaro
Tutor

M.Sc José Pablo Jiménez Castro
Asesor

M.Sc Mónica Madrigal Valverde
Asesora

Bach. Wendy Michelle Marín Mora
Postulante

Tabla de Contenidos

Resumen.....	1
Summay	2
Introducción.....	3
Materiales y Métodos	4
Área de estudio y método de muestreo.....	4
Colecta de muestra de sangre y análisis serológico.....	5
Evaluación testicular de los machos	6
Evaluación lineal	7
Estructura poblacional	8
Análisis estadístico	9
Determinación de factores asociados a la transmisión de VAEC	9
Evaluación testicular de los machos	10
Evaluación lineal	10
Composición racial	10
Resultados.....	11
Determinación de factores asociados a la transmisión de VAEC	11
Evaluación testicular de los machos	12
Morfometría.....	14
Evaluación Lineal	15
Estructura poblacional	18
Probabilidades IBS.....	18
Análisis de estructura.....	19
Discusión	21
Conclusiones	23
Aprobación ética y consentimiento para participar.....	24
Referencias	24

Índice de Tablas

Tabla 1. Regiones climáticas y distribución de machos y hembras cruzadas, Costa Rica, 2022.	4
Tabla 2. Condición Corporal en caprinos.....	6
Tabla 3. Categorías, pesos relativos y puntaje ideal por rasgo lineal de caprinos.	7
Tabla 4. Factores de riesgo asociados a la ausencia o presencia de Virus de la Artritis Encefalitis Caprina (VAEC) para caprinos lecheros. Costa Rica. 2022.	11
Tabla 5. Media y desviación estándar de medidas testiculares (cm) de machos caprinos costarricenses de 7-60 meses de edad según el tipo de animal.	13
Tabla 6. Medias y desviaciones estándares de medidas morfométricas (cm) según tipo de animal de machos caprinos. Costa Rica. 2022.....	15
Tabla 7. Distribución de frecuencias del puntaje final obtenido de hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.	15
Tabla 8. Distribución de frecuencias del puntaje final de los rasgos lineales por categorías: Capacidad Corporal, Grupa, Estructura de Miembros Pélvicos y Ubre de hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.....	16
Tabla 9. Estimación de parámetros segmentos idénticos por estado IBS en machos del biotipo Saanen (n = 55).....	19

Índice de Figuras

Figura 1. Circunferencia Escrotal (CE) de caprinos costarricenses evaluados.	13
Figura 2. Puntaje final de los rasgos lineales según categoría: capacidad corporal, grupa, estructura de miembros pélvicos y ubre de 48 hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.	18
Figura 3. Dendrograma de agrupamiento jerárquico. Relación fenética entre la población de machos Saanen (n = 55) (gris, zoom) y las poblaciones de cabras lecheras de origen suizo (n = 473).	20
Figura 4. Análisis de estructura poblacional (ADMIXTURE) por ancestría de la población de machos Saanen (n = 55). Número óptimo de agrupaciones ($K = 10$) determinado por el menor error de validación cruzada. Cada columna representa un individuo.	21

Factores de riesgo asociados al virus de la artritis y encefalitis caprina (VAEC), evaluación de rasgos lineales y análisis de la estructura poblacional en caprinos lecheros

Resumen

Los recursos zoogenéticos para la alimentación y la agricultura, representan el principal componente de la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2011). Para garantizar su sustentabilidad se requiere aplicar herramientas tecnológicas que orienten los procesos de manejo y selección de individuos, procurando el uso adecuado de los animales especialmente por productores de baja escala (FAO, 2020). Se estudió el estatus sanitario, evaluación testicular y funcionalidad de los animales. Se colectó datos de 10 poblaciones (37 machos reproductores y 48 hembras cruzadas) y se estudió la estructura genética poblacional de 55 machos Saanen. Se colectó sangre, realizó análisis serológicos, registraron datos fenotípicos y se realizó ultrasonografía testicular en machos reproductores, se valoraron la funcionalidad de los individuos y por último se contrastó una población de animales Saanen genotipados con 12 poblaciones de caprinos lecheros de origen suizo. La valoración de animales a partir de la aplicación de criterios sanitarios, reproductivos y funcionales, reveló ser una herramienta útil para la selección. De los machos reproductores solamente el 67.6% lograron medidas superiores a la referencia de 30 cm para la CE, en adición no se identificó en ellos la presencia de *Brucella Abortus*. Por otro lado, se determinó que el 49% de ellos son portadores de VAEC. Las hembras cruzas mostraron problemas de funcionalidad donde los rasgos más comprometidos fueron la angulosidad (carácter lechero), la estructura, la grupa (ancho y ángulo), la implantación de pezones y finalmente la inserción y altura de la ubre. Con respecto a la estructura poblacional, no se identificaron patrones de agrupamiento, lo que es consistente con la alta probabilidad IBS detectada (0.66) y a su vez se asocia con una baja variabilidad genética para el caso del biotipo Saanen.

Palabras clave: *Capra hircus*, VAEC, funcionalidad, evaluación testicular, diversidad genética.

Summay

Animal genetic resources for food and agriculture represent the main component of global food security (FAO, 2011). To guarantee its sustainability, it is necessary to apply technological tools that guide the management and selection processes of individuals, ensuring the appropriate use of animals, especially by small-scale producers (FAO, 2020). The health status, testicular evaluation and functionality of the animals were studied. Data were collected from 10 populations (37 breeding males and 48 crossbred females) and the population genetic structure of 55 Saanen males was studied. Blood was collected, serological analyzes were performed, phenotypic data was recorded and testicular ultrasonography was performed on breeding males, the functionality of the individuals was assessed and finally a population of genotyped Saanen animals was contrasted with 12 populations of dairy goats of Swiss origin. The evaluation of animals based on the application of health, reproductive and functional criteria revealed to be a useful tool for selection. Of the breeding males, only 67.6% achieved greater than the reference of 30 cm for EC, and the presence of *Brucella Abortus* was not identified in them. On the other hand, it is estimated that 49% of them are VAEC carriers. The crossbred females showed functional problems where the most compromised traits were angularity (dairy character), structure, rump (width and angle), nipple implantation and finally the insertion and height of the udder. Regarding the population structure, no clustering patterns are identified, which is consistent with the high probability of IBS detected (0.66) and in turn is associated with a low genetic variability in the case of the Saanen biotype. **Keywords:** *Capra hircus*, VAEC, functionality, testicular evaluation, genetic diversity.

Introducción

Los recursos zoogenéticos para la alimentación y la agricultura, representan el principal componente de la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2011). Para garantizar su sustentabilidad se requiere aplicar herramientas tecnológicas que orienten los procesos de manejo y selección de individuos, procurando un uso adecuado de los animales especialmente en productores de baja escala (FAO, 2020).

Los caprinos lecheros brindan aportes en la microeconomía de las comunidades rurales, la generación de ingresos y la seguridad alimentaria de muchas familias, especialmente aquellas en estado de vulnerabilidad (Chacón y Mora, 2019). De acuerdo con la FAO (2020), Centroamérica alberga el 23% del total de los caprinos del continente americano (39 194 276.00 caprinos), destacando Costa Rica con una tasa de crecimiento poblacional del 17.7% en los últimos 15 años. Según el Censo Nacional Agropecuario (2014), nuestro país dispone de 4 140 fincas con pequeños rumiantes, donde el 57% de ellas albergan a 12 852 caprinos (19.6% machos y 80.4% hembras). Dicha especie se distribuye en todo el territorio nacional gracias a su gran capacidad adaptativa, principalmente en zonas donde el alimento y el agua son de acceso limitado.

A pesar de lo anterior, en nuestro territorio dicha especie se desempeña como una actividad marginal con bajos niveles productivos y tecnológicos (Jiménez et al., 2017; Chaverri et al., 2015). A nivel de finca no se dispone de información dirigida a la medición de indicadores productivos, se carece de planes de manejo y no se realiza un adecuado uso del recurso zoogenético. En adición los animales presentan problemas de funcionalidad, productivos y reproductivos los cuales hasta el presente estudio han sido poco reportados. Otro factor que afecta el desempeño de los animales y que ha sido de poco estudio, es la infección con VAEC (Fallas et al., 2009). Ésta se asocia a condiciones físicas desfavorables, como por ejemplo la leucoencefalomielitis, la parálisis progresiva y la neumonía intersticial en cabras jóvenes, así como artritis crónica y mastitis en animales adultos, y en adición se han reportado neumonías de progresión lenta y encefalitis en cabras adultas (Tempesta, 2007).

