Agronomía Mesoamericana

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Artículo científico
Volumen 36: Artículo 61142, 2025
e-ISSN 2215-3608, https://doi.org/10.15517/am.2025.61142
https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index

Efectos genéticos y ambientales sobre la producción de cabras lecheras bajo condiciones tropicales semi-intensivas*

Genetic and environmental effects on production of dairy goats under semi-intensive tropical conditions

Jorge A. Campos-Alfaro[1], Bernardo Vargas-Leitón[2], Andrés H. Alpízar-Naranjo[1], José E. Padilla-Fallas[1], M. Isabel Camacho-Cascante[3]

* Recepción: 14 de agosto, 2024. Aceptación: 14 de octubre, 2024. Proyecto respaldado por el Programa Producción Sostenible de Rumiantes Menores de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

[1] Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia, Costa Rica. jorge.campos.alfaro@una.cr (autor para correspondencia, https://orcid.org/0009-0004-7316-760X), andres.alpizar.naranjo@una.cr (https://orcid.org/0000-0002-9612-4918), jose.padilla.fallas@una.cr (https://orcid.org/0000-0003-3593-640X).

[2] Universidad Nacional, Escuela de Medicina Veterinaria. Heredia, Costa Rica. bernardo.vargas.leiton@una.cr (https://orcid.org/0000-0002-1778-9672)

[3] Independiente. Costa Rica. mcamacho517@yahoo.es (https://orcid.org/0000-0002-7339-0666).

Resumen

Introducción. El estudio de los factores que afectan el rendimiento productivo de las cabras lecheras bajo condiciones tropicales es esencial para lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles. **Objetivo.** Cuantificar el impacto de factores genéticos y ambientales que afectan el rendimiento productivo de cabras lecheras bajo condiciones tropicales semi-intensivas. **Materiales y métodos.** La investigación se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. El periodo experimental se extendió desde enero 2007 hasta diciembre de 2023. Se analizaron 15 686 registros diarios de pesaje de leche, en 191 cabras lecheras de tipos raciales Saanen (S) y Saanen×Toggenburg (S×T). Se utilizó un modelo lineal mixto generalizado para evaluar el efecto de las distintas variables predictoras sobre la producción diaria de leche, y se ajustaron curvas de lactancia estándares para distintas condiciones genético-ambientales mediante la función Wood. **Resultados.** Se determinaron efectos altamente significativos ($p < 0{,}001$) de las variables número de parto, año de parto, semana de lactancia, categoría de padre, número de crías, época y mes de parto sobre la producción de leche. Para cabras primerizas de razas S y S×T paridas en la época lluviosa se estimaron picos de producción diaria de 2,46 y 2,54 kg, alcanzados en las semanas 6,4 y 5,9, y persistencias al finalizar las lactancias de 86 y 84 %, respectivamente. **Conclusiones.** Ser cabras multíparas y disponer de alimentos con un mayor contenido nutricional durante la época lluviosa fueron factores asociados a una mayor producción de leche. Las curvas de lactancia evidenciaron patrones distintos en la producción de leche entre cabras primerizas y multíparas, así como entre las distintas épocas de parto y tipos raciales. El estudio proporciona información valiosa para validar a nivel comercial y optimizar el manejo de cabras lactantes en condiciones tropicales semi-intensivas.

Palabras clave: curvas de lactancia, número de parto, época de parto, pico de producción.

© 2025 Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

Abstract

Introduction. The study of factors affecting the productive performance of dairy goats under tropical conditions is essential for optimal resource utilization. **Objective.** To quantify the impact of genetic and environmental factors affecting the productive performance of dairy goats under semi-intensive tropical conditions. **Materials and methods.** The research was conducted at the Finca Experimental Santa Lucía of the Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. The experimental period spanned from January 2007 to December 2023. A total of 15,686 daily milk yield records were analyzed from 191 dairy goats of Saanen (S) and Saanen×Toggenburg (S×T) breed types. A generalized linear mixed model was used to evaluate the effect of various predictor variables on daily milk yield, and standard lactation curves were fitted for different genetic and environmental conditions using the Wood function. **Results.** Highly significant effects ($p < 0.001$) were determined for parity number, year of kidding, lactation week, buck category, number of offspring, season, and month of kidding on milk yield. For primiparous goats of S and S×T breeds kidding in the rainy season, peak daily milk yields of 2.46 and 2.54 kg were estimated, reached at weeks 6.4 and 5.9, with persistencies at the end of lactation of 86 % and 84 %, respectively. **Conclusions.** Multiparous status and access to feed with higher nutritional content during the rainy season were factors associated with higher milk yield. Lactation curves revealed different patterns in milk production between primiparous and multiparous goats, as well as among different kidding seasons and breed types. The study provides valuable information for commercial validation and optimization of lactating goat management under semi-intensive tropical conditions.

Keywords: lactation curves, parity number, kidding season, peak yield.

Introducción

Las cabras, por su capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales, se distribuyen alrededor del mundo (Lund & Ahmad, 2021). Este atributo las posiciona como un valioso recurso en la nutrición humana, al ser consideradas una fuente significativa de proteína de origen animal (Hokmollahi & Ehsani, 2020). En Costa Rica, la producción de leche caprina emerge como una de las actividades pecuarias con mayor crecimiento, que registró para el año 2022 un incremento del 19 % en comparación con el 2019 (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, 2023).

Los sistemas caprinos a nivel local son de pequeña escala, manejados en el 83,25 % de los casos por hombres que cuentan con un nivel educativo medio (Barboza Mora et al., 2020). Las razas más utilizadas son Saanen y Toggenburg, presentes en el 48 % y el 25 % de las fincas, respectivamente; aunque se utilizan con mayor frecuencia los cruces que las razas puras (Chacón-Villalobos & Mora-Valverde, 2017). Las razas Saanen y Toggenburg son dos de las ocho principales razas de caprinos que se encuentran distribuidas en todo el mundo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007). Es fundamental estudiarlas en diversos sistemas de manejo y en diferentes latitudes.

En el sureste de Brasil, Lôbo et al. (2017) evaluaron el rendimiento lechero de estas razas bajo un entorno de clima tropical, y encontraron que la producción diaria de leche fue de 3,1 kg para Saanen y 2,6 kg para Toggenburg. Resultados similares fueron reportados por Bidot (2013) en condiciones semi-intensivas, con producciones de 3,4 kg y 3,3 kg por día para Saanen y Toggenburg, respectivamente. En otra investigación se obtuvieron producciones diarias de 4,4 kg, 4,9 kg y 4,5 kg para Saanen, Toggenburg y mestizas, respectivamente (Rangel et al., 2012).

