

La proyección a 305 días como método para evaluar la producción de leche en hatos lecheros de Aguascalientes

*Carlos Urban Häubi Segura
José Antonio Alvizo Flores*

Introducción

El cálculo de la producción de leche representa una importante herramienta de manejo en los hatos lecheros, tanto para la selección del ganado como para el seguimiento de animales con problemas de salud e incluso para realizar investigación básica o aplicada (Fuhrman, 1993, 2003; Wilcox, 1999). Numerosos modelos matemáticos se han utilizado para describir la curva de lactancia y la producción total de la lactancia, sin embargo, éstos no son fáciles de utilizar a nivel de rancho ni tampoco permiten hacer comparaciones entre establos o entre animales específicos (López *et al.*, 2015). De forma ideal, se debe poder predecir el potencial de producción de una vaca con un mínimo de pesadas de leche. En este estudio se desarrolló un método basado en el sistema de Coeficientes de la Universidad de Mc-

Gill para calcular la proyección de leche a 305 días, con el objetivo de hacerlo más fácil de usar para el ganadero y el asesor técnico, así como para poder ser utilizado en la investigación animal.

Desarrollo del trabajo

Este trabajo se basa en: 1) desarrollo de un método sencillo para evaluar la proyección de leche a 305, y su posterior aplicación en el análisis de ranchos altos y bajos productores del estado de Aguascalientes; 2) llevar a cabo un programa de desecho voluntario; 3) análisis económico del ganado; 4) evaluación de la eficiencia energética de las raciones; y 5) uso de este método en la investigación.

1) Desarrollo del método

El método de McGill permite calcular la proyección de leche a 305 días a partir de la producción de leche en un día específico. Para esto, la Universidad de McGill (Quebec, Canadá) publicó, a partir de una base de datos de 70'000 lactancias completas, una tabla con coeficientes que corresponde al porcentaje de leche producido en una lactancia de 305 días ($100\% / 305 \text{ días} = 0.328\% / \text{día}$), donde el porcentaje sube en el pico de lactancia y baja conforme avanza la lactancia. El cálculo de la proyección a 305 (Proy305) se realiza dividiendo la producción de leche (kg) de un día en específico (Leche@DEL) entre el coeficiente correspondiente a ese día en leche (Coef@xDEL, ver Tabla 1) y multiplicándolo por 100:

$$\text{Proy305} = \text{Leche@DEL} / \text{Coef@DEL} * 100$$

Por ejemplo, una vaca adulta que produce 30 kg de leche a los 77 DEL tendrá una proyección a 305 días de $\text{Proy305} = 30 \text{ kg} / 0.400 * 100 = 7500 \text{ kg}$.

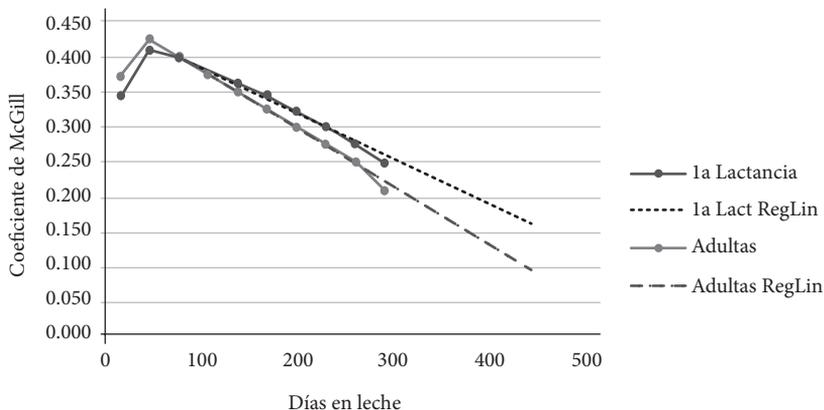
Tabla 1. Coeficientes de McGill para el cálculo de la Proyección a 305 días, originales y para lactancias extendidas (> 320 d, calculado por regresión lineal).

Mes de lactancia	Días en leche	1a Lactancia	Vacas Adultas	1a Lact RegLin	Adultas RegLin
1	16	0.348	0.371		
2	46	0.409	0.421		
3	77	0.397	0.400	0.400	0.400
4	107	0.381	0.376	0.381	0.376
5	138	0.362	0.350	0.361	0.350
6	168	0.344	0.326	0.341	0.325
7	199	0.323	0.299	0.321	0.300
8	229	0.301	0.276	0.301	0.275
9	260	0.277	0.249	0.281	0.250
10	290	0.249	0.211	0.261	0.225
11	320			0.241	0.200
12	350			0.222	0.175
13	380			0.202	0.151
14	412			0.181	0.124
15	443			0.161	0.099

Fuente: Canadian Dairy Information Center. Dairy production lactation curve. Recuperado de <http://animsci.agrenv.mcgill.ca/courses/450/topics/11.pdf>.