El presente estudio pretendió conocer el estado y factores de la enfermedad del VAEC, la evaluación de rasgos funcionales, la circunferencia escrotal de machos y la estructura poblacional de 10 poblaciones de caprinos lecheros costarricenses, agrupadas en un conjunto de machos reproductores con un patrón racial definido y otro compuesto de hembras mestizas.

Materiales y Métodos

Área de estudio y método de muestreo

Según datos aportado por grupos de productores nacionales (Coope. de Productores de Leche de Cabra de la Zona Norte) y regionales (Grupo de Productores del Caribe, Pacífico Central y Brunca), existían aproximadamente 17 fincas dedicadas a la producción de pie de cría, donde al momento del estudio no se disponía de registro genealógico oficial. Se colectaron datos fenotípicos de 10 hatos caprinos ($n = 85$), distribuidos en 37 machos reproductores entre 7-60 meses de edad y de los biotipos más frecuentes utilizados como ganado lechero. En adición se colectó información de 48 hembras cruza entre 10-96 meses de edad. Ambos grupos provenientes de distintas regiones del territorio nacional: Central, Pacífico Norte, Pacífico Central-Sur, Caribe y Norte (Tabla 1).

Tabla 1. Regiones climáticas y distribución de machos y hembras cruzadas, Costa Rica, 2022.

Región climática	Precipitación acumulada anual (mm)*	Rango de temperatura (°C)*	Individuos
Región Central	2 322	21.1-23.1	17 cruza
			13 machos
Pacífico Norte	2 008	32.8-22.2	7 cruza
	3 484	31.0-22.7	3 cruza
Pacífico Central-Sur	3 694	27.9-20.5	

			2 machos
Región Caribe	3 205	29.8-20.7	4 cruza
			2 machos
Región Norte	3 247	29.6-20.08	17 cruza
			20 machos
Total			48 cruza
			37 machos

*Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2022.

Colecta de muestra de sangre y análisis serológico

De los machos reproductores la toma de muestra de sangre se obtuvo por triplicado de la vena yugular externa, se recolectó de 3 a 4 ml de material por cada animal con equipo de vacío Vacutainer® y tubos sin anticoagulantes, siguiendo las recomendaciones de la FAO (2012). Los tubos fueron colocados en una hielera con gel refrigerante y mantenidos a una temperatura entre 3°C y 9°C hasta su ingreso al laboratorio. Se realizaron las pruebas para detección de Brucelosis Abortus y Virus de la Artritis Encefalitis Caprina (VAEC). El análisis de Brucelosis consistió en la prueba de aglutinación en placa con Antígeno Rosa de Bengala, método de ELISA Competitivo (cELISA) y método ELISA indirecto (iELISA) como prueba confirmatoria (SENASA, 2019). La prueba para VAEC se realizó mediante ELISA indirecto con una mezcla purificada de antígenos peptídicos de los virus de Maedi Visna (MVN) y de la VAEC en muestras para la detección de anticuerpos de dichos virus en plasma (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2018). Éstas se realizaron en el laboratorio de virología de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional (UNA), Costa Rica y en el laboratorio del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). Además, se colectó por individuo la siguiente información requerida para la determinación de los factores asociados a la transmisión del VAEC: la edad (meses), la condición corporal (Tabla 2), el peso vivo (kg), el tamaño del hato (grande > 45 animales, mediano 7-44 animales, pequeño 1-6 animales), el control sanitario (si, no), el tipo de sistema (semi

intensivo, intensivo, extensivo), la raza (tipo raza o tipo cruce) y si el productor implementa la identificación animal por individuo.

Tabla 2. Condición Corporal en caprinos

Condición	Descripción
1	Animal débil. No presenta cubierta de grasa y se palpan los espacios intercostales. Las costillas y columna son visibles y el flanco es hueco.
2	Se presenta una pequeña cubierta de grasa y las costillas son más visibles y aún se percibe la columna vertebral.
3	Los espacios intercostales se palpan, pero solo ejerciendo presión. Las costillas y columna no son prominentes y presentan una capa uniforme de grasa superficial.
4	Animal con buena apariencia. Tanto las costillas como la columna no son apreciables.
5	Las costillas no son prominentes y tanto la columna como las costillas no son prominentes.

Fuente: Steffen, 2022.

Evaluación testicular de los machos

La evaluación se realizó en machos libres de VAEC. Todos los individuos (37) de entre 7 y 60 meses estaban siendo utilizados como reproductores al momento del estudio. Para cada uno de ellos, se le realizó un examen macroscópico de los órganos reproductores, se midió la circunferencia escrotal (cm) y se identificaron alteraciones. Posteriormente, se realizó la ecografía testicular utilizando un ecógrafo marca ExaGo equipado con una sonda transrectal calibrada a una frecuencia de 7.5 MHz. Se registraron las siguientes variables medidas en centímetros: la longitud testicular izquierda (LTI), longitud testicular derecha (LTD), ancho testicular izquierdo (ATI), ancho testicular derecho (ATD), profundidad o grosor testicular (PT), media longitudinal testicular izquierda (MTI) y media longitudinal testicular derecha (MTD). Estas se emplearon para la estimación de las variables volumen testicular izquierdo (VTI), volumen testicular derecho (VTD), peso testicular izquierdo (PTI) y peso testicular derecho (PTD). Se empleó una cinta de medición testicular para estimar la circunferencia escrotal (CE) en centímetros. Las medidas fueron tomadas por una sola persona para evitar el sesgo de información.

Evaluación lineal

La valoración de los rasgos lineales se realizó por medio del método de evaluación lineal (ADGA, 2019). Para los machos las variables registradas fueron: altura a la cruz (AC), altura a la grupa (AG), perímetro torácico (PT) y ancho del pecho (AP). Para las hembras cruzas se registró la altura a la grupa (AG), altura a la cruz (AC), el perímetro torácico (PT) y el peso vivo (PV), además de la estatura (ET), fortaleza (FT), carácter lechero (CL), ángulo de la grupa (AgG), anchura de la grupa (AcG), estructura de los miembros pélvicos (patas traseras) (EMP), diámetro de pezones (DP), vista lateral de la ubre caudal (VLUC), profundidad de la ubre (PU), ligamento suspensorio medio (LSM), implantación de pezones (IP), inserción craneal de la ubre (ICU), altura de la inserción caudal de la ubre (AICU) y arco de la ubre caudal (AUC). Los rasgos lineales se agruparon en 4 categorías cada una con un peso relativo según su funcionalidad y un valor ideal por cada rasgo lineal (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías, pesos relativos y puntaje ideal por rasgo lineal de caprinos.

Categoría	Peso relativo	Rasgos	Puntaje ideal
Capacidad Corporal (CC)	35%	Estatura	45
		Fortaleza	45
		Carácter Lechero	45
Grupa (G)	5%	Ángulo de la grupa	25
		Anchura de la grupa	45
Estructura de los miembros pélvicos (EMP)	20%	Estructura de miembros pélvicos	25
Ubre (Ubr)	40%	Diámetro de pezones	25
		Vista lateral de la ubre caudal	25
		Profundidad de la ubre	25
		Ligamento suspensorio medio	25

Implantación de pezones	45
Inserción craneal de la ubre	45
Altura de la inserción caudal de la ubre	45
Arco de la ubre caudal	45
 Total	 510

Adaptado de ADGA, 2019.

Se consideró 510 puntos como nota ideal, distribuida en CC (135 puntos), G (70 puntos), EMP (25 puntos) y Ubr (280 puntos). Los puntos observados de cada rasgo lineal por individuo se contrastaron contra los puntos ideales por categoría con el fin de caracterizar el desempeño de los individuos. Las medidas fueron tomadas por una sola persona para evitar el sesgo de información.

