

## MODELACIÓN DE CURVAS DE COMPONENTES DE LA LECHE EN CABRAS F<sub>1</sub> ALPINA x NUBIA

### MODELLING OF MILK COMPONENT CURVES IN F<sub>1</sub> ALPINE X NUBIAN GOATS

Torres-Hernández, G.<sup>1\*</sup>, Castañeda-Bustos, V. J.<sup>1</sup>, Hernández-Mendo, O.<sup>1</sup>, Díaz-Gómez, M. O.<sup>2</sup>, Pérez-

Elizalde, S.<sup>1</sup>, González-Camacho, J. M.<sup>1</sup>, Ochoa-Cordero, M. A.<sup>2</sup>, y Mandeville, P. B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México. <sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Apartado Postal 32, San Luis Potosí, S.L.P. <sup>3</sup>Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Venustiano Carranza No. 345. 78210

San Luis Potosí, S.L.P. (glatohe@colpos.mx)

#### Resumen

La producción de leche de cabra, aunado a sus componentes, constituye una fuente muy importante de ingresos para los productores en las zonas áridas y semiáridas de México. Sin embargo, hay información limitada en México sobre caracterización de las curvas de los componentes de la leche, por lo que se realizó el presente estudio con objeto de caracterizar las curvas de los componentes lácteos (sólidos totales, grasa y proteína) en cabras F<sub>1</sub> (Alpina x Nubia) del Altiplano Potosino, utilizando tres modelos matemáticos (monofásico, difásico y gamma incompleta), considerando como criterios de ajuste el cuadrado medio del error, pseudo R<sub>2</sub>, criterio de información de Akaike, criterio de información Bayesiano y -2 log likelihood. El modelo gamma incompleta fue el más consistente en todos los criterios de ajuste, por lo que resultó más útil que los modelos monofásico y difásico para la caracterización de la curva de componentes de la leche.

**Palabras clave:** funciones matemáticas, componentes lácteos, cabras, modelo multifásico, gamma incompleta.

#### Introducción

En México, la producción de leche caprina constituye una de las principales fuentes de ingreso en las zonas áridas. La mayor parte de la leche producida (70%) proviene de sistemas extensivos en esta zona<sup>13</sup>. La representación gráfica de la producción de leche a través del tiempo es una curva de lactancia<sup>20</sup>. El comportamiento común de la curva es que la producción se incremente al inicio hasta llegar a un máximo (pico de producción), mantenga este pico, y disminuya hasta el final de la lactancia<sup>1</sup>. El objetivo principal de esta curva es predecir la producción diaria con el mínimo error, en presencia de diversos factores<sup>12</sup>. El conocimiento de una curva de lactancia es una herramienta valiosa, ya que puede ser utilizada para diferentes aspectos de manejo<sup>6</sup>, como alimentación<sup>20</sup> y genética<sup>24</sup>. Esta curva ha sido modelada con diversas ecuaciones matemáticas que, a pesar de la diferencia en la formulación, todas generan una gráfica similar<sup>21</sup>. La utilidad de cada una de éstas depende de qué tan bien describan o imiten el proceso biológico de la lactancia<sup>15</sup>, evaluándolas mediante ciertos criterios de ajuste como: Cuadrado Medio del Error, Pseudo-R<sub>2</sub><sup>(19)</sup>, Criterio de información de Akaike, Criterio de información Bayesiano y -2 Log likelihood<sup>9</sup>. Dentro de las funciones más utilizadas están: gamma incompleta, polinomio inverso, polinomio segmentado, y multifásicas<sup>5</sup>. Además de la curva para producción, es importante ajustar curvas para componentes lácteos, ya que el

establecimiento del precio depende de éstos<sup>12</sup>. A pesar de que la producción caprina constituye una fuente importante de ingresos en zonas áridas y semiáridas de México, no se ha caracterizado una curva para componentes lácteos, por lo que se realizó el presente estudio con el objetivo de determinar las curvas de los componentes lácteos de cabras F<sub>1</sub> (Alpina x Nubia) del altiplano potosino.

