

Artículo científico

Modelado de la curva de lactancia en cabras Criollas Serranas del Noroeste Argentino

Modelling of lactation curve for Serrana Creole goats from Northwestern Argentina

J.L. Fernández^{1*}; J.M. Prado¹; C. Salinas¹; P.B. Solaligue¹;
A.E. Rabasa²; G. Gomez Protto¹; A.C. de la Vega¹

¹ Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán (FAZ-UNT). Florentino Ameghino S/N, El Manantial (T4104AUD), Tucumán, Argentina. *E-mail: j250458@hotmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Resumen

Las áreas serranas del Noroeste Argentino (NOA) están pobladas por cabras Criollas del biotipo Serrano. Estudios previos muestran que estas cabras poseen un interesante potencial lechero. Dado que no se conoce cuál es la dinámica de producción a lo largo de la lactancia, es necesario continuar con el proceso de caracterización productiva, estudiando las características de la curva de la lactancia y los modelos estadísticos de ajuste que mejor la representan. El presente trabajo se realizó a partir de una base de datos de 559 lactancias provenientes del control lechero de 256 cabras Criollas Serranas del NOA. Los registros se realizaron entre los años 1998 y 2005. Se ajustaron los registros obtenidos semanalmente a lo largo de la lactación, utilizando los siguientes modelos: polinomial inversa, función gamma incompleta, Cobby y Le Du, Wiltmink, Papajcsik y Boderó, Cappio Borlino, Danhoa y Mc Nally. Para la elección del modelo que mejor ajuste mostró para las curvas de lactancia se tuvieron en cuenta los criterios de información de Akaike y Bayesiano, el error cuadrático medio de la estimación y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}). El modelo de Cappio Borlino resultó ser el más apropiado. Esto se debe a que ha sido formulado específicamente para modelar curvas de pequeños rumiantes, siendo particularmente indicado para curvas con una declinación importante luego del pico de la lactancia.

Palabras clave: Ganado caprino; Producción láctea; Modelos matemáticos.

Abstract

The mountainous areas of Northwestern Argentina (NOA) are a natural habitat to mountain biotype Creole goats (Criollas Serranas). Previous studies have shown that these goats have an interesting dairy potential. Since there exists no information about milk production dynamics throughout lactation, it becomes necessary to continue characterizing milk production processes, while studying the characteristics of the lactation curve, and the mathematical models with better fits. This work is based on a database with information on 559 lactation processes, as part of the milk production monitoring of 256 Criollas Serranas goats from the NOA region. Records were obtained from 1998 to 2005. These records, which were taken weekly throughout lactation, were fitted to the following models: inverse polynomial, incomplete gamma function, Cobby and Le Du, Wiltmink, Papajcsik and Boderó, Cappio Borlino, Danhoa, and McNally. In order to choose the model that best fit the lactation curves, the Akaike and Bayesian information criteria, the root mean square error (RMSE), and the determination coefficient (R^2_{aj}) were taken into account. The Cappio Borlino model turned out to be the most appropriate. This is because it has been specifically formulated to model small ruminant curves, being particularly suitable for curves with a significant decline after lactation peak.

Keywords: Goat cattle; Dairy production; Mathematical models.

Introducción

Las áreas serranas del Noroeste Argentino están pobladas por cabras criollas del biotipo Serrano, que responden al tronco Pirenaico introducido por los españoles durante la conquista (Palacios Espinosa *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos hasta el momento indican que estas cabras poseen un interesante potencial lechero. Sin

embargo, en las últimas décadas se ha producido un intenso proceso de mestización con razas exóticas, especialmente Anglo Nubian y Saanen, lo que ha disminuido drásticamente la población, quedando majadas puras en las zonas de sierra de mayor altura y difícil acceso. Dado que no se conoce cuál es la dinámica de producción a lo largo de la lactancia en la Cabra Criolla Serrana del NOA, es necesario continuar con el proceso

Recibido: 08/05/21; Aceptado 24/09/21

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

de caracterización productiva, estudiando las características de la curva de lactancia.

