

CURVAS DE LACTACIÓN DE BOVINOS MESTIZOS PARDO SUIZO EN LA REGIÓN DE AZUERO¹

*Axel Villalobos-Cortés²; Benigno Guerrero-Rojas³;
Jessica Hassán-Vasquez⁴; Domiciano Herrera-Domínguez⁵*

RESUMEN

Se evaluaron cinco modelos matemáticos de curva de lactancia en un sistema doble propósito en la región de Azuero y la influencia de algunos factores fijos sobre los parámetros que describen la curva. Los modelos utilizados fueron: gama incompleto o de Wood, Lineal, Cuadrático o de Dave, Nelder y Bianchini y Sobrinho. Los factores fijos evaluados son el genotipo, época de parto y número de lactación. Se utilizó el método de Marquardt para el cálculo de los parámetros de los modelos. Como criterio de decisión se utilizó el menor valor de cuadrado medio del error de la ecuación estudiada, acompañado del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}). Finalmente, se utilizó un modelo mixto, para determinar la influencia de los factores fijos sobre los parámetros a, b y c que determinan la forma de la curva de lactación. De los modelos evaluados, el modelo de Dave fue el que mejor valor de ajuste presentó, con un cuadrado medio del error de 5,6127 y R^2_{aj} de 0,9284. Los efectos de genotipo y época del año ejercieron influencia sobre los parámetros de la curva de lactación.

PALABRAS CLAVES: Modelos matemáticos, producción animal, doble propósito, genotipo, época del año.

¹Recepción: 28 de septiembre de 2015. Aceptado: 17 de marzo de 2016.

²Ph.D. en Conservación y mejora animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC)
Carlos Vermon Winter. e-mail: villalobos.axel@gmail.com

³M.Sc. en Gestión Agroempresarial y Ambiental. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).

⁴M.Sc. en Agroforestería Tropical. IDIAP. CIAA.

⁵M.Sc. en Nutrición Animal. IDIAP. CIAA.

LACTATION CURVE IN BROWN SWISS CROSSES IN THE REGION OF AZUERO

ABSTRACT

Five mathematical models of lactation curve were evaluated in the region of Azuero and the influence of some fixed factors over the parameters that describe the lactation curve. The models used were: incomplete gamma or Wood, Linear, Quadratic or Dave, Nelder and Bianchini and Sobrinho. The fixed factors evaluated were, genotype, calving season and parity number. Marquadt method was used to calculate the parameter models. The decision judgment was the maximum value of adjusted multiple coefficient of determination (R^2_{aj}) and the minimum value of mean square errors. Finally, a mixed model was used for the determination of the influence of the fixed factors, over a, b and c parameters in the shape of the lactation curve. From the evaluated models, the quadratic or Dave model show the best adjustment with 5,6127 of mean square errors and 0,9284 R^2_{aj} . The genotype and the calving season were a meaning influence the lactation curve parameters.

KEYWORDS: Mathematical models, animal production, dual purpose, genotype, season.

INTRODUCCIÓN

El concepto curva de lactancia o curva de lactación es definido por Papajscik y Boderó (1988), como una representación gráfica de la relación que existe entre la producción por día de leche y el tiempo que transcurre desde el momento del parto. El estudio de esta curva permite realizar estimaciones de la producción total de leche mediante una medición diaria y es una herramienta valiosa para el productor con respecto a la toma de decisiones gerenciales y de selección como la identificación de animales con mayor potencial productivo y el descarte de los animales poco productivos (Wood 1974, Gipson y Grossman 1990).

Además, el estudio de la curva de lactancia permite la identificación de fallas de manejo en los animales tales como mala alimentación, instalaciones inadecuadas y patologías no aparentes (Graminha *et al.* 1996). Por otro lado, la correlación positiva del peso al destete de los terneros y la producción de leche constituyen un factor de influencia en la ganancia de peso predestete (Valverde *et al.* 2004) particularmente en los sistemas doble propósito donde el ternero también es importante (Osorio 1998, Ruíz y Moro 1998).