Estructura poblacional

Se utilizaron 55 genotipos de reproductores provenientes de 14 poblaciones de caprinos lecheros de biotipo Saanen costarricense generados para un estudio previo (Paim et al., 2019). En adición se usaron 473 animales de 10 poblaciones de biotipos caprinas lecheras de origen Suizo tomados de la Dryad Data (Dryad, 2023) y reportados por Burren et al., (2017), ambos genotipados con la plataforma de microarreglos Illumina Goat 50K SNP BeadChip (53 347 polimorfismos de nucleótido simples SNPs). A los marcadores SNPs autosómicos se les evaluó la tasa de genotipos perdidos (GENO), la frecuencia del menor alelo (MAF) y el Equilibrio de Hardy Weinberg (HWE), utilizando las funciones --geno, --maf y --hwe de PLINK v1.9 (Purcell et al., 2007). Se obtuvieron 48 558 marcadores posterior al filtrado utilizando frecuencia del alelo menor (maf<0.01), tasa genotipos perdidos (geno<0.1) y equilibrio de Hardy-Weinberg HW (p>0.001). Por medio de PLINK v1.9, se estimó la probabilidad de compartir segmentos IBS entre pares de individuos. Con ADMIXTURE

(v13) (Alexander, Novembre y Lange, 2009) se estudió la existencia de agrupaciones comparándolos con las poblaciones de origen suizo. Mediante el menor error de validación cruzada se determinó el número más probable de generaciones (K).

Análisis estadístico

Determinación de factores asociados a la transmisión de VAEC

Los factores de riesgo potencialmente asociados con la presencia del virus causante de la infección de la enfermedad VAEC, utilizados en el análisis incluyeron la edad, la condición corporal, el peso vivo, el tamaño del hato, el control sanitario, el tipo de sistema, el biotipo del animal y la presencia de identificación individual. El análisis estadístico se realizó por medio del software R, utilizando la prueba de chi-cuadrado de Pearson y la prueba exacta de Fisher, además de pruebas de dos colas ($p < 0.05$). Se determinó la razón de probabilidades asociada con los factores de riesgo de VAEC, con una confiabilidad del 0.95. Las razones de probabilidad (OR) se estimaron utilizando los límites de confianza del 0.95. Los factores estadísticamente significativos se utilizaron para construir el modelo de regresión logística múltiple a través del paquete GLM de R, dado por $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n$. Los datos fueron recuperados de la escala original transformando p de tal manera que: $P(X) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}}$, donde $P(X)$ es la probabilidad de la presencia de la enfermedad, β_0 es el intercepto, β_1 es el coeficiente de regresión asociado a la primera variable predictora, x_1 es la primera variable predictora, β_n es el coeficiente de regresión asociado a la n -ésima variable predictora, x_n es la n -ésima variable predictora y e es la exponencial. Al modelo estadístico se le evaluó su validez y calidad. Se analizó tanto el modelo en conjunto, como los predictores que lo formaban. Se utilizaron dos pruebas que cuantifican la mejora mediante la comparación de los residuos: el Test de Razón de Verosimilitud (likelihood ratio test) y el Criterio de Información de Akaike (AIC). Asimismo, las variables con asociación significativa ($p < 0.05$) fueron sometidas a un análisis de significancia a través del estadístico *Wald Test*, con el fin de obtener una ecuación de predicción para cada animal con las variables que influyen a la prevalencia de la enfermedad en los animales.

Evaluación testicular de los machos

El aspecto macroscópico de los órganos fue analizado mediante estadística descriptiva. Se utilizó la Regla de Sturges como criterio para la elaboración de tablas de frecuencia e histogramas de frecuencia con el fin de conocer el número de clases necesarias para la adecuada representación de los datos. Por medio del software R se estimaron los parámetros de centralidad y dispersión de las siguientes medidas testiculares: LT, AT, VT, PT, MLT y MAT. Considerando las medidas morfométricas testiculares, se estimó el VTT, por medio de las siguientes fórmulas (Johnson, Petty y Neaves, 1981; Fuse, et al., 1993; Lin, Huang y Chen, 2009):

$$VolT_i = \left[\left(\frac{largoT_i}{2} \frac{anchoT_i}{2} \frac{espesorT_i}{2} \right) 3.1416 \right] - pliegepielescroto$$
, donde $VolT_i$ representa el volumen testicular del i -ésimo testículo ($i = izquierdo, derecho$), $largoT_i$, $anchoT_i$ y $espesorT_i$ son el largo, ancho y espesor del i -ésimo testículo.

Evaluación lineal

Se estimaron las frecuencias de clase por frecuencia absoluta (fa), frecuencia relativa (fr), frecuencia absoluta acumulada (faa) y frecuencia relativa acumulada (fra), de los puntajes de cada rasgo lineal y categoría para las hembras cruzas. Mientras que para los machos se calculó la medida de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar) en el programa R.

Composición racial

Se utilizaron métodos multivariados gráficos con el fin de determinar el grado de relación y estructura entre las poblaciones suizas ($n = 473$) y la costarricense ($n = 55$). Las probabilidades de compartir segmentos idénticos por estado IBS (por sus siglas en inglés Identity by State) entre pares de individuos, se estimó por medio del programa PLINK v1.9. A través del programa de análisis estadístico R se estimó la distribución de los segmentos IBS y sus parámetros de tendencia central y dispersión. Se realizó un análisis de conglomerados utilizando el programa ADMIXTURE v13 (Alexander et al., 2009), efectuando una validación cruzada. Con ayuda del paquete “ggtree” de R, se construyó la matriz de distancias euclidianas de los genotipos y se generó el dendrograma.

Resultados

En el caso particular del estado sanitario, se determinó que el 100% de los machos reproductores resultaron libres a Brucelosis, mientras que el 49% de ellos fueron positivos a VAEC. Dicho valor es menor (61.2%) a lo reportado por Fallas et al., (2009) para hatos de pie de cría en Costa Rica.

Determinación de factores asociados a la transmisión de VAEC

El modelo de regresión logística múltiple indicó que los factores evaluados de edad, tamaño del hato grande (> 45 animales), tipo de animal e identificación individual del animal se asociaron de forma significativa ($p < 0.05$) con la ocurrencia de la enfermedad VAEC (Tabla 4). El análisis multivariante demostró que las cabras con edades superiores muestran una mayor asociación significativa por VAEC ($p < 0.01$; OR = 1.19; IC 95% = 1.05-1.42). El tamaño del hato y la probabilidad de exposición al VAEC está significativamente asociado a la enfermedad ($p < 0.02$; OR=0.04; CI 95%= 0.002-0.45). Con respecto a la variable biotipo, se observaron diferencias significativas de la presencia de VAEC en función del grupo de animales cruza en relación con los otros biotipos (Saanen, Nubiano y La Mancha) ($p < 0.02$; OR=0.0006; CI 95%= 0.18-0.12). Las explotaciones caprinas que no llevan a cabo la identificación animal individual presentaron 0.02 veces más probabilidad de padecer la infección que aquellas que sí lo realizan ($p < 0.04$; OR=0.02; CI 95%= 0.0002-0.43).

Tabla 4. Factores de riesgo asociados a la ausencia o presencia de Virus de la Artritis Encefalitis Caprina (VAEC) para caprinos lecheros. Costa Rica. 2022.

Factores de riesgo		OR Ratio	IC OR 95%		Prob Odds	<i>p-values*</i>	Wald Test
			LI	LS			
Edad		1.19	1.05	1.42	0.54	0.01*	0.02*
Tamaño del hato	Grande (>45)	0.04	0.0020	0.45	0.04	0.02*	0.02*
Biotipo	Saanen-Nubiana	1.32	0.09	19.56	0.56	0.82	
	La Mancha	0.06	0.00	0.18	0.06	0.26	0.19
	Cruza	0.0006	0.003	0.18	0.12	0.02*	
Peso animal		0.94	0.83	1.00	0.72	0.21	0.22

Id. animal	No	0.02	0.0002	0.43	0.02	0.04*	0.05*
------------	----	------	--------	------	------	-------	-------

*: significativo ($p<0.05$); IC: Intervalo de confianza; LI: límite inferior; LS: límite superior

La prueba de razón de verosimilitud y AIC mostraron una mejor bondad de ajuste del modelo logístico creado ($AIC = 43.56$, likelihood ratio test $p<0.0012$), respecto al modelo nulo (sin predictores) ($AIC = 53.27$). Lo que indica que el modelo logístico creado para predecir la probabilidad de que un caprino tenga VAEC a partir de la edad, tamaño del hato e identificación animal, es útil. Por otro lado, el análisis de significancia por cada uno de los predictores se realizó a través del estadístico Wald Test. El estadístico indicó que los factores de riesgo de edad ($p<0.02$), tamaño del hato ($p<0.02$) e identificación animal ($p<0.05$), presentaron asociaciones significativas con padecer la infección VAEC (Tabla 4).