La producción de leche de los mamíferos sigue una función dependiente del tiempo, de manera que aumenta en las semanas subsiguientes al parto, alcanza su punto máximo y luego comienza a disminuir hasta el secado de la madre. Esto se expresa gráficamente en forma de una curva de lactancia. De esta manera se observan dos fases diferentes, una ascendente desde el parto al pico de producción y otra descendente, a partir de este máximo hasta el secado final. Esta última fase tiene una pendiente que representa la persistencia de la lactancia (Masselin *et al.*, 1987). Estas curvas son denominadas típicas o de tipo I para diferenciarlas de aquellas en las cuales la producción cae continuamente a partir de un nivel inicial y que son denominadas atípicas o de tipo II (Palacios Espinosa *et al.*, 2016; Landete-Castillejos y Gallego, 2000).

Considerando que la producción real de un animal en un momento determinado sólo puede ser conocida a través de los registros de control lechero, se han desarrollado diferentes modelos estadísticos de ajuste para poder estimarla. Los modelos más utilizados para estimar las curvas de lactancia son los modelos lineales y los no lineales. Entre los primeros, se encuentra el modelo polinomial inverso (Nelder, 1966), que ha sido mencionado por Pereira Guimarães *et al.* (2006) y Blandón *et al.* (2017) como el que mejor ajusta las lactancias de cabras Saanen y Alpinas. Dentro de los no lineales, inicialmente fue propuesta la función gamma incompleta (Wood, 1967) y posteriormente los modelos de Cobby y Le Du (1978), el modelo de Wiltmink (1987), Papajcsik y Bordero (1988). Cappio-Borlino *et al.* (1995) plantean una modificación al modelo de Wood (1967), cuando se modelan curvas de lactancias de ovejas criadas en sistemas extensivos y semiextensivos. En otras especies también se han formulado modelos para estimar la producción. Así, para aves de postura, McNally (1971) modifica la función gamma incompleta de Wood (1967), adicionando un parámetro d proporcional a la raíz cuadrada del tiempo.

Los modelos que mejor ajuste han proporcionado en el ganado caprino son: la función de Wood (Gipson y Grossman, 1989; Wahome *et al.*, 1994; Ruvuna *et al.*, 1995; Zoa-Mboe *et al.*, 1996; Fernández *et al.*, 2000; de Paulo Macedo *et al.*, 2001; León *et al.*, 2007; Waheed y Kahn, 2013;

Blandón *et al.*, 2017), la polinomial inversa (Mukundan y Bhat, 1983; Peña Blanco *et al.*, 1999); el modelo de Cobby y Le Du (Fresno *et al.*, 1992; Takma *et al.*, 2009) y el de Papajcsik y Bordero (Ángel Marín *et al.*, 2009). En este sentido, Martínez *et al.* (2018) mencionan que puede haber más de un modelo que explique las curvas de lactancia en cabras lecheras.

El principal problema que se observa al realizar el modelado es el ajuste alrededor del pico de producción y en la fase descendente, porque se pueden producir sobrestimaciones o subestimaciones (Fernández *et al.*, 2000; Pereira Guimarães, 2004). Esto se ha observado al estudiar la producción de cabras y ovejas utilizando diferentes modelos de ajuste (Sakul y Boylan, 1992; Cappio-Borlino *et al.*, 1995; Montaldo *et al.*, 1997; Franci *et al.*, 1999; Pereira Guimarães *et al.*, 2006; Steri, 2009; Takma *et al.*, 2009, Kume *et al.*, 2012).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes modelos estadísticos de ajuste para estimar la curva de lactancia de las cabras Criollas Serranas del Noroeste Argentino (CCS-NOA).

Materiales y método

Lugar de trabajo y material experimental

El trabajo se realizó con datos provenientes de la majada experimental de la Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ-UNT) localizada en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), ubicado a 52 km al SE de la ciudad de San Miguel de Tucumán, a 27° 11' de latitud Sur y 65° 17' de longitud Oeste y a una altitud de 335 m sobre el nivel del mar. La precipitación media anual es de 880 mm concentrada entre los meses de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 19 °C, con extremos de 25 °C en enero y 13 °C en julio. El clima es de tipo subtropical – subhúmedo con una estación invernal seca bien definida (abril a octubre).

La majada se constituyó con animales que presentaban características morfológicas del tronco Pirenaico, descendientes de los caprinos introducidos por los españoles durante la conquista. Los mismos estaban identificados con un tatuaje y una caravana; de la totalidad de los animales se conocía fecha de nacimiento, padre y madre y peso a diferentes edades.

La alimentación consistió en pastoreos de

Tabla 1. Descripción de los modelos utilizados en el análisis.