### **Materiales y Métodos**

El estudio se realizó en la Unidad Caprina del Departamento de Producción Pecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), coordenadas 22°14'10" latitud Norte y

100°53'10" longitud Oeste, altitud de 1833 m y precipitación media anual de 335mm. El clima es seco

estepario frío, con temperatura media anual de 18 °C (7.5 °C mínima y 35 °C máxima)<sup>3</sup>. Se utilizaron 18

cabras F<sub>1</sub> (Alpina x Nubia) de segundo parto, las cuales permanecieron en estabulación en corrales provistos

de comederos y bebederos; alimentadas durante el último tercio de gestación y el periodo de muestreo (14

semanas) con 2 kg de materia seca, aportada por 3.7 kg de alfalfa verde y 1 kg en base fresca de concentrado comercial con 16% proteína cruda y 2.4 Mcal; el concentrado se proporcionó en partes iguales

en la mañana y en la tarde; mientras que el forraje se proporcionó únicamente en la mañana. Las cabras se

ordeñaron una vez al día durante la mañana. Se recolectaron muestras de leche en frascos de vidrio

quincenalmente, y fueron analizadas con el equipo Milko Scan Mino 6 en la Facultad de Agronomía de la

UASLP, para determinar su composición (sólidos totales (ST), grasa (G) y proteína (P)).

**Análisis Estadístico.** Se obtuvieron las medias, desviación estándar, coeficiente de variación (CV),

producción máxima y producción mínima para cada una de las variables en estudio. Se evaluaron las

funciones monofásica<sup>20</sup>, difásica<sup>4</sup> y gamma incompleta<sup>21</sup>. Para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

➤ Función monofásica:

➤ Función difásica:

Donde:  $Y_t$  = producción en un tiempo  $t$ ;  $a_i$  = promedio del total de producción por fase (kg);  $b_i$  = tasa de

producción de  $a_i$  (por día) por cada fase  $i$ ;  $c_i$  = tiempo del pico de producción (días) por cada fase  $i$ ;  $t$  = tiempo (días);  $\tanh$  = función hiperbólica de la tangente.

➤ Función gamma incompleta:

Donde:  $a$  = producción inicial y el nivel máximo de producción,  $b$  y  $c$  = forma de la curva, y cómo cambia  $a$  través de la lactancia.

La estimación de los parámetros y criterios de ajuste se obtuvieron mediante PROC NL MIXED<sup>18</sup>.

Para la

comparación de los modelos se consideraron: Cuadrado Medio del Error (CME), Pseudo-R<sub>2</sub>, Criterio de

información de Akaike (AIC), Criterio de información Bayesiano (BIC) y -2 Log likelihood. El valor menor de

estos estadísticos, exceptuando Pseudo-R<sub>2</sub>, se considera como el de mejor ajuste. Se seleccionó como

mejor modelo aquel que fuera más consistente en éstos.

□ AIC <sub>9</sub>:

□ BIC <sub>9</sub>:

Donde  $n$  = número de observaciones;  $SSE$  = suma de cuadrados en el modelo;  $p$  = número de parámetros; y es el error de varianza estimado del modelo ajustado.

□ Pseudo- $R^2_{(19)}$  definido por:

Las curvas y características de la lactancia se determinaron con el modelo que resultó tener mejor ajuste, calculándose mediante  $a/b$ ,  $c$  y  $2/b$  para las funciones monofásica y difásicas; y con  $a(b/c)^b e^{-b}$ ,  $b/c$  y  $-(b+1)/ln(c)$  para la función gamma incompleta<sup>16</sup>; para producción al pico, tiempo en que ocurre el pico, y “persistencia”; respectivamente.