Es primordial establecer los parámetros de la curva de lactación que

mejor se ajustan a la producción de leche de las vacas. El efecto del genotipo, hato y los efectos ambientales que afectan estos parámetros, determinan la forma de la curva, viéndose afectada, consecuentemente, la producción de leche (Fresno *et al.* 1992, Fresno 1993, Gonçalves *et al.* 1997). Existen muchos factores que pueden afectar la producción total de leche en una lactación (McManus *et al.* 1997). Los principales factores que pueden influenciar los niveles productivos de un hato bovino lechero y de su curva de lactación son la raza, época de parto, edad de la vaca, ambiente y estado fisiológico (Osorio y Segura-Correa 2005, Rodríguez *et al.* 2005).

Existen un gran número de modelos de curvas de lactación propuestos por diversos autores de los cuales podemos mencionar la función gamma incompleta (Wood 1967); el modelo de regresión lineal simple (Madalena *et al.* 1979, el modelo cuadrático (Dave 1971); el modelo de Nelder (1966) y el de Bianchini-Sobrinho y Duarte (1988).

En comparación con los sistemas especializados, la ganadería doble propósito es menos eficiente en producir leche por lactancia, de manera que el ternero se aprovecha para compensar esta deficiencia y la evaluación de la curva de lactancia en estos sistemas es de gran

utilidad sobre todo en la producción de terneros para la venta.

El objetivo de este trabajo fue comparar cinco diferentes modelos de curvas de lactación en un sistema doble propósito en la región de Azuero y la influencia de algunos factores fijos sobre los parámetros que describen la curva.

El estudio se llevó a cabo durante los años de 2000 a 2007, en la unidad productiva de leche de la estación experimental El Ejido, Los Santos, la cual se encuentra a una altura de 26 msnm con temperatura media anual de 27,5°C y precipitación media anual de 1122 mm. La finca tiene un total de 100 ha y con pasto *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Cynodon nlemfluensis* y *Digitaria swazilandensis*, el manejo se practica mediante pastoreo rotacional y suplementos, utilizando concentrados, mezclas líquidas (melaza, urea, maíz, soya) y una premezcla de sales minerales. Durante la época seca de enero a mayo, los bovinos se mantienen bajo estabulación, se alimentan con ensilaje de maíz y el suplemento. La unidad posee una galera de ordeño mecanizado en tándem con capacidad para cuatro vacas y dos ordeños simultáneos. Se practica el doble ordeño sin ternero y se cuenta con tanque de enfriamiento, sala de espera, depósito de medicinas y alimentos.

En cuanto al manejo de la salud y reproducción se dió seguimiento a un calendario de exámenes y tratamientos diseñados sobre el programa de manejo de hatos lecheros conocido en inglés como Veterinary Automated Management and Production control Programme (VAMPP®).

Como base de información, se utilizó el archivo histórico de los controles realizados en el hato lechero de la estación experimental El Ejido, perteneciente al IDIAP, durante los años comprendidos entre 2000 y 2007, lo que supone un total de 5677 controles efectuados.

La producción de leche se controló semanalmente y se registró mediante el programa VAMPP® mencionado previamente. Para el estudio del ajuste de la curva de lactación fueron seleccionados cinco modelos empíricos en función del número de lactación (vacas de primera, segunda, tercera, cuarta y quinta lactación), tratándose en todos los casos lactaciones estandarizadas a 305 días.

Para el cálculo de los parámetros de los modelos se utilizó el método de Marquardt (1963). Como criterio de ajuste de los modelos, se utilizó el menor valor del cuadrado medio del error (CME) de la ecuación estudiada, acompañado del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}).

Los modelos utilizados fueron: La función gamma incompleta (Wood 1967) $y(t) = a t^b e^{-ct}$, el modelo de regresión lineal simple (Madalena *et al.* 1979) $y(t) = a + bt$, el modelo cuadrático (Dave 1971) $y(t) = a + bt + ct^2$, el modelo de Nelder (1966) $y(t) = t/a + bt + ct^2$, Bianchini-Sobrinho y Duarte (1988) $y(t) = a + bt + c/t$ donde y representa la producción diaria de leche registrada al tiempo t , t son los días de lactación, a es la media de la producción al inicio de la lactación, b y c son constituyentes de la curva antes y después del pico de lactancia.