Modelo	Autor	Función de ajuste	Número de parámetros
NL	Nelder (1966)	$y(t) = t / (a + bt + ct^2)$	3
WD	Wood (1967)	$y(t) = atb.e^{-ct}$	3
WI	Wiltmink (1987)	$y(t) = a + bekt + ct \quad (k = -0,05)$	3
PB	Papajcsik y Bodero (1988)	$y(t) = ate^{-ct}$	2
CB	Cappio-Borlino et al. (1995)	$y(t) = atbe^{-ct}$	3
McN	Mc Nally (1971)	$y(t) = atbexp(-ct+dt(0,5))$	4

Avena sativa, *Chloris gayana* y *Medicago sativa*; complementada con raciones de maíz molido, pellets de girasol y harina de soja que se ajustaron a los requerimientos de los animales.

El servicio se realizó en otoño y primavera, dividiendo a la majada en dos lotes, cada cabra tuvo un solo parto por año. La crianza de los cabritos se efectuó por el método de lactancia natural, con libre acceso de las crías a las madres. Para la evaluación de la producción lechera, se dividió el período de lactación en dos fases: de amamantamiento y de ordeño. Durante el amamantamiento, que se extendió hasta el destete de los cabritos a los 45 días de edad, se efectuaron controles semanales por el método de doble pesada de las crías, complementado con el ordeño manual de la madre para extraer la leche remanente (Herrera García *et al.*, 1988).

La fase de ordeño se extendió hasta el secado de las hembras, cuando la producción media diaria individual, fue de 0,100 kg/cabra/día o menos en dos registros sucesivos. Durante ese período se realizaron controles semanales, practicando un sólo ordeño diario (Herrera García *et al.*, 1988).

Análisis de las curvas de lactancia

La base de datos se constituyó con 598 lactancias provenientes del control lechero de 256 CCS-NOA. Los controles se realizaron entre los años 1998 y 2005. Se consideraron válidas las lactancias iguales o superiores a 60 días de duración y los datos de producción hasta los 270 días posparto (Hernández Ferrer, 1992), quedando finalmente la base de datos conformada por 559 lactancias.

Luego de realizar curvas preliminares, se decidió efectuar los ajustes con los datos hasta los 180 días posparto y desechar los posteriores, porque a mayor duración la cantidad de lactancias con datos disponibles baja del 50 %.

Los datos de control semanal fueron volcados en planillas Excel®, ordenados por columnas de la siguiente manera: número de orden en la planilla, identificación de la cabra, año de la parición (1,

2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), época de parto (1: otoño y 2: primavera), edad de la cabra en meses, número de parto (0: desconocido, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), tipo de parto (1: simple y 2: múltiple), intervalo parto primer control, producción del primer control, días del segundo control, producción al segundo control, y así sucesivamente hasta el secado de los animales.

La producción media diaria real de las cabras para la totalidad de las lactancias evaluadas fue determinada en el primer control, al pico de la lactancia, y a los 180 días posparto.

Ajuste de las curvas de lactación

Se ajustaron los registros obtenidos semanalmente a lo largo de la lactación con los modelos que se observan en la Tabla 1.

Donde y es la producción en el tiempo t ; a : parámetro asociado con la producción de leche inicial; b : parámetro asociado con el aumento de la producción de leche hasta el pico de lactancia; c : parámetro asociado con la disminución en la producción de leche desde el pico hasta el final de la lactancia, d : parámetro proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, $k = -0,05$: factor relacionado con el momento del pico y e : base de los logaritmos neperianos. En la función de CB (Tabla 1), a representa el valor de la asíntota horizontal y, por lo tanto, puede considerarse como el rendimiento de la leche en el período inmediatamente anterior al secado; b está relacionado con la disminución de la producción después del rendimiento máximo; y c controla la tasa de variación de la producción de leche en la primera parte de la curva.

Los ajustes se realizaron mediante el procedimiento de regresión no lineal *nls* del paquete R (R Core Team, 2021). Para evaluar las bondades de ajuste de los modelos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) (Akaike, 1974; Schwarz, 1978), el error cuadrático medio de la estimación (RMSE) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), por tener los modelos distinto número de

Tabla 2. Valores medios de los parámetros y estimadores de la bondad de ajuste de los diferentes modelos estudiados en las cabras Criollas Serranas del NOA.

