

MODELACIÓN DE CURVAS DE LACTANCIA PARA PRODUCCIÓN DE LECHE POR PARTO EN VACAS HOLSTEIN EN BOYACÁ, COLOMBIA

MODELING THE LACTATION CURVES FOR MILK BY PARITY IN HOLSTEIN COWS IN BOYACÁ, COLOMBIA

**Oscar Vargas Pérez¹, Sergio Lasso Ramírez¹, Jaime Gaitán Molina¹,
Juan Corrales Alvarez*^{1,2}**

¹ Semillero de investigación en genética y modelación animal - SIGMA, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, Bogotá

² Zootecnista, MSc, PhD, Profesor Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, Bogotá

*jdcorrales@unisalle.edu.co

Resumen

El objetivo de este estudio fue modelar la curva de lactancia para los tres primeros partos de vacas de la raza Holstein en Boyacá, Colombia, para lo cual se utilizaron un total de 1794 registros de leche distribuidos entre los días 5 y 305 de lactancia, comparando los modelos no lineales de Wood, Wilmink, Papajcsik & Bordero y Brody a través de los criterios AIC, BIC y R^2 los cuales se obtuvieron utilizando la librería nls2 del programa estadístico R-project (3.1.3). Los modelos de Brody y de Wood presentaron un ajuste similar, sin embargo, el de Wood fue seleccionado por ser un modelo más parsimonioso. Los resultados con el modelo de Wood demostraron un mayor pico de producción en la tercera lactancia, alcanzado en la sexta semana de producción, aunque con una menor persistencia. En conclusión, el modelo de Wood presentó un mejor ajuste de la curva y se demostró un aumento en la producción en los tres primeros partos y como consecuencia un descenso en la persistencia.

Palabras claves: Control lechero, modelo matemático, pico de producción de leche, persistencia

Abstract

The aim of this study was to model the lactation curve to the first three lactations in Holstein cows in Boyacá, Colombia. A total of 1794 test day records of milk were used between 5 and 305 days in milk, from the first three lactation of Holstein cows from Boyaca. Comparison of the nonlinear models of Wood, Wilmink, Papajcsik & Bordero and Brody through the comparison criteria AIC, BIC and R^2 which were obtained using the statistical software R-project (3.1.3). The models of Brody and Wood presented a similar adjustment, however, the Wood was chosen for being more parsimonious. The results with the Wood model showed a higher milk yield at peak in the third lactation, reached in the sixth week of production, although with a lower persistence. In conclusion, the Wood model presented a better fit of the lactation curve, an

increase in the milk yield during the first three lactations, and consequently a decrease in the persistence.

Key words: dairy test, mathematical model, milk yield at peak, persistency

1. Introducción

La curva de lactancia (CL) consiste en una representación gráfica de la relación entre la producción de leche (PL) y los días en producción o días en leche (DEL). El análisis de la trayectoria de la CL permite estimar la cantidad de leche producida en una lactancia, el pico de producción, el tiempo para alcanzar el pico de producción, la producción promedio por día y la persistencia que presenta un animal durante la lactancia, adicionalmente, puede ser utilizada para el desarrollo de programas de mejoramiento genético o como una herramienta para identificar problemas de alimentación y manejo (Kamidi, 2005; Silvestre *et al.*, 2009; Quintero *et al.*, 2009).

La trayectoria de la CL es definida a través de funciones matemáticas que estiman el nivel de producción alcanzado en el tiempo (Quintero *et al.*, 2009). Diferentes modelos matemáticos (e.g., modelos polinomiales y modelos no lineales) han sido útiles para describir la curva de lactancia, algunos de los modelos no lineales son el de Brody, la función gamma incompleta o modelo de Wood, el de Wiltmink y el de Papajcsik y Bordero (Silvestre *et al.*, 2006; Pollott, 2000; Val-Arreola *et al.*, 2004). Los modelos matemáticos describen generalmente un incremento en la producción hasta llegar al pico de producción entre la semana 4 y 8 de lactación, seguida por un descenso gradual hasta que la vaca se seca (Adediran *et al.*, 2012; Silvestre *et al.*, 2009).