El problema de los coeficientes originales de McGill es que no permite el cálculo para lactancias extendidas (más de 305 días en leche), por lo que se incrementó por medio de una regresión lineal, a partir de los 77 DEL y hasta los 260 DEL. Para vaquillas, los parámetros obtenidos fueron: $\text{Coef}_{1a} = -0.06546x + 0.4508792$ ($r^2 = 0.99616$), y para vacas adultas: $\text{Coef}_{Adult} = -0.0008244x + 0.46387621$ ($r^2 = 0.99986$). Los resultados se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Coeficientes de McGill para el cálculo de la proyección a 305 días.



La curva generada por los coeficientes muestra claramente que las vaquillas de 1ª lactancia tienen una curva más plana, el pico es más bajo, pero la persistencia en leche es mejor. Esto se debe a que las vaquillas siguen produciendo la hormona de crecimiento (somatotropina), la cual estimula a su vez a la hormona IGF-1 (Insulin Growth Factor-1) reduciendo la apoptosis de la glándula mamaria y permite mayor producción de leche al final de la lactancia. Debido a que los coeficientes originales de McGill no incluyen el inicio de la lactancia y su pico se decidió ajustar un modelo matemático de regresión no lineal para interpolar todos los puntos en el tiempo, se calcularon unos nuevos coeficientes a partir de la curva generada por los coeficientes originales de McGill, ajustándolos con la ecuación gamma incompleta de Wood (1967):

$$Y = a * t^b * \exp(-c * t)$$

Donde “a” es un parámetro que describe el máximo de la curva, “b” y “c” son parámetros de la curva, y “t” es el tiempo, en este caso, Días en Leche (DEL). El ajuste de la curva se realizó por el método de los mínimos cuadrados utilizando el módulo de programación lineal SOLVER de la hoja de cálculo Excel (Microsoft). Los parámetros a, b, c para vacas adultas y vaquillas de primer parto calculados fueron, respectivamente, a: 0.2235466, 0.2040059, b: 0.2094196, 0.2167819 y c: 0.0041509, 0.0034993.

Incluyendo los nuevos coeficientes calculados por Wood, la ecuación de McGill queda así:

$$\text{Adultas: } \text{Proy305}_{\text{adultas}} = \text{kg@DEL} * (0.2235466 * \text{DEL}^{0.2094196} * \exp(-0.041509 * \text{DEL}) / 100$$

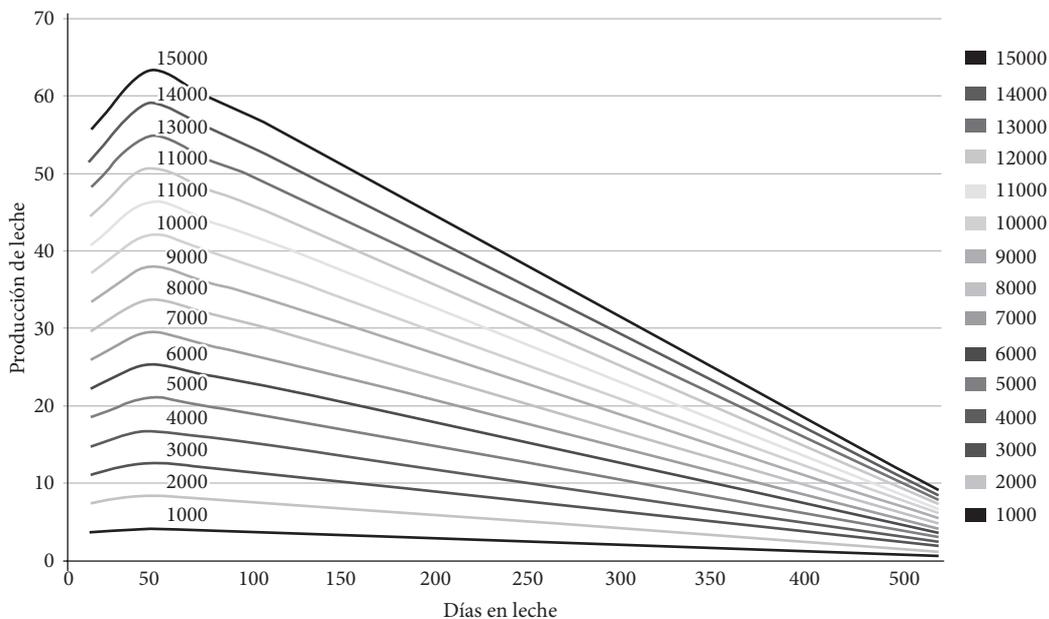
$$\text{Vaquillas: } \text{Proy305}_{\text{vaquillas}} = \text{kg@DEL} * (0.2040059 * \text{DEL}^{0.2167819} * \exp(-0.0034993 * \text{DEL}) / 100$$