Modelo	a	b	c	d	% de convergencia	AIC	BIC	RMSE	R ² aj
NL	2,316	0,362	0,013	-	100,00	9542	9542	0,188	0,86
WD	1,315	0,048	0,010	-	98,21	9753	9782	0,245	0,78
WI	1,087	0,543	-0,004	-	100,00	10040	10040	0,354	0,60
PB	0,122	-	0,034	-	100,00	12071	12092	0,283	0,75
CB	0,412	0,637	0,022	-	95,35	9418	9447	0,187	0,87
McN	0,835	1,436	-0,027	-0,978	95,17	8972	9008	0,160	0,90

a,b,c,d: parámetros estimados de los modelos; AIC: criterio de información de Akaike; BIC: criterio de información bayesiano; RMSE: error cuadrático medio de la estimación; R²aj: coeficiente de determinación ajustado.

parámetros (Fernández *et al.*, 2001; Fernández *et al.*, 2002; León *et al.*, 2007; Vieira da Cunha *et al.*, 2010). Se ajustó una curva para cada animal y los parámetros estimados de la curva marginal se calcularon promediando los valores de la curva individual de cada animal.

Los residuos fueron calculados para cada modelo y graficados para determinar los desvíos en la estimación de la producción de leche, a lo largo de la lactancia (Fernández *et al.*, 2002).

Con los datos de la producción observada se determinaron la media y el error estándar de los días al pico y la producción inicial, en el pico y a los 180 días de lactancia.

Se estimó para cada modelo, el día del pico, la media y el error cuadrático de la media para la producción inicial, en el pico y a los 180 días de lactancia. Se construyeron intervalos de confianza del 95 % para los estimadores de los parámetros de cada curva ajustada con aproximación normal.

También, para la producción observada y para cada modelo, se calculó la media y el error estándar de la producción total acumulada a 180 días de lactancia. La producción real ajustada a 180 días y las estimadas con los distintos modelos, fueron analizadas utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Resultados

Las CCS-NOA produjeron, en el primer control a los ocho días de lactancia $1,206 \pm 0,026$ kg/cabra/día, posteriormente la producción media diaria aumentó hasta alcanzar en el segundo control, a los 17 días, un pico de $1,293 \pm 0,026$ kg/cabra/día. A continuación, la cantidad de leche se redujo hasta $0,463 \pm 0,019$ kg/cabra/día a los 180 días posparto (Figura 1). La producción total de leche acumulada a los 180 días de lactancia fue en promedio de $117,526 \pm 2,047$ kg/cabra.

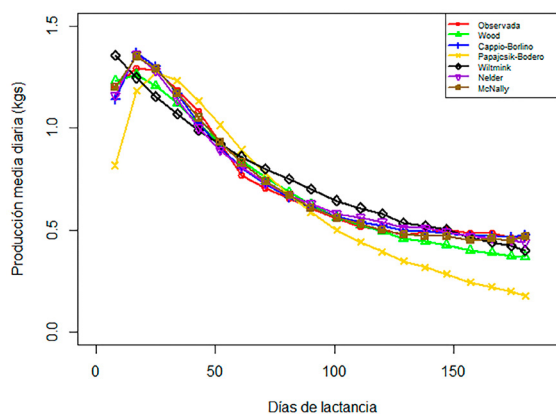


Figura 1. Curvas de lactancia observada y marginales estimadas con los distintos modelos de ajuste en CCS-NOA.

En la Tabla 2, se observan para los modelos evaluados, las estimaciones de los parámetros *a*, *b*, *c* y *d*, el porcentaje de cabras cuyas lactancias convergieron en cada modelo, también los valores de AIC, BIC, RMSE y R²aj. El modelo que mejor explicó la producción de leche en las CCS-NOA fue el de Mc Nally (1971), seguida por el de Cappio-Borlino *et al.* (1995) y el de Nelder (1966).

En la Figura 1 se puede apreciar que los modelos de McN, CB, NL, WD y PB ajustaron curvas típicas (con pico de lactancia), semejantes a lo que muestran los datos observados.