El modelo mixto final para determinar la influencia de los factores fijos sobre a , b , c , pico de producción (PPL) y días en que se alcanza la máxima producción de leche (DPL) fue:

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + EP_j + NL_k + V(G)_{lm} + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = es el n-ésimo coeficiente de la curva que mejor se ajusta para la vaca l , del genotipo i , en la época j , en su lactancia k ;
 μ = es la media general;

G_i , EP_j , NL_k , = son los efectos fijos de genotipo ($i=1, 2$), Época ($j=1, 2$), Número de lactancia ($k=1, 2, \dots, 5$)

y V_l y e_{ijklm} = son los efectos aleatorios de vaca dentro de G_i

Los valores de los parámetros a , b y c , para los diferentes modelos no lineales

estudiados se observan en el Cuadro 1. Todos los modelos mostraron ajustes con un valor mínimo de 0,9240 para el modelo lineal y un valor máximo de 0,9284 para el modelo de Dave y valores de cuadrado medio de error que oscilaron entre 5,6127 para el modelo de Dave y 5,9583 para el modelo lineal.

El modelo que mejor valor de ajuste presentó fue el modelo de Dave, con CME de 5,6127 y R^2_{aj} de 0,9284 seguido por el modelo de Wood con valores de CME de 5,6632 y R^2_{aj} de 0,9278, con una diferencia de 0,89 y 0,06% entre los valores de CME y R^2_{aj} , respectivamente (Cuadro1).

Al comparar las curvas de lactancia de los genotipos estudiados, se observó diferencias significativas ($P<0,05$) en los parámetros que describen dichas curvas. En el caso del genotipo 1, el mismo presentó menor valor de **a**, una mayor respuesta del parámetro **b** y una mayor caída del valor del parámetro **c**, lo que

nos indicó que la curva de lactancia del genotipo 1 presentó una pendiente alta y prolongada para llegar al pico de lactancia que fue 9,52 kg de leche en 132 días, pero con una persistencia menor que el genotipo 2 (Cuadro 2).

Observando la curva descrita en el análisis se presentan picos poco pronunciados y un mayor número de días para alcanzar el pico de producción, a diferencia de los encontrados por Osorio y Segura (2005) que reportan menores DPL (51,91-61,30) para alcanzar el PPL (11,01-11,89). La conformación de la curva de lactación del genotipo 2 reflejaría una mayor producción de leche por lactancia. Por otra parte, se observó el efecto de la diferencia ($P<0,05$) entre la época lluviosa y seca, siendo la época lluviosa la que describió la curva con mayor valor de **a**, un menor valor de **b** y un mayor valor de **c**, describiendo una curva que presenta un menor tiempo para alcanzar el pico de lactancia y mayor persistencia de la curva.

CUADRO 1. PARÁMETROS ESTIMADOS PARA CADA UNO DE LOS MODELOS ESTUDIADOS.

Modelo	a	b	c	CME	R^2_{aj}
Dave	7,79	0,0226	-0,00009	5,6127	0,9284
Wood	4,36	0,2191	-0,00259	5,6632	0,9278
Nelder	0,54	0,0906	0,000141	5,7638	0,9265
Bianchini-Sobrinho	10,16	-0,00906	-25,8144	5,7832	0,9262
Lineal	9,28	-0,00542	...	5,9583	0,9240

a,b,c=Parámetros de la curva, CME=Cuadrado medio residual, R^2_{aj} =Coeficiente determinativo ajustado.

CUADRO 2. PARÁMETROS ESTIMADOS PARA EL MODELO DE DAVE PARA GENOTIPO, ÉPOCA Y NÚMERO DE LACTANCIA.

Efecto	a	b	c	DPL (d)	PPL (kg)
Genotipo					
1 (½ SXC)	6,06 ^a	0,0526 ^a	-0,0002 ^a	132	9,52
2 (¾ SXC)	7,77 ^b	0,0233 ^b	-0,0001 ^b	117	9,13
Época					
1 (Lluviosa)	7,87 ^a	0,02505 ^a	-0,00011 ^a	114	9,30
2 (Seca)	6,65 ^b	0,03621 ^b	-0,00014 ^b	129	8,99
Número de Lactancia					
1	7,29 ^{ns}	0,01742 ^a	-0,00008 ^{ns}	109	8,24
2	7,61 ^{ns}	0,03897 ^{ab}	-0,00015 ^{ns}	130	10,14
3	6,74 ^{ns}	0,04393 ^b	-0,00018 ^{ns}	122	9,42
4	5,38 ^{ns}	0,05857 ^b	-0,00021 ^{ns}	139	9,46
5	1,16 ^{ns}	0,10770 ^b	-0,00035 ^{ns}	154	9,45

a,b,c=Parámetros de la curva, CME=Cuadrado medio residual, DPL=Día pico de lactancia, PPL=Producción al pico de lactancia, Variables con letras diferentes son significativas.