Evaluación testicular de los machos

La CE mostró una media de 32.00 cm, con un mínimo de 26.00 cm y un máximo de 39.00 cm. Solamente 25 individuos (67.6%) lograron medidas superiores a la referencia de 30 cm (Pugh, 2002) (Figura 1). En particular, los animales biotipo La Mancha, Saanen y Nubiano, registraron las mayores magnitudes de CE 33.00, 32.74 y 30.55, respectivamente. La CE reportada en el estudio para el biotipo Saanen (32.74 ± 2.08) fue de mayor medida a lo indicado por Lukusa y Lehloenya (2017) (29.73 ± 0.29) y por Salles et al., (2020) (31.5 ± 0.3). La misma situación sucedió con la CE del biotipo Nubiano (30.55 ± 1.62), con respecto a lo indicado por Stoycheva et al., (2021) (24.38 ± 0.8) y Abba et al., 2021 (17.95 ± 1.2). Los animales reproductores tipo Cruce evidenciaron valores de circunferencia escrotal (28.33 cm) por debajo de la media general (Tabla 5).

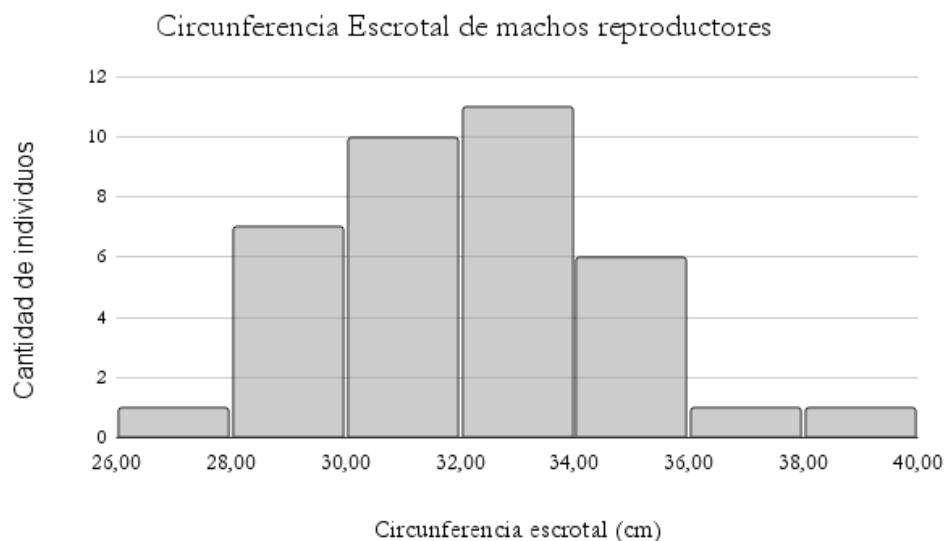


Figura 1. Circunferencia Escrotal (CE) de caprinos costarricenses evaluados.

La evaluación macroscópica de los órganos reproductores determinó 3 individuos con focos de fibrosis testicular, evidenciado como alteración para 2 reproductores de tipo Saanen y 1 de tipo Cruce.

Con respecto a la medida del LT, el biotipo Nubiana ($9.24\text{cm} \pm 0.80$) fue la que mostró la mayor magnitud entre los individuos de estudio. Asimismo, el segundo biotipo que presentó mayor tamaño fue la Saanen (9.12 ± 0.85), inferior a lo reportado por Lukusa y Lehloenya (2017) (8.77 ± 0.09). Los animales tipo La Mancha y Cruce, registraron las menores magnitudes de LT 8.85 ± 1.57 , 7.43 ± 0.40 , respectivamente. Mientras que, la medida del AT del biotipo La Mancha (6.06 ± 0.71) fue la que evidenció mayor dimensión. Además, la medida general del AT de este estudio (5.71 ± 0.51) fue superior a lo indicado por Lukusa y Lehloenya (2017) (5.45 ± 0.04) (Tabla 6).

Tabla 5. Media y desviación estándar de medidas testiculares (cm) de machos caprinos costarricenses de 7-60 meses de edad según el tipo de animal.

Biotipo	Cruce	La Mancha	Nubiano	Saanen	General
Circunferencia Escrotal	28.33 ± 2.08	33.00 ± 1.41	30.55 ± 1.62	32.74 ± 2.46	31.74 ± 2.54
Largo	7.43 ± 0.40	8.85 ± 1.57	9.24 ± 0.80	9.12 ± 0.85	9.01 ± 0.94

Ancho	5.01±0.42	6.06±0.71	5.39±0.38	5.95±0.39	5.71±0.51
-------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Morfometría

Las medidas morfométricas son valores que presentan mucha variación debido a múltiples factores que intervienen al momento de su medición. No obstante, lo reportado en este estudio representa un primer dato de referencia, donde los animales con mayor tamaño y capacidad torácica en orden descendente fueron Saanen, La Mancha y Nubiano. A pesar de la dominancia en altura y capacidad del Saanen, este tipo de animales mostró una menor fortaleza (20.62 ± 7.68) ante Nubiano (31.00 ± 4.65) (Tabla 6).

Ahora bien, el perímetro torácico de los animales Saanen (101.0 ± 4.24) fue menor a los reportado para el mismo tipo de animal, por Fonseca et al., (2018) (63.72 ± 0.78). Por otro lado, la altura de la grupa reportada para animales Saanen (84.00 ± 1.41) fue superior a lo reportado por Bocali y Kucuk (2012) en caprinos Saanen (54.02 ± 4.05) (Tabla 6).

Con respecto a la medida del ancho de pecho, el biotipo Nubiana (31.00 ± 4.63) fue la que mostró la mayor magnitud entre los individuos del estudio y además fue superior a lo indicado por Pariacote et al., (2007) (29.00 ± 2.07) en animales Nubianos. Asimismo, Mahecha et al., (2002) indica que las medidas de capacidad corporal permiten interpretar el desarrollo corporal de los animales y estas medidas presentan marcadas variaciones según la diversidad observada entre los biotipos (Grimaldo et al., 2020) (Tabla 6).

Los Saanen sobresalen con un mayor tamaño (altura a la cruz: 83.36 cm) y capacidad de tórax (perímetro torácico: 101.0 cm), en contraposición con lo mostrado por los animales tipo cruce o mestizos (altura a la cruz: 67.50 cm) y capacidad de tórax (perímetro torácico: 84.92 cm) (Tabla 6).

Tabla 6. Medias y desviaciones estándares de medidas morfométricas (cm) según tipo de animal de machos caprinos. Costa Rica. 2022.

Tipo animal	Altura cruz	Altura grupa	Perímetro torácico	Ancho pecho
Cruce	67.50 ± 5.22	70.16 ± 5.32	84.92 ± 9.30	18.69 ± 3.63
La Mancha	79.50 ± 0.71	81.55 ± 5.71	97.36 ± 8.82	10.00 ± 0.00
Nubiano	74.91 ± 10.25	76.68 ± 7.26	86.45 ± 12.60	31.00 ± 4.65
Saanen	83.36 ± 6.81	84.00 ± 1.41	101.0 ± 4.24	20.62 ± 7.68
Total	72.66 ± 9.29	74.14 ± 7.57	88.57 ± 10.99	20.55 ± 17.28

Evaluación Lineal

Los puntajes finales se agruparon en siete clases con una amplitud de 35.11 puntos cada una. En general toda la población no superó los 414.1 puntos, respecto a los 510 puntos ideales. Tres cuartos de la población no superaron 308.76 puntos. La mayor agrupación se observó entre 238.53 a 273.64 puntos, representando el 31.25% de la población con una frecuencia acumulada relativa al límite superior del 58.33% (Tabla 7).

Tabla 7. Distribución de frecuencias del puntaje final obtenido de hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.

Lc	fa	fr (%)	faa	fra
[168.30, 203.41)	4	8.33	4	8.33
[203.41, 238.53)	9	18.75	13	27.08
[238.53, 273.64)	15	31.25	28	58.33
[273.64, 308.76)	8	16.67	36	75.00
[308.76, 343.87)	6	12.50	42	87.50
[343.87, 378.99)	5	10.42	47	97.92
[378.99, 414.1)	1	2.08	48	100.00

Lc: Límite de clase; fa: frecuencia absoluta; fr: frecuencia relativa; faa: frecuencia acumulada absoluta y fra: frecuencia relativa acumulada. Intervalo cerrado incluye el punto, intervalo abierto no incluye el punto.