El estudio y caracterización de la curva de lactancia es de suma importancia para los sistemas de producción caprinos, ya que provee información crucial sobre la dinámica de la producción de leche a lo largo del tiempo

(Martinez et al., 2018). La curva de lactancia permite además obtener información sobre el pico de producción, la persistencia o la producción total de leche (Masselin et al., 1987). Esta información puede ser utilizada por los productores para implementar ajustes efectivos en el manejo de las cabras, adaptar la dieta según las necesidades y planificar la reproducción según el desempeño productivo, con el objetivo de mantener una producción constante de leche (León et al., 2012).

Existen diferentes factores que pueden afectar la producción de leche y el comportamiento de la curva de lactancia (Calvo Cardona et al., 2015). Algunos son genéticos, como la raza y el pedigrí; otros son intrínsecos del animal, como la edad, el número de parto o el tipo de nacimiento; mientras que otros son de tipo ambiental, como la nutrición, el año y la época de parto (Gaddour et al., 2009). Aun con su influencia en el desempeño productivo, muchos de los sistemas de producción caprina en América Latina no supervisan ni registran la producción láctea, lo que implica que los parámetros de la curva de lactancia no sean utilizados en la mejora animal (Pesantez et al., 2023).

En el sector caprino en Costa Rica se reporta un bajo uso de tecnologías reproductivas y un registro de datos limitado; solo el 19 % de los productores recopilan información sobre la producción de leche por animal (Chacón-Villalobos & Mora-Valverde, 2017). Esto implica una limitante para la toma de decisiones informadas. A su vez, los esfuerzos gubernamentales en el sector se han centrado en mejorar aspectos como los forrajes, las técnicas de reproducción, la sanidad y la industrialización, lo que genera oportunidades de investigación en otras áreas que podrían tener un impacto mayor en el sector.

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el impacto de factores genéticos y ambientales que afectan el rendimiento productivo de cabras lecheras bajo condiciones tropicales semi-intensivas.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) de la Universidad Nacional, ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia. El periodo experimental se extendió desde enero 2007 hasta diciembre de 2023. La finca se encuentra en las coordenadas geográficas de 10º 1' 20" de latitud norte y 84º 06' 45" de longitud oeste, a una altitud de 1250 m s. n. m. Este lugar presenta un clima caracterizado por dos épocas: una seca, de diciembre a abril, y otra lluviosa, de mayo a noviembre; una precipitación anual promedio de 2371 mm; una humedad relativa del 78 %, y una temperatura media anual de 21,5 ºC, con máximas de 29,9 ºC y mínimas de 9,4 ºC (Instituto Meteorológico Nacional, 2017).

Fuente de información

La información analizada se obtuvo de la base de datos generada por el Programa de Producción Sostenible de Rumiantes Menores y almacenada en el *software* Ovinca versión 10 (USATI LTDA, 2021). En el estudio se incluyeron los controles lecheros realizados desde el 1 de enero de 2007 hasta el 31 de diciembre de 2023.

Se analizaron 15 686 registros de pesaje de leche diario correspondientes a 432 lactancias, terminadas o en progreso, de 191 cabras lecheras entre el primer y cuarto parto. Se contó con 136 cabras (*Capra aegagrus hircus)* de la raza Saanen y 55 cabras híbridas Saanen×Toggenburg en etapa productiva. Se consideraron los pesajes de leche realizados entre los días 5 y 305 de lactancia, con producciones de leche comprendidas entre 0,2 y 6,0 kg.

Los días de lactancia se categorizaron por semana (1 hasta 44) mediante redondeo al valor próximo superior. Además de la producción de leche, se registraron otras variables complementarias de interés, como la raza de las

hembras, la fecha y la época de parto (seca o lluviosa), el número de parto, la semana de lactancia, el número de crías y el método de servicio (monta natural o inseminación artificial).

Prácticas de manejo

Las cabras lactantes fueron ordeñadas a máquina dos veces al día, a las 6:00 y 16:00 horas, con prácticas de manejo estándares durante el ordeño. Los registros de la producción de leche por cabra y día se efectuaron cada semana por medio de medidores de leche, con una precisión de 1,3 %. Después del parto, las cabras se mantuvieron junto a sus crías durante los primeros cinco días y se incorporaron al proceso de ordeño al sexto día, mientras que las crías se manejaron mediante crianza artificial con sustituto de leche.

El manejo de los animales se llevó dentro de un sistema semi-intensivo, donde se les permitió el pastoreo libre en potreros de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) por las mañanas por un tiempo aproximado de 6 h, mientras que durante el resto del día permanecían confinadas. Como parte de su alimentación, las cabras recibieron suplementos en canoa de forma alternada, compuestos por *king grass* (*Pennisetum purpureum*), botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y morera (*Morus alba*). Durante la época seca, se suministró suplementación con paca de Transvala (*Digitaria decumbens*), ensilaje de sorgo forrajero (*Sorghum almum*) o maíz (*Zea mays*) y melaza de caña de azúcar. Además, se les proporcionó alimento concentrado en una relación de 1:3 con respecto a la producción de leche, así como libre acceso a agua y minerales.

El servicio de las cabras se realizó a través de monta natural en el 92 % de los casos, mientras que el restante 8 % se llevó a cabo mediante inseminación artificial. La detección de la preñez se efectuó en su mayoría mediante el empleo de ultrasonido vía transrectal. Para determinar el momento de los servicios, se manejó como criterio que las hembras adultas alcanzaran como mínimo los 205 días abiertos, mientras que las primerizas debían contar con un peso mínimo de 35 kg y una edad superior a los ocho meses para recibir su primer servicio.