La producción estimada en el primer control por los modelos de McN, CB, NL y WD fue de $1,200 \pm 0,085$ kg/cabra/día (IC 95 % = 1,034; 1,366); $1,138 \pm 0,232$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,511; 1,765); $1,160 \pm 0,224$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,721; 1,629) y $1,230 \pm 0,285$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,672; 1,788) respectivamente. En lo que se refiere a PB, con este modelo se estimó una producción inicial apreciablemente inferior, de $0,817 \pm 0,567$ kg/cabra/día (IC 95 % = -0,294; 1,928).

McN, CB, NL y WD estimaron el pico de la lactancia en el segundo control a los 17 días, de

manera similar a lo que ocurrió en las lactancias reales; PB estimó un pico más tardío, en el tercer control a los 25 días.

Con respecto al volumen de leche en el pico, el mejor predictor resultó ser el modelo de McN con $1,350 \pm 0,204$ kg/cabra/día (IC 95 % = 1,155; 1,545), seguido por NL con $1,360 \pm 0,225$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,891; 1,801), CB con $1,367 \pm 0,243$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,891; 1,843), WD que estima $1,261 \pm 0,351$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,574; 1,948) y finalmente PB con $1,271 \pm 0,361$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,564; 1,978).

En cuanto al nivel de la producción a los 180 días, los valores estimados por los modelos de McN, CB, NL y WD fueron similares. Así, McN estimó $0,470 \pm 0,120$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,235; 0,705), CB $0,474 \pm 0,149$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,182; 0,766) y NL $0,440 \pm 0,171$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,105; 0,775) y WD $0,369 \pm 0,196$ (IC 95 % = -0,015; 0,753). Por su parte, con PB se estimó una producción a los 180 días más baja, de $0,179 \pm 0,366$ kg/cabra/día (IC 95 % = -0,538; 0,896).

Con el modelo de WI la producción inicial fue de $1,356 \pm 0,250$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,866; 1,846), superior a la observada y a las estimadas con los otros modelos. Sin embargo, este modelo falló en la predicción del tiempo y la producción en el pico. En la parte final de la curva, la producción obtenida con este modelo fue de $0,400 \pm 0,157$ kg/cabra/día (IC 95 % = 0,093; 0,707).

Cuando se comparó la producción real acumulada a los 180 días de lactancia y las estimadas por los distintos modelos, se observó significación estadística ($gl = 6$; $F = 107,06$; $p = < 0,0001$). Con McN se registró una producción de $118,751 \pm 2,057$ kg/cabra; $118,156 \pm 2,054$ kg/cabra con CB y $118,026 \pm 2,063$ kg/cabra con NL, todos ellos sin diferencias significativas con la producción real. En cuanto a los otros modelos estudiados, el que mayor cantidad de leche ajustó a 180 días fue el de WI con $120,048 \pm 2,177$ kg/cabra. Con WD y PB las cantidades de leche fueron menores: $114,387 \pm 2,140$ kg/cabra y $104,724 \pm 1,770$ kg/cabra respectivamente. Las cantidades de leche calculadas con estos tres últimos modelos, difirieron significativamente con lo producido por las CCS-NOA y lo estimado con los modelos de McN, CB y NL.

En la Figura 2 se puede constatar que los diferentes modelos sobrestimaron o subestimaron la producción de leche a lo largo de la lactancia,

con un comportamiento similar en el caso de McN, CB y NL. El modelo de McN fue el que menor desviación manifestó al momento de ocurrir el pico de la lactancia en las CCS-NOA. Por su parte, en los modelos de PB y WI se observaron los mayores desvíos de las estimaciones respecto a las producciones observadas.

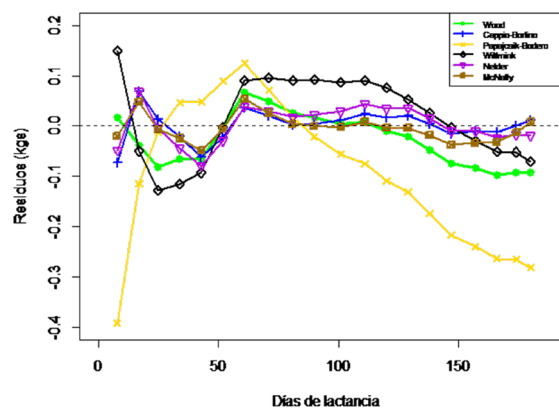


Figura 2. Gráfico de los residuos para los distintos modelos de ajuste en CCS-NOA.