Los análisis de frecuencias de la capacidad corporal (fortaleza, estatura y carácter lechero), mostró que el 100% de la población estuvo 39.5 puntos por debajo del puntaje ideal (135), se destaca que el 77.08% de los individuos presenta una frecuencia acumulada relativa al límite superior (61.19 puntos), menor a la mitad esperada del puntaje ideal (Tabla 8). En el caso de la grupa (ángulo de la grupa y ancho de la grupa), la distribución de frecuencias se aglomeró en cuatro clases con una amplitud de 11.57 puntos cada una. El 97.92% de la población alcanzó 56.19 puntos con respecto al puntaje ideal (70 puntos) (Tabla 8). La categoría de estructura de los miembros pélvicos mostró que el 95.83% de la población obtuvo puntajes entre 22.30 y 28.09 (puntaje ideal 25) (Tabla 8). La categoría de ubre (diámetro de pezones, vista lateral de la ubre caudal, profundidad de la ubre, implantación de pezones, inserción craneal de la ubre, altura de la inserción caudal de la ubre, arco caudal de la ubre y ligamento suspensorio medio), mostró una distribución de frecuencia agrupada en siete clases con una amplitud de 29.09 puntos cada una. En general, el 95.75% de la población no fue superior a los 253.71 puntos, respecto a los 280 puntos ideales. Dos tercios de la población no superó 195.54 puntos. La mayor agrupación se observó entre 137.37 y 166.46 puntos la cual representó el 33.33% de la población con una frecuencia acumulada relativa al límite superior del 41.67% (Tabla 8).

Tabla 8. Distribución de frecuencias del puntaje final de los rasgos lineales por categorías: Capacidad Corporal, Grupa, Estructura de Miembros Pélvicos y Ubre de hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.

Categorías	Lc	Fa	fr(%)	faa	Fra
Capacidad Corporal	[14.85,26.436)	11	22.92	11	22.92
	[26.436,38.021)	11	22.92	22	45.83
	[49.607,61.193)	15	31.25	37	77.08
	[72.779,84.364)	9	18.75	46	95.83
	[84.364,95.95)	2	4.17	48	100.00
Grupa	[9.9,21.47)	19	39.58	19	39.58
	[21.47,33.04)	23	47.92	42	87.50

	[44.61,56.19)	5	10.42	47	97.92
	[79.33,90.9)	1	2.08	48	100.00
Estructura los miembros pélvicos	[4.95,10.736)	5	10.42	5	10.42
	[22.307,28.093)	41	85.42	46	95.83
	[39.664,45.45)	2	4.17	48	100.00
Ubre	[79.2,108.29)	2	4.17	2	4.17
	[108.29,137.37)	2	4.17	4	8.33
	[137.37,166.46)	16	33.33	20	41.67
	[166.46,195.54)	12	25.00	32	66.67
	[195.54,224.63)	13	27.08	45	93.75
	[224.63,253.71)	1	2.08	46	95.83
	[253.71,282.8)	2	4.17	48	100.00

Lc: Límite de clase; fa: frecuencia absoluta; fr: frecuencia relativa; faa: frecuencia acumulada absoluta; fra: frecuencia relativa acumulada. Intervalo cerrado incluye el punto, intervalo abierto no incluye el punto.

La valoración de los rasgos lineales de las hembras mostró un desempeño deficiente. Se evidenció que la capacidad corporal dada por el rasgo de estatura, fortaleza y angulosidad o carácter lecheros estuvieron aproximadamente 35, 30 y 40 puntos por debajo de los puntajes ideales, comportamiento que se repitió para la categoría de grupa compuesta por el ángulo de la grupa y ancho de la grupa con valores aproximados de 15 y 37 puntos, respectivamente. En adición, los rasgos de implantación de pezones, inserción craneal de la ubre, altura de la inserción caudal y el arco caudal de la ubre, mostraron valores inferiores a lo esperado (Figura 2).

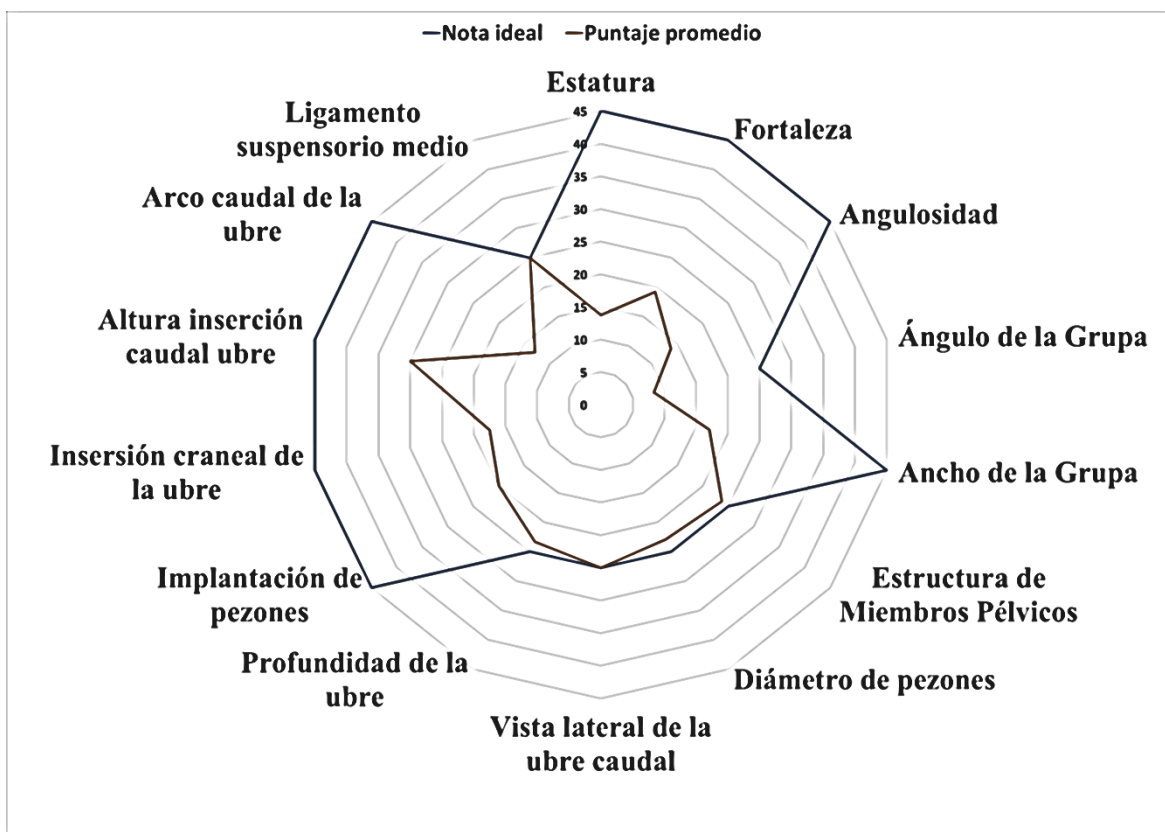


Figura 2. Puntaje final de los rasgos lineales según categoría: capacidad corporal, grupa, estructura de miembros pélvicos y ubre de 48 hembras caprinas lecheras cruzadas. Costa Rica. 2022.

Estructura poblacional

Probabilidades IBS

Posterior al control de calidad de los 55 machos del biotipo Saanen genotipados con el microarreglo que incluye 53 347 SNPs, se generaron 139 128 parejas de individuos a una densidad de 48 668 SNPs. Se estimó una media de probabilidad de compartir segmentos IBS de 0.66 con un error de estimación de 0.000045 al 95% de confianza de que el parámetro se encuentre entre 0.6626 y 0.6628 (Tabla 9). El elevado valor medio de $P(IBM)$ y los bajos valores de dispersión sugieren que la población es altamente uniforme.

Tabla 9. Estimación de parámetros segmentos idénticos por estado IBS en machos del biotipo Saanen (n = 55).