Se implementaron desparasitaciones en los animales, basadas en los resultados mensuales de cargas parasitarias, estimadas mediante la técnica de McMaster modificada (Roberts & O'sullivan, 1950). Se estableció como criterio para la desparasitación cargas superiores a 800 huevecillos por gramo de heces. El hato se ha mantenido libre del virus de artritis encefalitis caprina (VAEC) desde el año 2016. Además, se llevaron a cabo controles sanitarios periódicos para asegurar que el hato permaneciera libre de brucelosis y tuberculosis.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico exploratorio que incluyó el cálculo de medidas de tendencia central y dispersión, así como la construcción de tablas de frecuencia. Mediante este análisis se llevó a cabo una caracterización general de la muestra analizada y se detectaron posibles datos erróneos. Luego se utilizó la técnica de modelos lineales mixtos generalizados (GLMM) (Gbur et al., 2012) para evaluar el efecto de las distintas variables predictoras de tipo genético y ambiental sobre la producción diaria de leche. El modelo se ajustó por medio del procedimiento *glimmix* del programa SAS (Statistical Analysis System [SAS], 2022), y se describe en la ecuación 1.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + N_j + C_k + P_l + A_m + E_n + M_o + S_p + (R \times S)_{ip} + \varepsilon_{ijklmnop} \quad (1)$$

Donde, Y = producción diaria de leche (kg); μ = intercepto; R_i = efecto fijo ligado al tipo racial (2 clases: Saanen y Saanen ×Toggenburg); N_j = efecto fijo del número de parto (4 clases: parto 1 hasta parto 4); C_k = efecto fijo del número de crías (2 clases: simple o múltiple); P_l = efecto fijo del método de servicio (2 clases: monta natural o inseminación artificial); A_m = efecto fijo del año de parto (16 clases: <= 2008 hasta 2023); E_n = efecto fijo de época de parto (2 clases: seca, diciembre a abril; lluviosa, mayo a noviembre); M_o = efecto fijo del mes de parto

ISSN 2215-3608 https://doi.org/10.15517/am.2025.61142

(12 meses en 2 épocas); S_p = efecto fijo de la semana de lactancia, $(R\times S)_{ip}$ = efecto fijo vinculado a la interacción entre grupo racial y semana de lactancia (2 razas × 44 semanas), y $E_{ijklmnop}$ = error residual, en el que se incorporó la correlación entre registros productivos de una misma lactancia en una misma cabra, con estructura de covarianza estimada a partir de los mismos datos.

El modelo anterior se ajustó bajo el supuesto de distribución Normal de la variable analizada, con función de enlace identidad. El coeficiente de determinación (R^2) del modelo ajustado se estimó mediante el macro *RsquareV* (Zhang, 2017). Para las variables con efecto significativo ($p < 0,05$) se procedió a realizar comparación de medias de mínimos cuadrados mediante la prueba de Tukey-Kramer (Daniel & Cross, 2019).

A partir de los coeficientes de regresión obtenidos del modelo anterior, por medio del procedimiento *plm* (SAS, 2022), se estimaron valores predichos de producción diaria en lactancias agrupadas por distintas combinaciones de las variables predictoras grupo racial, número de parto y época de parto. Estos valores predichos fueron luego ajustados a la función Wood ($a^{tb}(e^{-ct})$) (Wood, 1967) mediante el procedimiento *nlin* (SAS, 2022). En el proceso de ajuste se utilizó el algoritmo iterativo Gauss-Newton, con un criterio de convergencia definido como un cambio menor a 10^{-8} en la suma de cuadrados residual entre iteraciones sucesivas.

La bondad de ajuste de las curvas generadas se evaluó mediante los estadísticos de R^2 y el error estándar de estimación. Además, se calculó el estadístico Durbin-Watson para evaluar la existencia de autocorrelación. A partir de los parámetros de ajuste a, b, c del modelo Wood, se estimaron otros parámetros de interés biológico relacionados con la curva de lactancia, tales como la producción al pico (PP) (ecuación 2) y la semana al pico de lactancia (SPL) (ecuación 3) (Gaddour et al., 2009). Se obtuvo también un estimado de persistencia de la lactancia, calculado como el cociente del promedio de producción diario de leche entre la producción al pico (Henao et al., 2017).

$$PP = a \times \left(\frac{a}{b}\right)^{b} \times exp^{(-b)} \qquad (2)$$

$$SPL = \frac{b}{c} \times \left(100 - \left(-(b + c)\right) \times log_{10}(c)\right) \qquad (3)$$

Resultados

Los promedios globales (± DE, desviación estándar) de producción diaria y días en lactancia fueron de 2,2 ± 0,81 kg con 141 ± 82 días, respectivamente. El 54 % de las lactancias evaluadas alcanzaron los 305 días completos, mientras que el restante 46 % correspondió a lactancias de duración inferior a este periodo, ya sea porque estaban en curso o se terminaron antes de tiempo.

Del total de registros, el 93 % pertenecían a cabras nacidas mediante monta natural, mientras que solo el 7 % eran de animales por inseminación artificial. El 52 % de los registros correspondieron a hembras que habían parido más de una cría, mientras que el 48 % restante correspondían a partos simples. El 46 % de los controles se realizaron en animales que parieron en febrero, noviembre o diciembre, lo que coincide con la época de mayor actividad reproductiva, que suele ser entre junio y octubre.

De acuerdo con los resultados obtenidos del GLMM se determinaron efectos altamente significativos ($p < 0,001$) sobre la producción de leche de las variables número de parto, año de parto, semana de lactancia, categoría de padre, número de crías, época de parto y mes dentro de la época de parto. No se encontraron efectos significativos ($p = 0,20$) de la raza o la interacción entre raza y semana de lactancia ($p = 0,83$). El ajuste general del modelo fue altamente significativo ($p < 0,001$) con un R^2 de 0,26.

Los promedios ajustados de producción diaria de leche para cada semana de lactancia fueron similares en ambos grupos raciales. Se observó una producción inicial cercana a los 2,3 kg en ambos grupos, con un incremento

paulatino hasta un máximo de 2,8 kg (Saanen) y 2,9 kg (Saanen × Toggenburg) en las semanas 7 u 8, para luego descender de manera progresiva hasta el final de la lactancia, con producciones alrededor de los 2 kg (Figura 1).