Una variación en la bondad de ajuste de los modelos en diversos sistemas de producción lechera ha sido reportada. Cañas *et al.*, (2011) encontraron que, en vacas lecheras del departamento de Antioquia, Colombia, la función gamma incompleta de Wood fue la que presentó un mejor ajuste. Strucken *et al.*, (2011) reportaron que el modelo Wilmink describió mejor la curva de lactancia. Por otro lado, varios estudios han evitado la comparación de modelos y utilizan el modelo gamma invertida (Wood, 1967) debido a la interpretación biológica que pueden tener sus parámetros en la trayectoria de producción (Varona *et al.*, 1998; Gradiz *et al.*, 2009; Vargas and Ulloa, 2008).

La curva de lactancia puede variar dentro y entre los diferentes partos (Friggens and Veerkamp, 1999). Hansen *et al.*, (2006) encontraron una menor aceleración en la producción de leche en vacas de primer parto y un incremento a medida que la vaca avanza en el número de partos. Adicionalmente, se ha observado una mayor producción de leche en vacas múltiparas al compararse con vacas de primer parto (Rekik *et al.*, 2003; Cañas *et al.*, 2011). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue modelar las curvas de lactancia para producción de leche en los tres primeros partos de vacas Holstein en Boyacá, Colombia.

2. Materiales Y Métodos

Se emplearon un total de 1794 datos de control lechero mensual, realizados en 20 fincas ubicadas en el departamento de Boyacá en los municipios de Belén, Cerinza, Nobsa, Pesca, Sotaquirá y Toca con una temperatura media de 17.5 °C, con precipitaciones de 2200 mm/año, altitud de 2200 a 2400 msnm y una humedad relativa de 71%. Los datos fueron agrupados por parto (1ro, 2do o 3er) y se tuvieron en cuenta los datos de vacas que tenían más de 4 controles lecheros distribuidos entre los días 5 y 305 de lactancia.

Para modelar la trayectoria de la curva de las tres primeras lactancias se compararon 4 modelos matemáticos (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos utilizados para comparar el ajuste de la curva de lactancia en vacas Holstein de Boyacá.

Autor	Modelo
Wood (1967)	$Y = at^b e^{-ct}$
Wilmink (1987)	$Y = a + bt + ce^{-0.05t}$
Papajcsik & Boderó (1988)	$Y = ate^{-ct}$
Brody et al., (1924)	$Y = ae^{bt} - ae^{-ct}$

Y= producción de leche; t= Días en lactancia; a, b y c = parámetros del modelo; e = función exponencial.

La interpretación de los parámetros (a , b y c) puede variar entre los modelos, por ejemplo en el modelo de Wood (1967) a se asocia con la producción al inicio de la lactancia, b es un parámetro que determina la pendiente o incremento de la función y c es un parámetro que determina la desaceleración de la función.

Para la elección del modelo que mejor ajustó las curvas de lactancia se tuvieron en cuenta los criterios de información de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC) y el coeficiente de determinación (R^2).

$$AIC = -2\ln L + 2K \text{ (Akaike, 1974)}$$

$$BIC = -2\ln L + 2K\ln(N) \text{ (Schwarz, 1978)}$$

Donde K corresponde al número de parámetros estimados, $-2\ln L$ es el valor máximo de la función de verosimilitud y N el tamaño de la muestra. El modelo que mejor ajustó los datos presentó los menores valores para los criterios AIC y BIC, y un mayor valor para R^2 .

A través de la primera derivada del modelo que mejor ajustó los datos se estimó el tiempo en el cual se alcanza el pico de producción (TP) y la producción máxima o producción al pico (PP) utilizando el $t=TP$. La persistencia (PER) fue calculada a través de la fórmula:

$$PER = \frac{\bar{x}_{Prod}}{PP} * 100$$

donde \bar{x}_{prod} es la media de producción.

Los análisis se realizaron utilizando la librería nls2 del programa estadístico R-project versión 3.1.3.

3. Resultados y discusión

Los valores de AIC, BIC y R^2 para cada uno de los modelos analizados en este estudio se presentan en la tabla 1. Los modelos de Wood, Wilmink y Brody presentaron valores similares de AIC y BIC; teniendo en cuenta el valor de R^2 tanto el modelo de Wood como el modelo de Brody presentaron resultados similares, sin embargo, se eligió el modelo de Wood porque es más parsimonioso (es un modelo más sencillo) comparado con el de Brody y además sus parámetros poseen una interpretación biológica.