Discusión

De los seis modelos propuestos para estimar la curva de lactancia de las cabras Criollas Serranas del NOA, el de mejor ajuste por su menor AIC y BIC, menor RMSE y mayor R^2_{aj} fue el modelo propuesto por McN, seguido por CB (ambos modelos no lineales) y NL (lineal).

En la Figura 1 se observan las curvas de lactancia real y las estimadas con los diferentes modelos de ajuste propuestos. Las CCS-NOA para las 559 lactancias evaluadas, tienen una curva real típica o tipo I, coincidiendo con lo definido por Masselin *et al.*, (1987); Palacios Espinosa *et al.* (2016) y Landete-Castillejos y Gallego (2000).

McN, CB y NL representaron gráficamente de manera satisfactoria a gran parte de la lactancia, si bien sobrestimaron la primera parte de la curva y posteriormente mostraron ligeras subestimaciones en algunas etapas, especialmente al final del período bajo estudio (Figuras 1 y 2). En este sentido, el modelo de McN proporciona un ajuste más cercano a la curva real entre los días 90 y 130, mientras que CB lo hace en los últimos 40 días del período estudiado.

Con respecto a los modelos de Cappio-Borlino *et al.* (1995) y Nelder (1966), sus bondades para ajustar las lactancias de cabras han sido mencionadas por Mukundan y Bhat (1983), Peña Blanco *et al.* (1999), Pereira Guimarães *et al.*

(2006), Blandon *et al.* (2017) y Martínez *et al.* (2018), cuando estudian las lactancias de cabras Saanen, Alpinas, Floridas Sevillanas, Malabari y cabras mestizas.

De los modelos que ajustaron curvas típicas, el de peor comportamiento fue el de PB. Gráficamente también se mostró poco satisfactorio, ya que subestimó el inicio de la lactancia y luego mantuvo una importante sobrestimación de la producción, en el segundo y tercer mes de lactancia (Figuras 1 y 2). Posteriormente cambió la tendencia con una subestimación acentuada en la última parte de la curva. Así, es el modelo que menor producción estima a los 180 días. Las inconsistencias observadas con este modelo contradicen los resultados informados por Ángel Marín *et al.* (2009), quienes mencionan que PB es el modelo que mejor ajusta las curvas de lactancia de cabras mestizas lecheras en Antioquia (Colombia).

El modelo de WD no estimó de manera adecuada a la curva de lactancia de las CCS-NOA, a pesar de ser mencionado como el que mejor ajusta el comportamiento de la curva de lactancia en cabras (Gipson y Grossman, 1989; Wahome *et al.*, 1994; Ruvuna *et al.*, 1995; Zoa-Mboe *et al.*, 1996; Fernández *et al.*, 2000; de Paulo Macedo *et al.*, 2001; León *et al.*, 2007; Waheed y Kahn, 2013; Blandón *et al.*, 2017).

El comportamiento poco apropiado del modelo de WI para modelar la curva de lactancia de las CCS-NOA, coincidió con lo mencionado por León *et al.* (2012), cuando lo utilizaron para estudiar las lactancias de cabras Murciano-Granadinas.

Pereira Guimarães (2004) indica que se pueden producir sobrestimaciones o subestimaciones al inicio de la lactancia y en diversos segmentos de la curva, del tipo que se verificaron al modelar la curva de lactancia de las CCS-NOA. Esto se ha observado al estudiar la producción de cabras Saanen, Alpinas, Toggemburg, Barnova, locales de Albania, y sus cruza y también en cabras locales de Méjico, utilizando diferentes modelos de ajuste (Montaldo *et al.*, 1997; Franci *et al.*, 1999; Pereira Guimarães *et al.*, 2006; Takma *et al.*, 2009, Kume *et al.*, 2012).

En otras especies también se han informado comportamientos parecidos de los modelos de ajuste. Así, se han informado subestimaciones de la curva de lactancia en ovejas Massese, ajustando los datos con el modelo de Wood y Wilmlink (Steri, 2009).

También en ovejas Sardas, Cappio-Borlino *et*

al. (1995) informan que el modelo subestima la primera fase de la lactancia y sobrestima la última parte entre la 25^a y 30^a semana. Este modelo muestra un idéntico comportamiento cuando se estudian las lactancias de las ovejas Massese, subestima la producción en el primer mes, y a mediados de la lactancia, y sobrestima durante la última parte de la misma (Franci *et al.*, 1999).