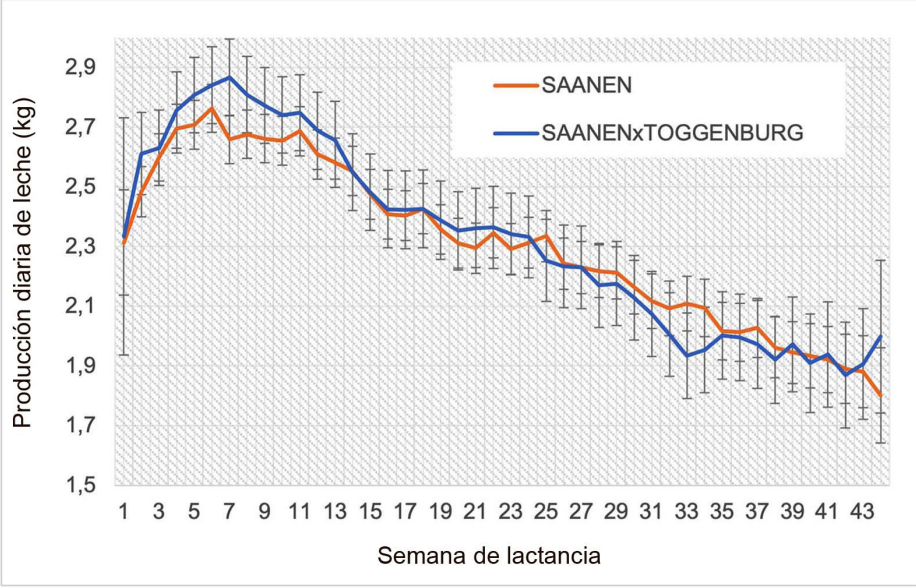

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados e intervalo de confianza del 95 % de la producción diaria de leche (kg) según semana de lactancia en cabras (*Capra aegagrus hircus*) Saanen y Saanen×Toggenburg bajo condiciones semi-intensivas. Costa Rica. Periodo 2007-2023.

Figure 1. Least squares means and 95 % confidence intervals of daily milk yield (kg) according to lactation week in Saanen and Saanen×Toggenburg goats (*Capra aegagrus hircus*) under semi-intensive conditions. Costa Rica. Period 2007-2023.

El promedio de producción registrado fue similar entre la raza Saanen y el cruce Saanen × Toggenburg ($p >$ 0,05). Con relación al número de parto, se observó una producción significativamente menor en la primera lactancia en comparación con las demás lactancias. La mayor producción se observó en la segunda y tercera lactancia, sin diferencias significativas entre ambas. Se observó una reducción significativa ($p < 0,05$) en la cuarta lactancia (Cuadro 1).

Hubo una tendencia creciente en la producción con respecto al año calendario. El mínimo se registró en las cabras paridas en 2008 y el máximo en las cabras paridas en 2020 (Cuadro 1). Las cabras hijas de machos de inseminación artificial mostraron una producción promedio significativamente mayor que las hijas de machos de monta natural. Las cabras con partos múltiples presentaron una producción significativamente mayor que las cabras con partos simples (Cuadro 1). Se constató, además, una variación significativa en la producción diaria de leche vinculada a la época y mes del parto. Durante la época de verano, la menor producción se registró en los meses de marzo y abril, y la mayor en diciembre. En época lluviosa, la menor producción se observó en setiembre y octubre, y la mayor en mayo y julio (Cuadro 1).

De acuerdo con los distintos criterios estadísticos evaluados, se obtuvo un ajuste satisfactorio del modelo Wood para lactancias agrupadas por grupo racial, número de lactancia y época de parto (Cuadro 2). Las curvas de lactancia ajustadas convergieron en todos los casos, con valores de R^2 que oscilaron entre 0,93 y 0,97, y errores de predicción menores al 3,04 %. El estadístico Durbin-Watson se mantuvo por debajo de la unidad, con valores que oscilaron entre 0,39 y 0,69, lo que indica la existencia de autocorrelación positiva entre los residuos.

Cuadro 1. Medias de mínimos cuadrados (MMC) e intervalos de confianza del 95 % para la producción diaria de leche (kg) de cabras (*Capra aegagrus hircus)* según raza, número de parto, método de servicio, época-mes y año de parto. Costa Rica. Periodo 2007-2023.

Table 1. Least squares means (MMC) and 95 % confidence intervals for daily milk yield (kg) of goats (*Capra aegagrus hircus)* by breed, parity number, service method, season-month, and kidding year. Costa Rica. Period 2007-2023.

Variable/Categoría	MMC	IC LI (95 %)	IC LS (95 %)
Raza			
Saanen	2,31	2,28	2,33
Saanen×Toggenburg	2,33	2,29	2,36
Parto			
1	2,15	2,12	2,18
2	2,40	2,37	2,44
3	2,40	2,36	2,43
4	2,32	2,28	2,36
Método de servicio			
IA	2,54	2,49	2,58
MN	2,10	2,08	2,12
Época-mes de parto			
Seca-Enero	2,36	2,31	2,41
Seca-Febrero	2,26	2,22	2,30
Seca-Marzo	2,12	2,08	2,16
Seca-Abril	2,11	2,06	2,15
Seca-Diciembre	2,43	2,39	2,47
Lluviosa-Mayo	2,57	2,49	2,64
Lluviosa-Junio	2,33	2,26	2,39
Lluviosa-Julio	2,53	2,46	2,61
Lluviosa-Agosto	2,35	2,29	2,40
Lluviosa-Setiembre	2,27	2,21	2,33
Lluviosa-Octubre	2,25	2,21	2,30
Lluviosa-Noviembre	2,35	2,31	2,38
Año de parto			
2008	1,56	1,43	1,69
2009	1,86	1,78	1,94
2010	2,11	2,02	2,20
2011	2,32	2,26	2,38
2012	2,33	2,28	2,39
2013	2,18	2,13	2,24
2014	2,37	2,32	2,42
2015	2,22	2,17	2,27
2016	2,39	2,34	2,43
2017	2,25	2,20	2,29
2018	2,54	2,50	2,59
2019	2,66	2,62	2,71
2020	2,73	2,68	2,78
2021	2,38	2,33	2,42
2022	2,62	2,58	2,67
2023	2,54	2,50	2,59

IC LI: Intervalo de confianza límite inferior; **IC LS:** Intervalo de confianza límite superior, **IA:** Inseminación artificial; **MN:** Monta natural. / **IC LI:** Confidence interval lower limit; **IC LS:** Confidence interval upper limit; **IA:** Artificial insemination; **MN:** Natural breeding.

Cuadro 2. Parámetros estimados de la curva de Wood, estadísticos de bondad de ajuste y parámetros biológicos asociados a la lactancia de cabras (*Capra aegagrus hircus*), según grupo racial (Saanen y Saanen×Toggenburg) en primera (1) o posteriores (2) lactancias, con época de parto lluviosa o seca y año de parto 2015. Costa Rica.

Table 2. Estimated parameters of the Wood curve, goodness-of-fit statistics, and biological parameters associated with goat (*Capra aegagrus hircus*) lactation, by breed type (Saanen and Saanen×Toggenburg) in first (1) or subsequent (2) lactations, with rainy or dry kidding season and kidding year 2015. Costa Rica.