Tabla 2. Criterios de comparación para escoger el mejor modelo que ajuste la curva de producción de leche de vacas Holstein en el departamento de Boyacá.

Parto	Modelo	AIC	BIC	R^2
1	Wood	6648.93	6665.53	89.35
	Wilmink	6648.05	6664.65	17.14
	Papajcsik y Bordero	7419.53	7430.60	83.90
	Brody	6646.94	6663.54	89.36
2	Wood	7559.33	7575.88	87.14
	Wilmink	7557.05	7573.61	15.10
	Papajcsik y Bordero	8159.51	8170.55	82.16
	Brody	7566.96	7583.52	87.08
3	Wood	5178.25	5193.47	85.43
	Wilmink	5175.07	5190.28	16.30
	Papajcsik y Bordero	5488.70	5498.84	81.01
	Brody	5183.15	5198.37	85.37

Los valores de producción inicial asociados con el parámetro a (Tabla 3) en el modelo de Wood fueron inferiores a los reportados por Cañas *et al.*, (2011) en vacas Holstein en Antioquia quienes encontraron valores para este parámetro de 16.8, 19.3 y 20 L en los primeros tres partos, respectivamente, resultados similares fueron encontrados por Jeretina *et al.*, (2013) en vacas Holstein en Eslovenia quienes reportaron valores superiores a 15.7 L para las tres primeras lactancias.

Para los tres primeros partos el tiempo al pico se alcanzó aproximadamente a las 6 semanas de lactancia, resultados que son inferiores a los reportados por Lemus-Ramírez *et al.*, (2008) quienes encontraron que aproximadamente a la semana 5 vacas Holstein alcanzaban su pico de lactancia. Cañas *et al.*, (2011) reportaron un pico de lactancia a las 4 semanas de lactación. Los resultados de

este estudio para tiempo al pico se encontraron de acuerdo a los rangos reportados por Silvestre *et al.*, (2009) de entre 4 y 8 semanas.

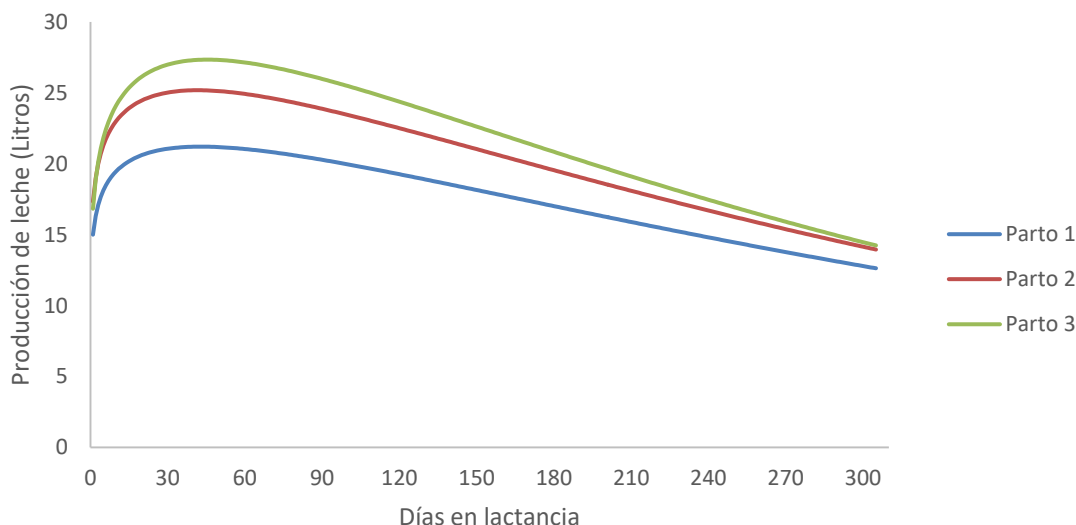
Tabla 3. Valores de los parámetros (a, b y c) y de los parámetros productivos por parto calculados a partir de la curva de lactancia de vacas Holstein de Boyacá.

Parto	a ± EE	b ± EE	c ± EE	TP	PP	MP	PER
1	15.05±1.66	0.12±	0.0029±	42.78	21.21	17.60	82.98
	17.39±	0.03	0.00037				
2	2.13	0.14±	0.0033±	41.53	25.19	20.39	80.94
	16.89±	0.04	0.00041				
3	2.86	0.17±	0.0038±	45.41	27.34	21.75	79.54
		0.05	0.00058				

EE: error estándar; TP: tiempo al pico; PP: producción al pico en litros (L); MP: producción media diaria en litros; PER: persistencia en porcentaje.