Pereira Guimarães *et al.* (2006) y Kume *et al.* (2012) atribuyen estas diferencias con respecto a las curvas observadas a la pérdida de controles durante los primeros días de producción, lo que puede afectar las estimaciones de los parámetros *a* y *b*. Por su parte, Sakul y Boylan (1992) observan lo mismo en diversas razas de ovejas y explican que esto puede deberse a una subestimación del parámetro *a*.

También, MCN, CB y NL fueron los modelos que mejor estimaron la producción de leche acumulada a los 180 días de lactancia. La mayor diferencia se observó en PB que subestimó la producción en un 11 %.

Conclusión

Si bien son tres los modelos que muestran ser adecuados para modelar las curvas de lactancia de las cabras Criollas Serranas del NOA, la modificación al modelo de Wood (1967), propuesta por Mc Nally (1971), es la que permite un mejor ajuste para describir el patrón de producción de leche de la raza.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto PIUNT 26 A616/4 de la Secretaría de Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional de Tucumán. Los autores expresan su agradecimiento a los revisores y al Comité Editor, en especial al Mg. Osvaldo Arce, por sus valiosos aportes que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Ángel Marín P.A., Agudelo Gómez D.A., Restrepo L.F., Cañas Alvarez J.J., Cerón-Muñoz M.F. (2009). Curvas de lactancia de cabras mestizas utilizando modelos matemáticos no lineales. Revista Lasallista de Investigación 6 (1): 43-49.
- Akaike H. (1974). A New Look at the Statistical Model

- Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19: 716-723.
- Blandón Y.A., Henao K.T., González Herrera L.G., Cardona Cadavid H., Corrales J.D., Calvo S.J. (2017). Modelación de la curva de lactancia para los principales tipos raciales de cabras lecheras de Antioquia utilizando modelos no lineales. *Livestock Research for Rural Development* 29 (4).
- Cappio-Borlino A., Pulina G., Rossi G. (1995). A non-linear modification of Wood's equation fitted to lactation curves of Sardinian dairy ewes. *Small Ruminant Research* 18: 75-79.
- Cobby J.M., Le Du Y.L.P. (1978). On fitting curves to lactation data. *Animal Science* 26: 127-133.
- de Paulo Macedo V., Damasceno, J.C., dos Santos G.T., Nunes Martins E., Fonseca de Macedo F. de A. (2001). Comportamento da Curva de Lactação de Cabras Mestiças Saanen em Função da Suplementação de Concentrado e do Sistema de Produção. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30 (6S): 2093-2098.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2017). *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández C., Sánchez A., Garcés C., Rubert-Alemán J., Díaz J.R. (2000). Lactation curves in primiparous Murciana-Granadina goats. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*: 136. En: <http://www.journees3r.fr/spip.php?article1134>, consulta: octubre 2021.
- Fernández L., Menéndez A., Guerra W., Suárez M. (2001). Estimación de curvas de lactancias estándar de la raza Siboney para su utilización en extensiones de lactancia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 35 (2): 99-104.
- Fernández C., Sánchez A., Garcés C. (2002). Modeling the lactation curve for test-day milk yield in Murciana-Granadina goats. *Small Ruminant Research* 46: 29-41.
- Franci O., Pugliese C., Acciaioli A., Parisi G., Lucifero M. (1999). Application of two models to the lactation curve of Massese ewes. *Small Ruminant Research* 31: 91-96.
- Fresno Baquero M., Bermejo Delgado J.V., Rodero Franganillo J.M. (1992). First lactation curve model in Canary goats. *Archivos de Zootecnia* 41: 81-84.
- Gipson T. A., Grossman M. (1989). Diphasic analysis of lactation curves in dairy goats. *Journal of Dairy Science* 72: 1035-1044.
- Hernández Ferrer D. (1992). Bases de un programa de selección de ganado caprino. *Controles de producción*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Herrera García M., Subires J., Aparicio J., Solano J., Sánchez M., Peña F. (1988). Capacidad productiva en un modelo semiextensivo. Influencia de los factores climáticos. En: *La Cabra Malagueña*. Herrera García M., Subires Antunez J. (Eds). Diputación Provincial de Malaga, España. Pp. 52-69.
- Kume K., Papa L., Hajno L. (2012). Effects on milk production in F1 crossbred of Alpine goat breed and Albanian goat breed. *Italian Journal of Animal Science* 11: 3-47.
- Landete-Castillejos T., Gallego L. (2000). The ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. *Journal of Animal Science* 78: 3010-3013.
- León J.M., Quiroz J., Pleguezuelos J., Martínez E., Delgado J.V. (2007). Curva de lactación par el número de lactación en cabras Murciana-Granadinas. *Archivos de Zootecnia* 56 (Sup. 1): 641-646.
- León J.M., Macciotta N.P.P., Gama L.T., Barba C., Delgado J.V. (2012). Characterization of the lactation curve in Murciana-Granadina dairy Goats. *Small Ruminant Research* 107: 76-84.
- Martínez 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: 6-11.
- Masselin S., Sauvant D., Chapoutot P., Milan D. (1987). Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. *Annales de Zootechnie* 36 (2): 171-206.
- Mc Nally D.H. (1971). Mathematical model for poultry egg production. *Biometrics* 27: 735-737.
- Montaldo H., Almanza A., Juárez A. (1997). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research* 24:195-202.
- Mukundan G., Bhat P. N. (1983). Lactation curve in Malabari goats and their Saanen half-breeds. *Indian Journal of Animal Science* 53: 666-669.
- Nelder J.A. (1966). Inverse polynomials, a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics* 22: 128-141.
- Palacios Espinosa A., González-Peña Fundora D., Guerra Iglesias D., Espinoza Villavicencio J.L., Ortega Pérez R., Guillén Trujillo A. Ávila Serrano N. (2016). Curvas de lactancia individuales en vacas Siboney de Cuba. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7 (1): 15-28
- Papajcsik I.A., Bordero J. (1988). Modeling lactation curves of Friesian cows in a subtropical climate. *Animal Science* 47: 201-207.
- Peña Blanco F., Vega Vilca J., Sánchez Rodríguez M., Martos Peinado. J., García Martínez A., Doménech García V. (1999). Producción láctea y ajuste de la curva de lactación en caprinos de raza Florida. *Archivos de Zootecnia* 48: 415-424.
- Pereira Guimarães V. (2004). Curva de Lactação, Efeitos Ambientais e Genéticos sobre o Desempenho Produtivo de Cabras Leiteiras. Tesis maestría. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. En: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11297>, consulta: octubre 2021.