Grupo racial	**Saanen**				**Saanen × Toggenburg**			
Lactancia	1	1	2	2	1	1	2	2
Época de parto	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
Parámetro a	2,26	1,84	2,51	2,10	2,35	1,92	2,61	2,19
Parámetro b	0,10	0,13	0,09	0,11	0,10	0,13	0,09	0,11
Parámetro c	0,016	0,020	0,014	0,018	0,018	0,023	0,016	0,019
SE a	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05
SE b	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
SE c ($\times 10^4$)	7	8	6	7	11	13	10	12
R^2	0,97	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	0,93	0,94
Error de predicción (kg)	0,037	0,035	0,037	0,036	0,061	0,058	0,063	0,060
Error de predicción (%)	1,73	2,07	1,57	1,85	2,86	3,37	2,62	3,04
Durbin-Watson	0,68	0,71	0,66	0,69	0,40	0,42	0,39	0,41
Producción 305 días (kg)	649	523	727	600	656	529	733	607
Semanas a pico	6,4	6,4	6,4	6,4	5,9	5,9	5,8	5,9
Producción a pico (kg)	2,46	2,05	2,72	2,31	2,54	2,14	2,79	2,39
Persistencia (%)	86	83	87	85	84	81	86	83

Para las demás variables predictoras incluidas en el modelo, se asumieron los siguientes valores fijos: método de servicio: monta natural; número de crías: 2; mes de parto: julio para la época lluviosa y marzo para la época seca. / For the remaining predictor variables included in the model, the following fixed values were assumed: service method: natural breeding; number of kids: 2; kidding month: July for the rainy season and March for the dry season.
SE: Error estándar. / **SE:** Standard error.

Las curvas de lactancia obtenidas evidenciaron patrones distintos en la producción de leche entre cabras primerizas y multíparas, así como entre las distintas épocas de parto y tipos raciales. En cabras primerizas con parto en época seca, la producción inicial fue menor (a = 1,84-1,92), con un aumento más rápido hacia el pico de producción (b = 0,13), seguido de una disminución posterior más pronunciada (c = 0,020-0,023) (Figura 2a). En cabras multíparas con parto en época lluviosa, la producción inicial fue mayor (a = 2,51-2,61), con un aumento más lento hacia el pico de producción (b = 0,09) y una disminución posterior más gradual (c = 0,014-0,016) (Figura 2b).

En todas las categorías evaluadas, la raza Saanen × Toggenburg obtuvo una producción inicial mayor (a = 1,92-2,61) que la Saanen (a = 1,84-2,51). Se observó un aumento en la producción similar para ambas razas, pero la reducción posterior al pico de producción fue mayor en el cruce (c = 0,016-0,023) que en los animales Saanen (c = 0,014-0,020). El error estándar mostró poca variación dentro de los parámetros de la curva; sin embargo, fue mayor en la raza Saanen×Toggenburg, donde se evaluó una menor cantidad de animales (Cuadro 2).

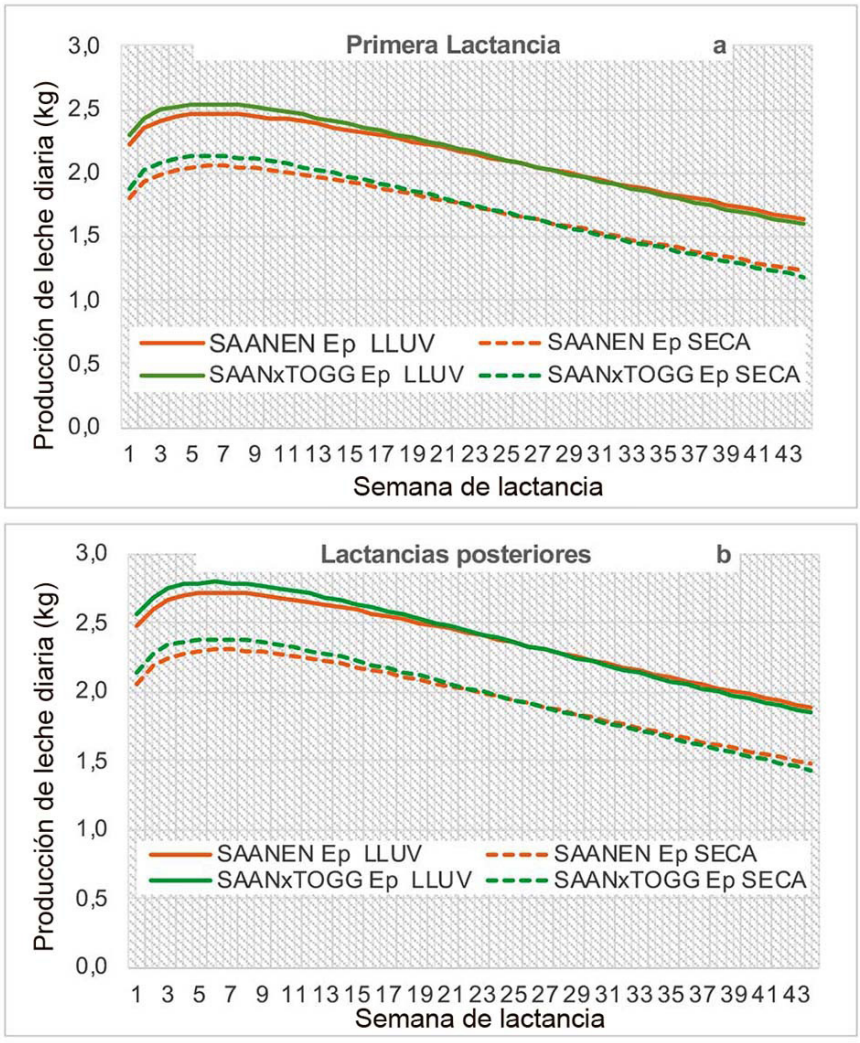

Figura 2. Curvas de lactancia de cabras (*Capra aegagrus hircus*) de razas Saanen y Saanen×Toggenburg (SANN×TOGG) de primera lactancia (a) o posteriores (b), con parto en época lluviosa (Ep LLUV) o época seca (Ep SECA) y año de parto 2015. Costa Rica.

Figure 2. Lactation curves of Saanen and Saanen×Toggenburg (SANN×TOGG) breed goats (*Capra aegagrus hircus*) for first (a) and subsequent (b) lactations, with kidding during rainy (Ep LLUV) or dry (Ep SECA) seasons, and kidding year 2015. Costa Rica.