### Resultados

El contenido promedio de los componentes lácteos fue de 12.12%, 3.29% y 3.40% para sólidos totales, proteína y grasa, respectivamente. Los mayores valores para grasa y proteína se obtuvieron en la 1<sup>a</sup>

quincena (3.51±0.32 y 4.08 %, respectivamente) y los menores porcentajes, en las quincenas tres y cuatro

(3.13±0.51 y 3.12±0.29 %, respectivamente) para proteína y en la 4<sup>a</sup> quincena para grasa (2.74±0.81 %). El

modelo que mejor describió la curva de los componentes fue la función gamma incompleta. Las características de la lactancia para ST, G y P, respectivamente, fueron: producción al pico 11.67 %, 3.18 % y

4.08 %, ocurriendo a los 30.10, 24.69 y 24.68 días de la lactancia y con persistencia de 16.37, 16.98 y 5.95

días. El contenido de sólidos totales (Fig. 1a) y grasa (Fig. 1b) tuvieron una tendencia típica, mientras que el

contenido de proteína no mostró dicha tendencia, al presentar dos picos de producción (1<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> quincena) (Figura 1b).

### Discusión

El contenido de sólidos totales fue idéntico al reportado por (2), menor al obtenido por (17); y mayor al

reportado por (8). Siendo superior en la primera quincena al encontrado por (2) (13.46% vs 12.5%), pero

idénticos (11.7%) en la tercera quincena. El contenido promedio de proteína fue similar a los reportados por

(23) en cabras Alpinas, pero menores a los reportados por (2) y (8) en cabras F<sub>1</sub> (Alpina x Nubia) y Australianas, respectivamente. El contenido de grasa promedio fue similar al reportado por (2) (3.42%), pero

inferior al reportado por (17) (4.25%). El mayor porcentaje de grasa fue mayor al reportado por (2) (4.08% vs

3.43%); sin embargo, en la tercera quincena fue menor (3.22% vs 3.52%). Estas diferencias pueden deberse

a la raza, principal factor determinante para la composición<sup>10</sup>, en especial, para contenido de grasa y

proteína<sup>22</sup>. El comportamiento en el contenido de sólidos totales concuerda con lo reportado por (2) y (7),

mientras que el comportamiento del contenido de proteína no es igual a la tendencia típica descrita por (11) y

(12). Este comportamiento desigual en el contenido de proteína pudo deberse a baja nutrición, factor

modificador de la composición láctea<sup>14</sup>. Las predicciones para componentes lácteos son ligeramente

inferiores a los reportados por (2) (3.42, 3.57 y 12.12% para grasa, proteína y sólidos totales; respectivamente) en animales del mismo genotipo.

(a)

(b)

(c)

Figura 1. Contenido observado ( ), promedio ( ) y predicho mediante la función gamma incompleta ( ) de los componentes lácteos [sólidos totales (a), proteína (b) y grasa (c)].

### Conclusiones

La función gamma incompleta fue superior, en términos de menores valores de CME, AIC, BIC y -2 Log likelihood, así como por el mayor valor de Pseudo-R<sub>2</sub>; por lo que describe mejor el comportamiento del contenido de sólidos totales, proteína y grasa a través de la lactancia de cabras F<sub>1</sub> (Alpina x Nubia), en comparación con el modelo difásico y monofásico.