- Pereira Guimarães V., Teixeira Rodrigues M., Rocha Sarmiento J.L., Teixeira da Rocha D. (2006). Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35 (29): 535-543.
- Ruvuna F., Kogi J.K., Taylor J.F., Mkuu S.M. (1995). Lactation curves among crosses of Galla and East African with Toggenburg and Anglo Nubian goats. *Small Ruminant Research* 16: 1-6.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En: <https://www.R-project.org/>.
- Sakul H. y Boylan W.J. (1992). Lactation curve for several US sheep breeds. *Animal Production* 54: 229-233.
- Steri R. (2009). The mathematical description of the lactation curve of Ruminants: issues and perspectives. Tesis Doctoral. Università di Sassari, Sassari, Italia.
- Schwarz G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics* 6: 461-464.
- Takma C., Akbas Y., Taskin T. (2009). Modelin lactation curves of Turkish Saanen and Barnova goats. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 4 (3): 122-129.
- Vieira da Cunha D. de N.F., Pereira J.C., Fonseca e Silva F., Fajardo de Campos O., Braga J.L. y Azevedo Martuscello J. (2010). Selection of models of lactation curves to use in milk production simulation systems. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39 (4): 891-902.
- Waheed A., Khan M.S. (2013). Lactation curve of Beetal goats in Pakistan. *Archives Animal Breeding* 56 (89): 892-898.
- Wahome R.G., Carles A.B., Schwartz H.J. (1994). An analysis of the variation of the lactation curve of Small East African goats. *Small Ruminant Research* 15: 1-7.
- Wiltmink J.B.M. (1987). Comparison of different methods of predicting 305-day milk yield using means calculated from within herd lactation curves. *Livestock Production Science* 17: 1-17.
- Wood P.D.P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.
- Zoa-Mboe A., Michaux C., Detilleux J.C., Farnir F.P., Kebbers C., Leroy P.L. (1996). Fitting lactation data with two mathematical models and extension factors for milk, fat and protein of Belgian dairy goats.