En cuanto a la producción predicha de leche a los 305 días, se observaron diferencias entre razas, paridad y época de parto (Cuadro 2). Para el cruce Saanen×Toggenburg, se registró la mayor producción (733 kg) en hembras multíparas que parieron en época lluviosa, con un pico de producción temprano (5,9 semanas) y más elevado (2,79 kg). Por el contrario, la menor producción (523 kg) se observó en cabras Saanen primerizas con parto en verano, con un pico de producción más bajo y tardío (2,05 kg a las 6,4 semanas).

El porcentaje de persistencia de la lactancia varió entre 81 y 87 %. Los estimados fueron mayores para cabras multíparas en comparación con primerizas, así como también para cabras paridas en época lluviosa en comparación con época seca. Además, se observaron valores de persistencia alrededor de 2 % más altos en cabras Saanen que en mestizas.

Discusión

Los resultados de este estudio coincidieron con investigaciones previas, en las cuales no se encontraron diferencias significativas en la producción de leche según la raza (Bidot, 2013; Lôbo et al., 2017; Rangel et al., 2012). Sin embargo, los promedios de producción fueron menores que los reportados por estos autores, quienes registraron valores entre 2,6 y 4,9 kg para las razas Saanen y Toggenburg. Resultados similares se observaron en estudios como el de Irano et al. (2012) en el sudeste de Brasil, con una producción media de 2,4 kg. Producciones inferiores se reportaron en el noreste de Brasil (Lôbo et al., 2017) y en Argentina (Steffen et al., 2021), con valores de 1,56 y 2,14 kg, respectivamente, donde se destaca la variabilidad geográfica en la producción lechera.

Las diferencias en la producción entre investigaciones pueden atribuirse a distintos factores (Oliveira Lôbo & Braga Lôbo, 2015; Steffen et al., 2021). En el sector caprino de Costa Rica, los factores de alimentación y manejo pueden ser limitantes en la producción, ya que la alimentación es básica; se combina pastoreo con suplementación en canoa, sin considerar los requerimientos nutricionales (Chacón-Villalobos & Mora-Valverde, 2017). Similares limitaciones se han reportado en otros sistemas productivos de la región norte del país (Barboza Mora et al., 2020). Estas deficiencias han contribuido a menores rendimientos observados en comparación con estudios previos (Bidot, 2013; Lôbo et al., 2017; Rangel et al., 2012), lo que evidencia la necesidad local de mejorar el manejo y la alimentación para aumentar los rendimientos lecheros en el sector caprino.

La implementación de la inseminación artificial con semen de machos mejoradores también puede contribuir a un incremento significativo en los índices productivos de la progenie, como la producción de leche (Ferreira da Fonseca et al., 2019). Sin embargo, la inseminación artificial es una técnica reproductiva que se emplea en menos del 1 % de las explotaciones caprinas locales (Chacón-Villalobos & Mora-Valverde, 2017). Esto se evidenció en el presente estudio, ya que solo el 4,7 % de las cabras evaluadas fueron nacidas a partir de esta técnica, lo que se refleja en las menores producciones obtenidas y revela la necesidad de un proceso de mejora genética en la población caprina del país.

Se identificaron diferencias con otros estudios en la forma de la curva de lactancia. En el caso de los parámetros estimados en esta investigación, la producción inicial fue mayor a la reportada por Rojo-Rubio et al. (2016) en cabras Saanen (a = 1,28), pero con parámetros de crecimiento y descenso menores (b = 0,33; c = 0,012). También se han registrado valores iniciales mayores (a = 2,6), con un crecimiento más acelerado hasta el pico (b = 0,45) y una disminución más lenta posterior al pico (c = 0,09) (Almasri et al., 2023). Estas diferencias se pudieron deber a la variedad de factores ambientales asociados con la intensidad de producción (León et al., 2012).

Las características de la curva de lactancia registradas en este estudio difirieron de las reportadas por Henao et al. (2017). Según dicha investigación, las cabras Saanen y mestizas mostraron una producción total ajustada de 251 y 260 kg (ajustada a 210 días), con un pico de producción de 1,95 y 2,07 kg, en un tiempo de 5,2 y 4,6 semanas, con una persistencia del 64,8 y 62,1 %, respectivamente. La persistencia en la lactancia fue menor a la obtenida en el presente estudio, lo cual podría deberse a la larga duración de la lactancia observada, ya que la extensión de la lactancia incide de forma positiva en la producción de leche (Goetsch et al., 2011), esperándose una mayor persistencia.

Se obtuvieron resultados de ajuste del modelo Wood similares a los reportados en cabras Murciano-Granadina, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,96 y un estadístico Durbin-Watson menor que 1 (0,745) (León et al., 2012), con un pico de producción de 2,33 kg y una producción total ajustada de 436 kg durante 210 días. Las semanas al pico de producción reportadas fueron más cortas (5,14) a las observadas. La duración de la lactancia obtenida en esta investigación superó la reportada por otros autores (Bidot, 2013; Henao et al., 2017; León et al., 2012), la cual osciló entre 210 y 235 días. La diferencia observada se puede atribuir al extenso periodo abierto voluntario (205 días) que se aplica en el hato bajo estudio, lo que conlleva a lactancias más extensas. Esto puede ocurrir cuando las hembras no quedan preñadas (Steri et al., 2012) o cuando se busca aprovechar el alto rendimiento

lechero en ciertos individuos (Lehmann et al., 2019). Además, la persistencia es alta en las lactancias prolongadas, sin diferencias en volúmenes de leche, grasa, proteína y lactosa (Boshoff et al., 2024).

En el presente estudio el número de parto demostró una influencia significativa, con un promedio de producción mayor en hembras multíparas en comparación con las primerizas. Hallazgos similares fueron reportados por Krajinović et al. (2011) y Ralević et al. (2021), quienes obtuvieron una menor producción de leche en la primera lactancia en comparación con las siguientes, y registraron la mayor producción en la quinta lactancia. Este es un resultado esperado debido al crecimiento y la maduración de las glándulas mamarias conforme se incrementa el número de partos, así como al aumento del peso corporal (Almasri et al., 2023).

Los partos con más de una cría presentaron una producción de leche mayor en comparación con los partos simples, resultados que concuerdan con lo reportado por otros autores (Khemiri et al., 2023; León et al., 2012; Ralević et al., 2021; Rojo-Rubio et al., 2016). Este fenómeno se ha asociado al hecho de que las cabras con crías múltiples tienden a mostrar un mayor desarrollo del sistema mamario y un mayor número de alveolos en la ubre en comparación con aquellas que paren una sola cría (Krajinović et al., 2011). Este aumento en la producción de leche puede atribuirse a una placenta más grande, lo que resulta en una mayor actividad lactogénica durante la gestación (Ralević et al., 2021).