Parámetro	Estimación
No. Obs	139 128
Mínimo	0.60005
Máximo	0.88872
1 Q	0.65481
3 Q	0.66605
Media	0.66270
Mediana	0.66040
Varianza	0.00028
EE Media	0.00004
No. Obs: número de observaciones	

Análisis de estructura

La Figura 3 muestra un dendrograma de estimación fenética de las poblaciones suizas y costarricenses, la porción del árbol amplificada corresponde a los machos Saanen de Costa Rica. La ubicación en la porción central sugiere que ambas fuentes comparten ancestros en común. La validación cruzada indicó un número óptimo de conglomerados de $K = 10$. No se encontraron patrones discriminantes de conglomerados dentro de la población de Costa Rica (Figura 4), ello fue consistente con la alta probabilidad IBS.

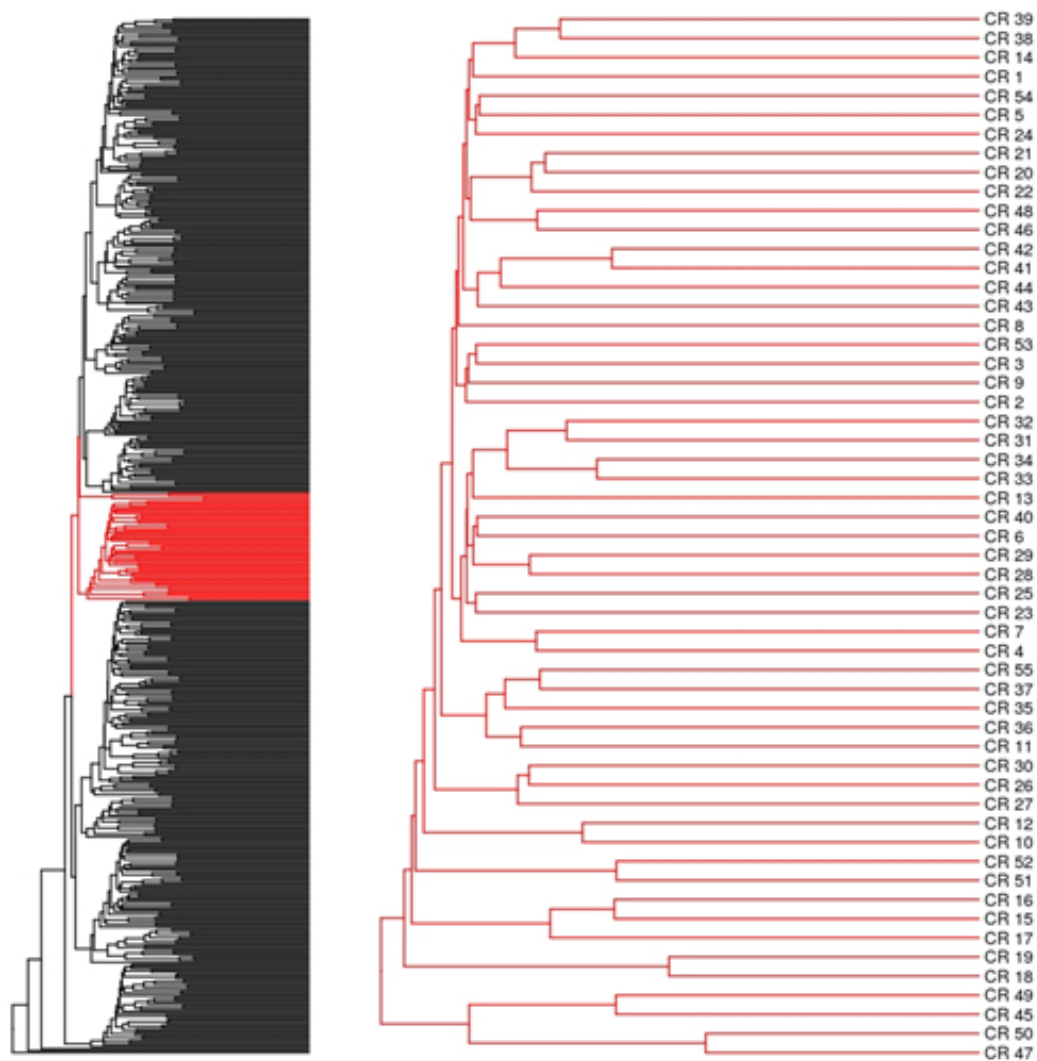


Figura 3. Dendrograma de agrupamiento jerárquico. Relación fenética entre la población de machos Saanen (n = 55) (gris, zoom) y las poblaciones de cabras lecheras de origen suizo (n = 473).

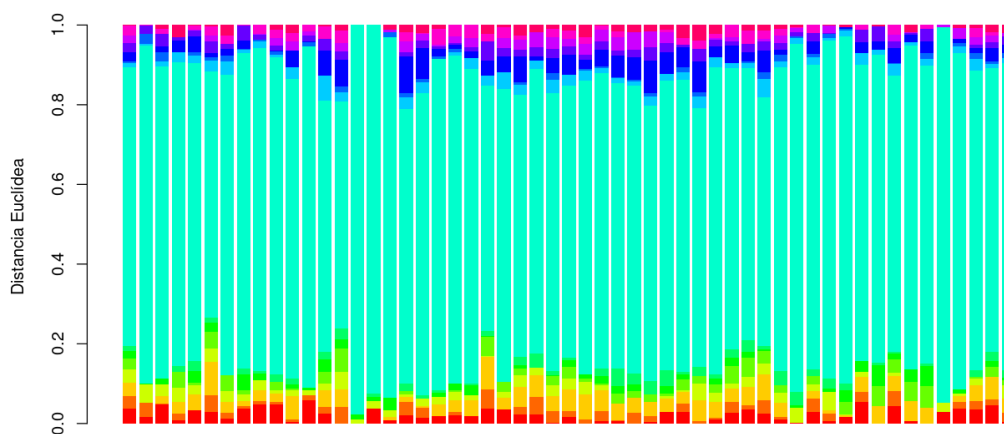


Figura 4. Análisis de estructura poblacional (ADMIXTURE) por ancestría de la población de machos Saanen ($n = 55$). Número óptimo de agrupaciones ($K = 10$) determinado por el menor error de validación cruzada. Cada columna representa un individuo.

Discusión

Con respecto al estado sanitario, se determinó que el 100% de los machos reproductores fueron libres a Brucelosis, mientras que el 49% de ellos resultaron positivos a VAEC. Dicho valor es menor (61.2%) a lo reportado por Fallas et al., (2009) para hatos de pie de cría en Costa Rica. Las probabilidades de infección del VAEC se incrementa en 54%, 4% y 2%, por cada aumento en un mes de vida del animal, por el aumento de un animal en el hato y por el no uso de la identificación animal individual, respectivamente.

Además, la probabilidad observada por efecto del incremento en la edad y por aumento de individuos en el hato, es coincidente con lo reportado para caprinos lecheros por diversos autores (Al-Qudah et al., 2006; Cutlip, 1992; Nyi et al., 2011; Norouzi, et al., 2015 y Kaba et al., 2013). La presencia de VAEC en hatos grandes (> 45 animales) puede deberse al estrecho contacto entre los animales y a la falta de condiciones sanitarias (Ghanem et al., 2009; Barquero et al., 2013; Tu et al., 2017; Thlama et al., 2021). El resultado asociado a la no implementación de la práctica de identificación física de los animales es coherente con lo reportado por otras investigaciones donde se observó una frecuencia más alta (65%) de animales con VAEC en fincas que no implementan dicha práctica (Mesquita de Sousa et al., 2019). Lo anterior se podría asociar con una deficiente gestión de la administración en la

unidad productiva, lo que repercute directamente sobre la sustentabilidad del recurso animal y refuerza la importancia de los registros zootécnicos para la toma de decisiones (Hale y Coffey, 2012; Chacón y Mora, 2019).

La diferencia en el tamaño de la CE, de acuerdo con Susilawati et al., (2020), es afectada por factores como el biotipo, peso, edad, alimentación y época estacional. Contreras et al., (2021), sugieren que la CE en caprinos lecheros debe ser mayores a 30 cm, este criterio se cumplió para los individuos de tipo Saanen (32.74 ± 2.56), La Mancha (33.00 ± 1.41) y Nubiano (30.55 ± 1.62). Perumal (2014) indicó que la magnitud de 30 cm de CE se encuentra significativamente correlacionada con la concentración espermática. Por ello, los testículos son los principales órganos de reproducción de los machos. Las medidas testiculares han sido la característica más utilizada para predecir la eficiencia reproductiva de un macho, ya que están directamente relacionadas con la producción, la cantidad y calidad seminal (Ramírez et al., 2016), además de influir positivamente en la mejora de la precocidad de las hijas lo que lo convierte en un criterio de selección de muy fácil aplicación (Puente, Covelo, Tartaglione, 2022).