La diferencias entre ambas épocas se puede atribuir a una mayor disponibilidad de forraje en la época lluviosa por lo que mejoró los parámetros de la curva.

En los parámetros de la curva por número de lactancia no se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) a excepción de el parámetro **b**, que si mostró efectos diferentes.

En conclusión, el modelo cuadrático de Dave, se ajustó al comportamiento productivo del sistema doble propósito evaluado. Los efectos de genotipo y

época del año ejercieron influencia sobre los parámetros que describe la curva de lactancia y en cuanto al número de lactancia, a excepción de **b**, que no influyó sobre los parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

- Bianchini-Sobrinho, E; Duarte, FAM. 1988. Genetic and environmental aspects of the linear hyperbolic lactation curve. Revista Brasileira de Genética 11(3): 671-678.
- Dave, BK. 1971. First lactation curve of the Indian water buffalo. INKUV Research Journal 5: 93-95.

- Fresno, M, Delgado, JV; Rodero, JM. 1992. Modelo de curva de primera lactación en cabras Canarias. Arch. Zootec. 41: 81-84.
- Fresno, M. 1993. Estudio de la producción láctea en la Agrupación Caprina Canaria. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, 169 p.
- Graminha, CV, Resende, KT; Ribeiro, SDA. 1996. Estudo comparativo entre as curvas de produção real e a curva de produção teórica em cabras leiteiras. *In Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 33. Fortaleza. p. 552-553.
- Gipson, TA; Grossman, M. 1990. Lactation curves in dairy goats; a review. *Small Ruminant Research* 3: 383-396.
- Gonçalves, TM; Martinez, ML; Milagres, JC. 1997. Curva de lactação na raça Gir. 2. Influência dos fatores de meio ambiente, estimativa de repetibilidade e herdabilidade para parâmetros da curva de lactação quadrática logarítmica. *Revista Brasileira de Zootecnia* 26: 88-97.
- Madalena, FE; Martinez, ML; Freitas, AF. 1979. Lactation curves of Hostein-Friesian and Holstein-Friesian x Gir cows. *Anim. Prod.* 29: 101-107.
- Marquardt, DW. 1963. An algorithm for least square estimation of non linear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Matem.* 11: 97.
- McManus, C; Guth, TLF; Saueressig, MG. 1997. Curvas de lactação em gado holandês em confinamento total no DF. *In Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 34. Juiz de Fora. p. 74-76.
- Nelder, JA. 1966. Inverse polynomials, useful group of multifactor response functions. *Biometrics* 22: 128-141.
- Osorio, M; Segura-Correa, J. 2005. Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México. *Téc. Pec. Méx.* 43(1): 127-137.
- Osorio, M. 1998. Características de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Observaciones sobre el comportamiento productivo de grupos raciales. *In IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería bovina de Doble Propósito*. Villa Hermosa. Tabasco, MX. p. 8-24.

- Papajscik, I; Boderó, J. 1988. Modeling lactation curves of Friesian cows in subtropical climate. *Anim. Prod.* 47: 201-207.
- Rodríguez, L; Ara, M; Huaman, R; Echevarría, L. 2005. Modelos de ajustes para curvas de lactación de vacas en crianza intensiva en la cuenca de Lima. *Rev Inv Vet Perú* 16(1): 1-12.
- Ruíz, F; Moro, J. 1998. Programa de mejoramiento genético con sementales híbridos en sistemas de doble propósito. *In* IV Foro de análisis de los recursos genéticos: Ganadería de doble propósito. Tabasco, MX. p. 35-43.
- Valverde, R; García-Muñiz, J; Núñez, R; Flores, A; Meraz, M. 2004. Comparación de ecuaciones para estimar curvas de lactancia con diferentes estrategias de muestreo en bovinos Angus, Suizo y sus cruces. *Vet. Méx.* 35(3): 187-201.
- Wood, PDP. 1967. Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production with estimates of seasonal variation. *Anim. Prod.* 22: 35.
- Wood, PDP. 1974. A note of estimation of total lactation yield from production on a single day. *Anim. Prod.* 19: 393-396.