El estudio evidenció un efecto significativo del mes y la época de parto sobre la producción de leche. Estas diferencias pueden atribuirse a las variaciones en la calidad del alimento y las condiciones climáticas entre los distintos meses del año (Almasri et al., 2023). Los animales en pastoreo son los que pueden verse más afectados, debido a la reducción marcada de la producción y calidad del pasto durante la época seca (Henao et al., 2017).

A nivel local, es probable que haya limitaciones en la alimentación, sobretodo al final de la época seca. Sin embargo, con la llegada de las lluvias se inicia la transición hacia una mejor calidad de alimento. Estudios realizados en la Finca Experimental Santa Lucía respaldan esta aseveración (Núñez-Arroyo et al., 2022a; Núñez-Arroyo et al., 2022b), ya que se ha reportado una mayor producción de biomasa y una mejor composición nutricional durante el invierno en comparación con el verano, para el caso del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con 28 días de rebrote.

El contenido de materia seca en los forrajes también puede verse afectado durante la época seca (Núñez-Arroyo et al., 2022a), lo cual se relaciona con la escasez de lluvias característica de esa temporada. Para el año base (2015), que se modeló en la presente investigación, el 89,4 % de las precipitaciones ocurrieron durante la época lluviosa y solo un 10,6 % durante la época seca, mientras que las temperaturas promedio se mantuvieron muy similares, alrededor de los 20 °C. Es de esperar una mejora en la calidad de los alimentos en época lluviosa, lo que se traduce en un aumento en la producción.

Conclusiones

Ser cabras multíparas y disponer de alimentos con un mayor contenido nutricional durante la época lluviosa fueron factores asociados a una mayor producción de leche. Las curvas de lactancia evidenciaron patrones distintos en la producción de leche entre cabras primerizas y multíparas, así como entre las distintas épocas de parto y tipos raciales. A nivel local, este estudio es el primero en reportar índices de rendimiento representativos de ambos grupos raciales, lo que proporciona información valiosa para optimizar el manejo de cabras lactantes en condiciones tropicales semi-intensivas.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la memoria de Adrián Garro Quesada, cuyas contribuciones fueron fundamentales para la realización de este estudio.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

Almasri, O., Abou-Bakr, S., Ibrahim, M., Kahil, O., Asaad, Z., Ghoush, M., & Awad, M. (2023). Lactation curve and milk production traits of Syrian Damascus goats. *Egyptian Journal of Animal Production, 60*(1), 7–16. https://doi.org/10.21608/ejap.2023.177189.1051

Barboza Mora, M. A., Jiménez Castro, J. P., Porras Solís, Á. J., Miranda Bonilla, O. M., & Camacho Cascante, M. I. (2020). Situación socioeconómica y productiva de sistemas caprinos en la Región Huetar Norte, Costa Rica. *Perspectivas Rurales Nueva Época, 18*(35), 1–24. http://doi.org/10.15359/prne.18-35.1

Bidot, F. A. (2013). Goat milk production and lactation duration of Nubian, Saanen and Toggenburg genotypes under restricted grazing and concentrate supplementation. *Abanico Veterinario, 3*(1), 30-35.

Boshoff, M., Lopez-Villalobos, N., Andrews, C., & Turner, S. (2024). Modeling daily yields of milk, fat, protein, and lactose of New Zealand dairy goats undergoing standard and extended lactations. *Journal of Dairy Science, 107*(3), 1500–1509. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23926

Calvo Cardona, S. J., Corrales Álvarez, J. D., Rocha Sarmento, J. L., González Herrera, L. G., & Cardona Cadavid, H. (2015). Associação de SNPs nos genes para ϰ-caseína e β-lactoglobulina com curvas de lactação em cabras leiteiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50*(3), 224–232. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2015000300006

Chacón-Villalobos, A., & Mora-Valverde, D. (2017). Caracterización sectorial de la caprinocultura en Costa Rica Universidad de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical, 11*(2), 23–60. https://doi.org/10.15517/nat.v11i2.31653

Daniel, W. W., & Cross, C. L. (2019). *Biostatistics: A foundation for analysis in the health sciences* (11th ed.). John Wiley & Sons.

Ferreira da Fonseca, J., de Oliveira Machado, V., Matos de Paiva, M. P. S. L., Facó, O., & Souza-Fabjan, J. M. G. (2019). Recent advances in goat artificial insemination in Brazil. *Revista Brasileira de Reprodução Animal, 43*(2), 66–71.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. Commission on genetic resources for Food and Agriculture. https://www.fao.org/4/a1250e/a1250e.pdf

Gaddour, A., Najari, S., & Ferchichi, A. (2009). Lactation curve of local goat, pure breds and crosses in Southern Tunisia. *Journal of Applied Animal Research, 36*(1), 153–157. http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2009.9707051

Gbur, E. E., Stroup, W. W., McCarter, K. S., Durham, S., Young, L. J., Christman, M., West, M., & Kramer, M. (2012). *Analysis of generalized linear mixed models in the agricultural and natural resources sciences*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, & Crop Science Society of America. https://doi.org/10.2134/2012.generalized-linear-mixed-models

Goetsch, A. L., Zeng, S. S., & Gipson, T. A. (2011). Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research, 101*(1-3), 55–63. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.025

Henao, K. T., Blandón, Y. A., González-Herrera, L. G., Cardona-Cadavid, H., Corrales, J. D., & Calvo, S. J. (2017). Efectos genéticos y ambientales sobre la curva de lactancia en cabras lecheras del trópico. *Livestock Research for Rural Development, 29*(5), Artículo 97. http://www.lrrd.org/lrrd29/5/hena29097.html

Hokmollahi, F., & Ehsani, M. R. (2020). Characteristics of Nodooshan goat milk and identification of volatile compounds in traditional Nodooshan goat cheese during ripening. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 14*(4), 67–76. http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-2771-en.html

Instituto Meteorológico Nacional. (2017). *Datos climáticos estación meteorológica Finca Experimental Santa Lucía*. Instituto Meteorológico Nacional.