El análisis de la capacidad corporal muestra deficiencias en los rasgos de fortaleza, estatura y angulosidad. Esto sugiere que son animales con bajas características lecheras y capacidad de producción (Ruíz, 2008). Los rasgos asociados a la grupa mostraron que los animales poseen poca inclinación y estrechez del anca lo que podría asociarse a problemas de distocia (Wall et al., 2005). La estructura de los miembros pélvicos fue la categoría más favorable, ya que al poseer un ángulo intermedio permite un adecuado espacio para la ubre y beneficia que el animal llegue a tener varios periodos de lactancias (Macas et al., 2021). La categoría de ubre muestra rasgos favorables como el diámetro de pezones, la vista lateral de la ubre caudal y la profundidad de la ubre. Sin embargo, presenta deficiencias en los rasgos de implantación de pezones (vista caudal), inserción craneal de la ubre, altura de la inserción caudal de la ubre y arco caudal de la ubre. Lo anterior sugiere que son animales con ubres angostas y de inserciones débiles que presentan mayor tendencia a descolgarse, generando problemas relacionados con dificultad de parto, de ordeño y están predispuestas a mastitis (Ruíz, 2008; Plummer y Lindquist, 2021).

El estudio aporta información acerca del comportamiento de las frecuencias alélicas y permiten comprender fenómenos, como por ejemplo la magnitud de la variabilidad. En Costa Rica y en general en Centroamérica, los recursos genéticos caprinos han sido poco cuantificados (Martínez et al., 2020). En una investigación reciente, Paim et al., (2019) analizaron 244 genotipos provenientes de 12 poblaciones de cabras entre ellas animales criollos y otros de biotipos especializados en producción de leche y fibra, con origen de Estados Unidos de América, Costa Rica, Brasil y Argentina. En dicho estudio, se reportó la diversidad genética y la estructura poblacional, documentando la migración de las cabras al “nuevo mundo”. En general, los autores sugieren que los caprinos del continente americano, muestran una alta diversidad genética y que ésta puede ser utilizada para la selección, así como también para promover la adaptación ambiental o sus especializaciones. En específico los autores siguieron que los animales tipo Saanen originarios de Costa Rica presentaron una baja selección artificial y déficit de heterocigosidad.

El presente estudio no identificó patrones de agrupamiento, lo que es consistente con la alta probabilidad IBS detectada (0.66). El estudio de la estructura de población conjunto a la diversidad genética permite afirmar que la población de individuos de tipo Saanen no presenta variabilidad. No es posible distinguir grupos dentro de la misma y aunque no se muestran patrones en común con las otras poblaciones, el diagrama de árbol sugiere que las cabras del biotipo Saanen se agrupan, no obstante, no poseen la suficiente correlación como para desagregarse entre ellas. Sin embargo, la cantidad de información genotípica y de genealógica disponible es todavía limitada. La sucesiva recopilación de más datos y la posterior validación de los resultados en futuros estudios es algo necesario.

Conclusiones

No se identificó la presencia de *Brucella Abortus* en machos reproductores, por el contrario el 49% de ellos si resultaron positivos a VAEC, donde esta se incrementa en 54%, 4% y 2%, por cada aumento en un mes de vida del animal, por el aumento de un animal en el hato y por el no uso de la identificación animal individual, respectivamente.

Los machos reproductores no presentaron problemas de CE, mostrando valores mayores a lo esperado (30 cm).

Las hembras cruzas mostraron problemas de funcionalidad. En general la capacidad corporal de todas las hembras estuvo 39.5 puntos por debajo del ideal (135), donde los rasgos con mayor problemas fueron la angulosidad (carácter lechero) y estructura. Con respecto a la grupa, el rasgo con mayor deficiencia fue el ancho, seguido del ángulo. Finalmente, en la categoría de ubre se identificaron problemas en la implantación de pezones, inserción y altura de la ubre.

Con respecto a la estructura poblacional, no se identificaron patrones de agrupamiento, lo que es consistente con la alta probabilidad IBS detectada (0.66) y a su vez se asocia con una baja variabilidad genética para el caso del biotipo Saanen.

Aprobación ética y consentimiento para participar

Esta investigación experimental en caprinos ha sido aprobada por la Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO) de Costa Rica, de acuerdo con la legislación para la manipulación de la biodiversidad (resolución número R-CM-UNA-006-2018-OT-CONAGEBIO).

Referencias

- Abba, A., Mustapha, A., Bamanga, U., Ilyasu, D., Peter, I., Asuku, S., Stephen, J., y Waziri, M. (2021). Pelvic and Testicular Biometry of Sahel Goats in Maiduguri, Nigeria. *Sahel Journal of Veterinary Sciences*, 18(1), 1-5.
- Alexander, D., Novembre, J., y Lange, K. (2009). Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*, 19:1655–1664.
- Al-Qudah, K., Al-Majali, A., y Ismail Z. (2006). Epidemiological studies on caprine arthritis-encephalitis virus infection in Jordan. *Small Ruminant Research*, 66 (2006), 181–186.

- American Dairy Goat Association. (2019). Linear Appraisal System For Dairy Goats.
- Bocali, M., y Kucuk, M. Various Body Measurements of Saanen. *Veteriner Fakultesi Dergisi*, 23(1), 23-28.
- Barquero, N., Gomez, E., Arjona A., Toural C., Las Heras, A., Fernández, J., y Domenech, A. (2013). Evolution of Specific Antibodies and Proviral DNA in Milk of Small Ruminants Infected by Small Ruminant Lentivirus. *MPDI*, 5(10), 2614-2623.
- Burren, A., Neuditschko, M., Singner-Hasler, H., Frischknecht, M., Reber, I., Menzi, F., Drögemüller, C., y Fluty, C. (2017). Genetic diversity analyses reveal first insights into breed-specific selection signatures within Swiss goat breeds. *Animal Genetic*, 47(6), 727-739.
- Chacón, A., y Mora, D. (2019). Caracterización técnica, productiva y comercial de las Mipymes lácteas caprinas en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 13(2): 20-53.
- Chaverri, L., Jiménez, E., y Camacho, I. (2015). Proyecto de Mejoramiento Genético Mediante Reproducción Asistida de Rumiantes Menores. *Perspectivas Rurales. Nueva época*, 14(27), 149-157.
- Contreras, C., Olivares, C., López, L., y Torres, C. (2021). Manejo y recomendaciones durante el encaste en caprinos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, informativo N°99.
- Cordero, R. (2012). Especies menores: cabras. Universidad Estatal a Distancia.
- Cutlip, R., Lehmkuhl, H., Sacks, J., y Weaver, A. (1992). Prevalencia de anticuerpos contra el virus de la encefalitis de la artritis caprina en cabras en los Estados Unidos. *Revista de la Asociación Médica Veterinaria Estadounidense*, 200 (6), 802–805.
- Dryad. (2023). Data from: Genetic diversity analyses reveal first insights into breed-specific selection signatures within Swiss goat breeds. <https://doi.org/10.5061/dryad.q1cv6>

- Fallas, D., Dolz, G., Jiménez, C., Montero, J., Prendas, J., y Romero, J. (2009). Epidemiología de la artritis encefalitis caprina en hatos caprinos lecheros de Costa Rica. *Revista Ciencias Veterinarias*, 27(2).
- Fonseca, J., Santos, B., Santos, R., Souza, L., Moura, L., Silva, T., y Fonseca, C. (2018). Correlações entre medidas corporais com o peso vivo em caprinos jovens: Resultados Preliminares. *Congresso Brasileiro de Zootecnia*.
- Fuse, H., Takahara, M., Ishii, H., Sumiya, H., y Shimazaki, J. (1993). Measurement of testicular volume by ultrasonography. *International Journal of Andrology*, 13(1), 267–272.
- Ghanem, Y., El-Khodery, S., Saadc, A., Elragabyc, S., Abdelkader, A., y Heybe, A. (2009). Prevalence and risk factors of caprine arthritis encephalitis virus infection (CAEV) in Northern Somali. *Small Ruminant Research*, 85 (2009), 142–148.
- Grimaldo, E., Duarte, G., Hernández, H., Flores, J., Delgadillo, J., y Vielma, J. (2020). La presencia de cabras en estro mejora la actividad sexual en los machos en reposo sexual estacional. *Agrociencia*, 54(1), 31-42.
- Hale, M., y L, Coffey. (2012). Tips for Marketing Sheep and Goat Products: Dairy. INCATATTRA. p. 2.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2022). Departamento de Información Meteorológica.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2014). VI Censo Nacional Agropecuario 2014. Resultados Generales.
- Jiménez, E., Chaverri, L., Camacho, M., Alpízar, A., y Jiménez, J.P. (2017). Generando capacidades para el fortalecimiento de caprinocultores de la Cooperativa de Productores de Leche de Cabra de la Región Norte de Costa Rica.
- Johnson, L., Petty, C., y Neaves, W. (1981). A new approach to quantification of spermatogenesis and its application to germinal cell attrition during human spermiogenesis. *Biology of Reproduction*, 25(1), 217–226.