La mayor producción al pico se alcanzó en el tercer parto (Figura 1), donde se puede observar un incremento de 3.18 L para la segunda lactancia comparada con la primera y de 2.15 L entre la segunda y tercera lactancia (Tabla 3). La producción al pico fue inferior a las encontradas en otros estudios (Jeretina *et al.*, 2013; Silvestre *et al.*, 2009; Cañas *et al.*, 2011), sin embargo, fueron superiores a las encontradas por Lemus-Ramírez *et al.*, (2008). Otros estudios encontraron resultados similares analizando producción de leche en ganado Holstein donde hembras de primer parto presentan un pico de producción bajo comparadas con hembras múltiparas (Boujenane and Hilal, 2012; Fadlelmoula *et al.*, 2007).

Figura 1. Curvas de lactancia por parto de vacas Holstein de Boyacá utilizando el modelo de Wood.



El efecto del parto sobre la producción de leche se encuentra ilustrado en la Figura 1. El grafico muestra que el número de parto afecta la producción de leche, adicionalmente, se observa una mayor persistencia en vacas de primer parto (Tabla 3). Por otro lado, se observa un efecto inverso entre el pico de producción y la persistencia, donde la mayor persistencia se alcanza cuando

existe un menor pico de producción, lo cual puede ser explicado porque al presentar un menor pico de producción es más probable que las vacas permanezcan más tiempo con producciones cercanas al pico (Jamrozik *et al.*, 1998). Por otro lado, la producción total a los 305 días calculada como la suma de la producción diaria fue de 5367.89 L, 6217.615 L y 6634.11 L para las tres primeras lactancias, respectivamente. Estos resultados concuerdan a los reportados históricamente en la raza Holstein, donde las mayores producciones se obtienen entre la tercera y quinta lactancia (Ruiz 1989; Ray *et al.*, 1992).

4. Conclusión

En conclusión, el modelo de Wood fue el modelo que mejor explicó las curvas de lactancia para producción de leche debido a que es un modelo más parsimonioso comparado con el modelo de Brody. Este modelo permitió identificar algunos parámetros productivos calculados a partir de la curva de lactancia evidenciándose un aumento en la producción en los tres primeros partos y un descenso en la persistencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la vicerrectoría de investigación de la Universidad de la Salle por la financiación de este trabajo a través del proyecto: "Influencia de los fenómenos climáticos sobre la producción y calidad composicional de la leche en sistemas de producción lechera en Colombia". Este artículo hace parte de la modalidad de grado para optar al título de Zootecnista de los primeros tres autores.

Bibliografía

- Adediran, S.A., D.A. Ratkowsky, D.J. Donaghy, A.E.O. Malau-Aduli, M.D. Hanigan, A.S. Rook, and D.E. Beever. 2012. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:5344–56. doi:10.3168/jds.2011-4663.
- Akaike, H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Trans. Autom. Control.* 19:716–723.
- Boujenane, I., and B. Hilal. 2012. Genetic and non genetic effects for lactation curve traits in Holstein-Friesian cows. *Arch. Fur Tierzucht-Archives Anim. Breed.* 55:450–457.
- Brody, S., C.W. Turner, and a C. Ragsdale. 1924. the Relation Between the Initial Rise and the Subsequent Decline of Milk Secretion Following Parturition. *J. Gen. Physiol.* 6:541–5.
- Cañas, J., M. Cerón-Muñoz, and J. Corrales. 2011. Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína en bovinos Holstein en Antioquia, Colombia. *Rev. MVZ Cordoba.* 16:2514–2520.