Irano, N., Braga Bignardi, A., Baldi Rey, F. S., Molina de Almeida Teixeira, I. A., & Galvão Albuquerque, L. (2012). Parâmetros genéticos para a produção de leite em caprinos das raças Saanen e Alpina. *Revista Ciência Agronômica*, *43*(2), 376–381. https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200022

Khemiri, H., Darej, C., Attia, K., M'Hamdi, N., Chouchi, I., & Moujahed, N. (2023). Assessment of the main factors affecting goat milk yield and composition in the North West region of Tunisia. *Mljekarstvo: Časopis za Unaprjeđenje Proizvodnje i Prerade Mlijeka, 73*(2), 105–117. https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2023.0204

Krajinović, M., Pihler, I., Simin, V., Jocić, A., Nićin, S., & Žujović, M. (2011). The influence of number of lactation on milk yield parameters in German fawn goats. *Biotechnology in Animal Husbandry, 27*(4), 1469–1475. https://doi.org/10.2298/bah1104469k

Lehmann, J. O., Mogensen, L., & Kristensen, T. (2019). Extended lactations in dairy production: Economic, productivity and climatic impact at herd, farm and sector level. *Livestock Science, 220*, 100–110. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.014

León, J. M., Macciotta, N. P. P., Gama, L. T., Barba, C., & Delgado, J. V. (2012). Characterization of the lactation curve in Murciano-Granadina dairy goats. *Small Ruminant Research, 107*(2-3), 76–84. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.012

Lôbo, A. M. B. O., Lôbo, R. N. B., Facó, O., Souza, V., Alves, A. A. C., Costa, A. C., & Albuquerque, M. A. M. (2017). Characterization of milk production and composition of four exotic goat breeds in Brazil. *Small Ruminant Research, 153*, 9–16. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.05.005

Lund, A., & Ahmad, M. (2021). Production potential, nutritive value and nutraceutical effects of goat milk. *Journal of Animal Health and Production*, *9*(1), 65–71. http://dx.doi.org/10.17582/journal.jahp/2021/9.1.65.71

Martinez, G. M., León Jurado, J. M., Suarez, V. H., & Barba Capote, C. (2018). Determinación de la curva de lactancia de cabras Saanen del noroeste argentino. *Revista FAVE – Sección Ciencias veterinarias, 17*(1), 6–11. https://doi.org/10.14409/favecv.v17i1.7159

Masselin, S., Sauvant, D., Chapoutot, P., & Milan, D. (1987). Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. *Annales de Zootechnie, 36*(2), 171–206. https://hal.science/hal-00888528

Núñez-Arroyo, J. M., Jiménez-Castro, J. P., Tobía-Rivero, C. M., Arias-Gamboa, L. M., Jiménez-Alfaro, E., & Padilla-Fallas, J. E. (2022a). Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre la biomasa y calidad bromatológica en gramíneas

utilizadas en tres zonas agroclimáticas de Costa Rica (I PARTE). *Nutrición Animal Tropical, 16*(1), 31–52. https://doi.org/10.15517/nat.v16i1.50370

Núñez-Arroyo, J. M., Jiménez-Castro, J. P., Tobía-Rivero, C. M., Arias-Gamboa, L. M., Jiménez-Alfaro, E., & Padilla-Fallas, J. E. (2022b). Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre los componentes de la pared celular y la digestibilidad *in vitro* de gramíneas (II PARTE). *Nutrición Animal Tropical, 16*(2), 91–114. https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52729

Oliveira Lôbo, A. M. B., & Braga Lôbo, R. N. (2015). *Desempenho produtivo de raças caprinas especializadas e seus mestiços para produção de leite em regiões tropicais – revisão de literatura* (Documentos 117). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138223/1/CNPC-2015-Doc117.pdf

Pesantez, M., Arreguín, M., Chamba, R., & Cordero, F. (2023). Curvas de lactancia de cabras con funciones no lineales. *Archivos de Zootecnia, 72*(279), 178–182. https://doi.org/10.21071/az.v72i279.5731

Ralević, R., Papović, T., Pihler, I., Kučević, D., Ivković, M., Dragin, S., Čobanović, K., Mekić, C., & Polovinski-Horvatović, M. (2021). Influence of lactation number and parity on milk yield of Saanen goat's breed. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 73*(4), 923–928. https://doi.org/10.1590/1678-4162-12283

Rangel, A. H. N., Pereira, T. I. C., Albuquerque Neto, M. C., Medeiros, H. R., Araújo, V. M., Novais, L. P., Abrantes, M. R., & Lima Júnior, D. M. (2012). Produção e qualidade do leite de cabras de torneios leiteiros. *Arquivos do Instituto Biológico, 79*(2), 145–151. http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572012000200001

Roberts, F. H. S., & O'sullivan, P. J. (1950). Methods for egg counts and larval cultures for strongyles infesting the gastro-intestinal tract of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research, 1*(1), 99–102. https://doi.org/10.1071/AR9500099

Rojo-Rubio, R., Kholif, A. E., Salem, A. Z. M., Mendoza, G. D., Elghandour, M. M. M. Y., Vazquez-Armijo, J. F., & Lee-Rangel, H. (2016). Lactation curves and body weight changes of Alpine, Saanen and Anglo-Nubian goats as well as pre-weaning growth of their kids. *Journal of Applied Animal Research, 44*(1), 331–337. https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031790

Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2023). *Boletín estadístico agropecuario. Serie cronológica 2019-2022* (33.ª ed.). https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0033.pdf

Statistical Analysis System. (2022). SAS/STAT® User's Guide. SAS Institute Inc. https://documentation.sas.com/doc/es/pgmsascdc/v_023/statug/titlepage.htm

Steffen, K. D., Arias, R. O., Gortari, L., & Moré, G. (2021). Caracterización de la curva de lactancia y rendimiento en cabras Saanen de un tambo semi-intensivo de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista FAVE – Sección Ciencias Veterinarias, 20*(1), 41–46. https://doi.org/10.14409/favecv.v20i1.9778

Steri, R., Dimauro, C., Canavesi, F., Nicolazzi, E. L., & Macciotta, N. P. P. (2012). Analysis of lactation shapes in extended lactations. *Animal, 6*(10), 1572–1582. https://doi.org/10.1017/s1751731112000766

USATI LTDA. (2021). *Software Ovinca* (Versión 10.2021.1223) [Computer software]. https://www.ovinca.com/Ovinca.aspx

Wood, P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature, 216*(5111), 164–165. https://doi.org/10.1038/216164a0

Zhang, D. (2017). A Coefficient of Determination for Generalized Linear Models. *The American Statistician, 71*(4), 310–316. https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1256839