### Literatura Citada

1. Chang Y., M, Rekaya R., Gianola D. and L. Thomas D. 2001. Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: a Bayesian analysis of Wood's function. *Livest. Prod. Sci.* 71:241-251.
2. Díaz G., M. O., G. Torres H., M. A. Ochoa C., B. Mandeville P. y R. González G. 2004. Efecto del sexo de la cría y la etapa de lactancia en los componentes de la leche de cabras F<sub>1</sub> Alpino x Nubia. *Memorias de la XIX Reunión Nacional sobre Caprinocultura.* AMPCA. Acapulco, Gro. México. pp: 219-223.
3. García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2ª Ed. UNAM. México, D. F. 246 p.
4. Gipson T., A. and Grossman M. 1989. Diphasic analysis of lactation curves in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 72:1035-1044.
5. Gipson T., A. and Grossman M. 1990. Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Rum. Res.* 3: 383-396.
6. Gipson T., A., L. Fernando R. and Grossman M. 1990. Effects of smoothing data on estimation of parameters for multiphasic lactation curves of dairy goats. *Livest. Prod. Sci.* 24: 205-221.
7. Greyling J., P. C., M. Mmbengwa V., M. J. Schwalbach L. and Muller T. 2004. Comparative milk production potential of Indigenous and Boer goats under two feeding systems in South Africa. doi:10.1016/j.smallrumres.2003.11.014.
8. Iaschi S., P. A., Hui J., N. Chong F., Strange A., Strange M., Bencini R. and K. Tay G. 2003. Comparison of the milk quality of the South African Boer and Australian Rangeland goats. doi:10.1016/j.smallrumres.2003.09.005.
9. Juneja V., K., M. Valenzuela M., Huang L., Gumudavelli V., Subbiah J., Thippareddi H. 2006. Modelling the effect of temperature on growth of Salmonella in chicken. doi:10.1016/j.fm.2006.08.004
10. Kala S., N. and Prakash B. 1990. Genetic and phenotypic parameters of milk yield and milk composition in two Indian goat breeds. *Small Rum. Res.* 3:475-484.
11. Lennox S., D., A. Goodall E., and S. Mayne C. 1993. Mathematical Modelling of Milk Production. *The Statistician* 42:249-260.
12. Lombaard C., S. 2006. Hierarchical bayesian modelling for the analysis of the lactation of dairy animals. Ph. D. Thesis. Faculty of Economic and Management Sciences, Department of Mathematical Statistics, University of the Free State Bloemfontein. South Africa.
13. Mellado M., Rodríguez S., López R., Rodríguez A. y García J. E. 2004. Relación entre la producción y composición de la leche y el perfil sanguíneo de las cabras al inicio de lactancia en agostaderos.

Memorias de la XIX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA. Acapulco, Gro. México. pp: 276-280.

14. Min B., R., P. Hart S., Sahlu T., D. Satter L. 2005. The effect of diets on milk production and composition

and on lactation curves in pastured dairy goats. *J Dairy Sci.* 88(7):2604-2615.

15. Olori V., E., Brotherstone S., G. Hill W. and J. McGuirk B. 1999. Fit of standard models of the lactation

curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livest. Prod. Sci.* 58:55-63.

16. Rekik B. and G. Ben A. 2004. Factors affecting the occurrence of atypical lactations for Holstein–Friesian

cows. *Livest. Prod. Sci.* 87: 245-250.

17. Sanz S., M. R., Chilliard Y., Schmidely Ph. and Boza J. 2006. Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. doi:10.1016/j.smallrumres.2006.09.017.

18. SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Institute Inc. Cary, NC, USA

19. Schabenberger O., 2008. Nonlinear Regression in SAS. University of California, Los Angeles, SAS

Library. [http://www.ats.ucla.edu/stat/SAS/library/SASNLin\\_os.htm](http://www.ats.ucla.edu/stat/SAS/library/SASNLin_os.htm).

20. Sherchand L., W. McNew R., W. Kellogg D. and B. Johnson Z. 1995. Selection of a mathematical model

to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2507-2513.

21. Tozer P., R. and G. Huffaker R. 1999. Mathematical equations to describe lactation curves for Holstein-

Friesian cows in New South Wales. *Aust. J. Agric. Res.* 50:431-440.

22. Valencia P., M., J. Dobler L. and H. Montaldo H. 2005. Genetic trends for milk yield in a flock of Saanen

goats in Mexico. *Small Rum. Res.* 57:281-285.

23. Vega y León S., N. Pérez F., G. Díaz G., R. Gutiérrez T., M. González L., C. González C., H. Salas J., A.

Ramírez A., Schettino B. y G. Prado F. 2004. Composición en ácidos grasos de grasa láctea caprina procedente de cuatro unidades productoras ubicadas en el altiplano mexicano. Memorias de la XIX Reunión Nacional sobre Caprinocultura. AMPCA. Acapulco, Gro. México. pp: 423-426.

24. Weigel K., A., A. Craig B., R. Bidwell T., and M. Bates D. 1992. Comparison of alternative diphasic

lactation curve models under bovine somatotropin administration. *J Dairy Sci* 75: 580-589.