- Fadlelmoula, A.A., A. Nikhaila, and A.M. 11. 2007. Lactation Curve and Persistency of Crossbred Dairy Cows in the Sudan. *J. Appl. Sci. Res.* 3:1127–1133.
- Friggens, N.C., and R.F. Veerkamp. 1999. The influence of parity on lactation curve coefficients in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 62:1–13.
- Gradiz, L., L. Alvarado, A.K. Kahi, and H. Hirooka. 2009. Fit of Wood's function to daily milk records and estimation of environmental and additive and non-additive genetic effects on lactation curve and lactation parameters of crossbred dual purpose cattle. *Livest. Sci.* 124:321–329. doi:10.1016/j.livsci.2009.02.016.
- Hansen, J. V., N.C. Friggens, and S. Højsgaard. 2006. The influence of breed and parity on milk yield, and milk yield acceleration curves. *Livest. Sci.* 104:53–62. doi:10.1016/j.livsci.2006.03.007.
- Jamrozik, J., Jansen, G., Schaeffer, L.R., & Liu, Z. 1998. Analysis of persistency of lactation calculated from a random regression test day model. *Interbull Bulletin*, (17), 110.
- Jeretina, J., D. Babnik, and D. Škorjanc. 2013. Modeling lactation curve standards for test-day milk yield in holstein, Brown Swiss and simmental cows. *J. Anim. Plant Sci.* 23:754–762.
- Kamidi, R.E. 2005. A parametric measure of lactation persistency in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 96:141–148. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.11.042.
- Lemus-Ramírez, V., A. Guevara-Escobar, and J.G. García-Muñiz. 2008. Curva de lactancia y cambio en el peso corporal de vacas Holstein-Friesian en pastoreo. *Agrociencia.* 42:753–765.
- Papajcsik, I.A., and J. Boderó. 1988. Modelling lactation curves of Friesian cows in a subtropical climate. *Anim. Prod.* 47:201–207. doi:10.1017/S0003356100003275.
- Pollott, G.E. 2000. A Biological Approach to Lactation Curve Analysis for Milk Yield. *J. Dairy Sci.* 83:2448–2458. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75136-8.
- Quintero, J.C., J.I. Serna, N. a. Hurtado Lugo, R. Rosero Noguera, and M.F. Cerón Muñoz. 2009. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. *Rev. Colomb. Ciencias Pec. (Colombian J. Anim. Sci. Vet. Med.* 20:149–156.
- Ray, D.E., Halbach, T.J., and Armstrong, D.V. 1992. Season and Lactation

- Number Effects on Milk Production and Reproduction of Dairy Cattle in Arizona¹. *Journal of dairy science*, 75(11), 2976-2983.
- Rekik, B., A. Ben Gara, M. Ben Hamouda, and H. Hammami. 2003. Fitting lactation curves of dairy cattle in different types of herds in tunisia. *Livest. Prod. Sci.* 83:309–315. doi:10.1016/S0301-6226(03)00028-9.
- Ruíz, F.A. 1989. Parámetros genéticos para producción de leche, intervalo entre partos y producción de leche por día de intervalo en ganado Holstein (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México).
- Schwarz, G. 1978. Estimating the Dimension of a Model. *Ann. Stat.* 6:461–464.
- Silvestre, A.M., A.M. Martins, V.A. Santos, M.M. Ginja, and J.A. Colaço. 2009. Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livest. Sci.* 122:308–313. doi:10.1016/j.livsci.2008.09.017.
- Silvestre, A.M., F. Petim-Batista, and J. Colaço. 2006. The Accuracy of Seven Mathematical Functions in Modeling Dairy Cattle Lactation Curves Based on Test-Day Records From Varying Sample Schemes. *J. Dairy Sci.* 89:1813–1821. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72250-0.
- Strucken, E.M., D.J. de Koning, S.A. Rahmatalla, and G.A. Brockmann. 2011. Lactation curve models for estimating gene effects over a timeline. *J. Dairy Sci.* 94:442–449. doi:10.3168/jds.2009-2932.
- Val-Arreola, D., E. Kebreab, J. Dijkstra, and J. France. 2004. Study of the Lactation Curve in Dairy Cattle on Farms in Central Mexico. *J. Dairy Sci.* 87:3789–3799. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73518-3.
- Vargas, B., and J. Ulloa. 2008. Relación entre crecimiento y curvas de lactancia en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livest. Res. Rural Dev.* 20.
- Varona, L., C. Moreno, L.A.G. Cortes, and J. Altarriba. 1998. Bayesian Analysis of Wood's Lactation Curve for Spanish Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 81:1469–1478. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75711-X.
- Wilmink, J.B.M. 1987. Comparison of different methods of predicting 305-day milk yield using means calculated from within-herd lactation curves. *Livest. Prod. Sci.* 17:1–17.
- Wood, P. 1967. Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature.* 216:164–165.