- Kaba, J., Czopowicz, M., Ganter, M., Nowicki, M., Witkowski, L., Nowicka, D., y Szalus-Jordanow. (2013). Risk factors associated with seropositivity to small ruminant lentiviruses in goat herds. *Research in Veterinary Science*, 94 (2013).
- Lin, C., Huang, W., y Chen, K. (2009). Measurement of testicular volume in smaller testes: How accurate is the conventional orchidometer? *Journal of Andrology*, 30(6), 685–689.
- Lukusa, K., y Lehloenya, K. (2017). Selenium supplementation improves testicular characteristics and semen quality of Saanen bucks. *Small Ruminant Research*, 151. 52-58.
- Macas, G., Proaño, F., Andino, P., y Alban, L. (2021). Comparacion del volumen aparente de la ubre, frente a la cantidad de leche producida por vacas Holsteins Mestizas, en el canton Chambo. *AlfaPublicaciones*, 3(1), 140-151.
- Mahecha, L., Angulo, J., y Manrique, L. (2002). Estudio bovimetrico y relaciones entre medidas corporales y el peso vivo en la raza Lucerna. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 80-97.
- Martínez, D., Villagómez, J., Hernández, S., Peniche, A., Pardío, V., Torres, F., Huerta, J., Morales, J., y Flores, R. (2020). Seroprevalence and risk factors for Caprine Arthritis-Encephalitis in the state of Veracruz. Mexico. *Agrociencia*, 54, 15-29.
- Mesquita de Sousa, M., Andrioli, A., Rizaldo, R., Selmo, F., Warlington, V., Marques, E., Furtado, J., Madeira de Sousa, A., y da Silva, L. (2019). An epidemiological study of caprine arthritis encephalitis virus (CAEV) in breeder goats from Northeastern Brazil. *Semina: Ciências Agrárias Londrina*, 40(5), 1857-1866.
- Norouzi, B., Taghavi, A., Azizzadeh, M., Mayamee, A., y Nezhad, V. (2015). Serological study of small ruminant lentiviruses in sheep population of Khorasan-e-Razavi province in Iran. *Veterinary Research Forum*, 6(3), 245-249.
- Nyi, T., Ngarmkum, S., Oraveerakul, K., Virakul, P., y Techakumphu, M. (2011). Seroprevalence and Risk Factors Associated with Caprine Arthritis-Encephalitis

- Virus Infection in Goats in the Western Part of Thailand. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 41(3), 353-360.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). La Situación de los Recursos Zoogenéticos Mundiales para la Alimentación y la Agricultura. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). Phenotypic characterization of animal genetic resources volume 11 of FAO Animal Production and Health Guidelines.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). FAOSTAT: cultivos y producción de ganadería.
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2018). Manual Terrestre de la OIE: Artritis/Encefalitis Caprina y Maedi-Visna.
- Paim, T., Faria, D., Hay, E., McManus, C., Lanari, M., Chaverri, L., Cascante, I., Jimenez, E., Mendez, A., Faco, O., Silva, K., Mezzadra, C., Mariante, A., Rezende, S., y Blackburn, H. (2019). New world goat populations are a genetically diverse reservoir for future use. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
- Pariacote, F., Ruiz, L., Ascencao, D., Borges, C., y Pimentel, X. (2007). Características morfológicas del caprino Criollo venezolano. *Arco, Latinoam, Pinchar, Animación*, 12 (1), 16-21.
- Perumal, P., (2014). Scrotal circumference and its relationship with testicular growth. age and body weight in tho (bos indicus) bulls. *Indian J. Anim. Sci.*, 83, 1074-1077.
- Plummer, P., y Lindquist, T. (2021). Evaluating the Welfare of Small Ruminants. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 31(2021), 33-54.
- Puente, M., Covelo, I., y Tartaglione, M. (2022). Desarrollo testicular y su relación con la calidad seminal en caprinos cruza Anglo Nubian x Boes (Nubor). *Revista de Investigaciones Veterinarias de Peru*, 33(1).

- Pugh, D (ed), 2002. Sheep and goat medicine. 1st ed. W.B. Saunders Company. Philadelphia. USA.
- Purcell, S., Neale, B., Todd, K., Thomas, L., Ferreira, M., Bender, D., Maller, J., Sklar, P., Daly, M., y Sham, P. (2007). PLINK: A Tool Set for Whole-Genome Association and Population-Based Linkage Analyses. *American journal of human genetics*, 81(3), 559–575.
- Ramírez, C., Rugeles, C., y Vergara, O. (2016). Relation between testicular biometry and scrotal circumference in nelore young bulls in Brazil. *Revista Científica*, 26(1), 49-54.
- Ruíz. I. (2008). Valoración morfológica en ganado caprino lechero: cabra murciano-granadina. Centro de Selección y Mejora Genética de la Raza Caprina Murciano - Granadina.
- Salles, M., Neto, A., Vieira, M., Rodrigues, I., Rocha, D., Souza, P., y Araújo, A. (2020). Tropical climate induces seasonal changes in the reproductive parameters and hormonal profile of Saanen bucks. *Vet, arhiv*, 90 (3), 235-242.
- Servicio Nacional de Salud Animal de Costa Rica. (2019). Toma y envío de muestras para el diagnóstico de brucelosis bovina. <http://www.senasa.go.cr/>
- Smith, C. (1988). Breeding strategies for developing countries. *World Animal Review*, 65(2).
- Steffen, K., Arias, R., Gortari, L., y Moré, G. (2022). Relación del grado de FAMACHA®, la condición corporal y edad en la producción diaria de leche de cabras Saanen en la provincia de Buenos Aires. *Analecta Veterinaria*, 42(62).
- Stoycheva, S., Zunev, P., y Bancheva, T. (2021). Characteristics of the onset of puberty in male kids of three breeds. *Trakia Journal of Sciences*, 1, 63-69.
- Susilawati, T., Sholikah, N., Wahjuningsih, S., Herwiyanti, E., y Puspita, A. (2020). Relationship of Scrotal Circumference with Spermatozoa Production in Various

- Breed of Indonesian Local Bulls. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 15(2), 102-107.
- Tempesta, M. (2007). Recent Advances in Goat Diseases. *Antiviral Research*, 74(2), 138-141.
- Thlama, B., Abdirahman, H., Najwa, N., Lim, E., Firsaus, F., Azmi, M., Wahid, A., Che, A., Abba, Y., Maqbool, A., Rehman, K., Mat, K., Azhar, N., Naji, M., Umar, I., y Jefri, M. (2021). Further Insights Into Caprine Arthritis Encephalitis (CAE): The Current Status of Seroprevalence Among Small Ruminants in Two Selected States of Peninsular Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*, 32(2), 83–96.
- Tu, P., Shiau, J., Lai, F., Yang, S., y Wang, P. (2017). Diagnostic tests for caprine arthritis-encephalitis virus (CAEV) infection. *Journal of Rare Diseases Research and Treatment*, 2(5), 13-17.
- Villagra, R., Dolz, G., Solorzano, A., Alfaro, A., Montero, D., y Romero, J. (2015). Presence of Maedi-Visna in Costa Rican sheep flocks. *Small Ruminant Research*, 124(2015), 132-136.
- Wall, E., White, I., Coffey, M., y Brotherstone, S. (2005). The Relationship Between Fertility, Rump Angle, and Selected Type Information in Holstein-Friesian Cows. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1521-1528.