A partir de estas ecuaciones se generó una matriz que calcula las curvas de lactancia completas para vacas adultas y vaquillas con proyecciones a 305 días, desde 1'000 hasta 15'000 kg. Para cada vaca y su Proy305 se calcularon las producciones por día en leche (kg@DEL), para cada día de la lactancia:

$$\text{kg@DEL} = \text{Proy305}/100 * \text{Coef@DEL}$$

Los resultados graficados permiten ver todas las lactancias ajustadas a 305 días, lo que permite al ganadero y al asesor identificar rápidamente la Proy305 de una vaca, con sólo conocer los DEL a la pesada, y la producción de leche (Figura 2). Por ejemplo, una vaca de 200 DEL y 30 kg de producción está sobre la curva de proyección 10'000 kg. Conforme esa vaca vaya avanzando en DEL, irá bajando de producción, pero mientras siga sobre la misma curva, seguirá siendo “una vaca de 10'000 kg”. Otro ejemplo es si la misma vaca produce 15 kg a los Por otro lado, si la vaca presenta un problema de salud, lo más probable es que produzca menos leche y baje su Proy305.

Figura 2. Curvas de lactancia generadas por el modelo de coeficientes de McGill para determinar la proyección a 305 días.



En la Figura 2 se puede observar que la forma de las curvas de lactancia de vacas altas productoras es diferente a las de media y baja producción. Las altas productoras tienen picos más cortos y acentuados, con una menor persistencia en leche, mientras que las vacas bajas productoras presentan picos más planos, que duran más días y tienen una mejor persistencia. Esto es reflejo, en gran medida, de la fisiología general de la vaca y en especial de la glándula mamaria, que primero tiene que alimentar a un becerro, pero conforme éste empieza a consumir alimentos sólidos, deja de mamar, por lo que la vaca empieza a secarse.

2) Programa de desecho voluntario

Los grandes hatos lecheros dependen de un programa de desecho voluntario para mejorar genéticamente (Fuhrman, 1993, 2003; Wilcox, 1999). Para validar este modelo se tomaron datos de seis hatos altos y seis bajos productores,

y a partir de las pesadas de leche se generó un histograma de frecuencias presentando las proyecciones a 305 días (Figura 3) donde se muestra la cantidad de vacas por grupo de proyección, y se identifican aquellos animales que están debajo de su punto de equilibrio económico ($\text{Proy305} < 7'500 \text{ kg}$). El porcentaje de desecho depende de la cantidad de vaquillas de reemplazo y de las necesidades de crecimiento del hato. En la gran mayoría de ranchos se encontró que 35% de los animales no se pagaban a sí mismos.

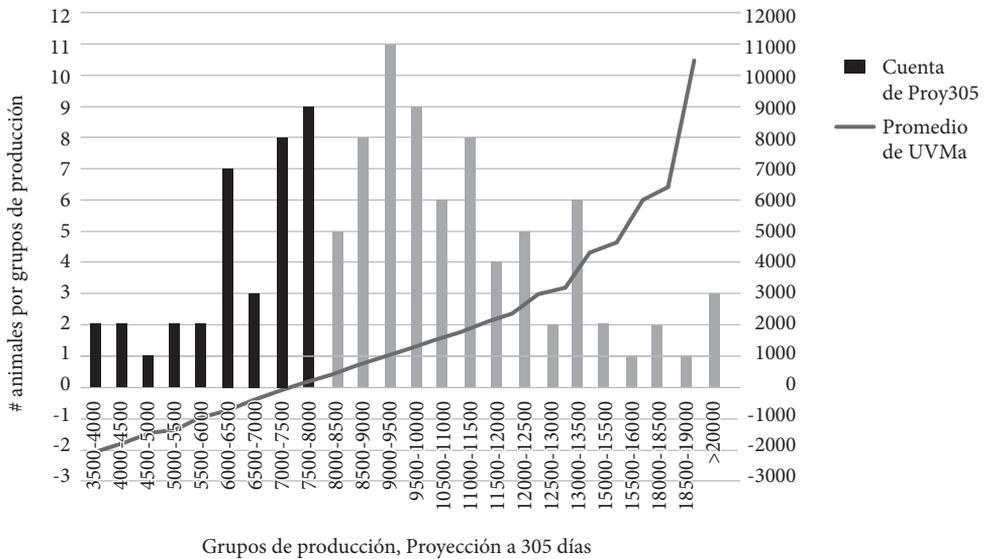
3) Análisis económico

A partir de la Proy305 , el precio de la leche y el costo de alimentación se calculó de forma individual (para cada vaca de todos los ranchos) la “Utilidad-Vaca-Mes por Alimento”:

$$\text{UVMa} = (\text{Proy305} * \text{PrecioLeche}) - (\text{Costo alimento 365 días}) / 30.4 \text{ días}$$

Donde el ingreso por vaca se calculó a partir de la Proy305 (usando el promedio de tres pesadas consecutivas), multiplicado por el precio promedio de la leche. El egreso se calculó a partir del costo de alimento a 365 días, mismo que se calculó como el consumo de materia seca (kg/d) multiplicado por el costo correspondiente: 0 a 21 días de ración de frescas; de 21 a 150 días en leche, ración de altas; y según la producción individual de cada vaca, los días con producción de 16 a 25 litros por el costo de ración de medias, y menos de 15 kg, ración de bajas; 45 días ración de secas y 21 días ración de parto. El costo de la alimentación de las vaquillas se calculó como el consumo durante toda la primera lactancia por el costo de una ración de alta producción más ración de secas y parto. Este análisis permite identificar rápidamente a las vacas con proyecciones de leche inferiores que no se pagan a sí mismas a lo largo de una lactancia, por lo que son sujetas a desecho una vez que su producción baje (Häubi y Gutiérrez, 2015).

Figura 3. Histograma de frecuencias que muestra el número de animales por grupo de producción y su correspondiente utilidad-vaca-mes por alimento (UVMa, eje Y derecha, curva roja).



4) Eficiencia energética

El modelo sirvió para analizar la eficiencia energética en ranchos altos y bajos productores del estado de Aguascalientes (Alvizo-Flores, 2018), en donde se calcularon los requerimientos de energía neta de lactancia (NRC, 2001) para cada etapa productiva y reproductiva. Los resultados mostraron diferencias importantes ($P < 0.01$) en producción lechera (9000 vs. 6500 kg/305d), niveles de energía neta de lactancia (38 vs. 24 Mcal ENLac/d) y de proteína cruda (4.0 vs. 2.8 kg/d), costos de las raciones (120 vs. 105 \$/d) para vacas en periodos de alta producción. La eficiencia energética fue mayor para los grandes hatos (0.67 vs. 0.55 ENLac/ENTotal, $P < 0.01$), lo cual contradice lo expuesto por otros autores que trabajan con sistemas a pequeña escala (Posadas *et al.*, 2013).

5) Uso en la investigación

Este modelo matemático permite comparar los cambios en la proyección de leche de cada individuo según el efecto de un tratamiento (nivel de nutrientes, aditivos, tratamiento médico, etcétera) o bien, se pueden comparar diferentes ranchos entre sí (*benchmarking*). Se recomienda el uso de modelos experimentales de tipo *switch-back*, donde cada animal es su propio control y se calcula su Proy305 en cada periodo de producción. Por ejemplo, con dos vacas y dos tratamientos y tres periodos se obtienen las siguientes periodos-vaca: Vaca 1: A1B2A3, Vaca 2: B1A2B3. El análisis estadístico se realiza sobre los cambios en la Proy305 conforme las vacas son cambiadas de tratamiento, pudiendo detectar cambios tan pequeños como 1 kg de leche por día.

Conclusiones

El análisis de las curvas de producción de leche a través del método de los coeficientes de McGill permite calcular la proyección a 305 días de vacas en cualquier momento de su lactancia, convirtiéndolo en un método rápido y sencillo de selección y evaluación del ganado, así como para la investigación y el análisis económico.

Referencias

- Alvizo-Flores, J.A. (2018). *Análisis de la eficiencia nutricional en hatos lecheros altos productores del Estado de Aguascalientes* (tesis inédita? de maestría), Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Fuhrman, T. (1993). *Production Medicine in Large Dairy Herds*. Western Large Dairy Herd Management Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 157-166.
- Fuhrman, T. (2006). *Managing the dairy farm: Key performance indicators*. Western Canadian Dairy Seminar Proceedings.
- Häubi Segura, C.U. y Gutiérrez Lozano, J.L. (2015). Evaluación de unidades familiares de producción lechera en Aguascalientes: estrategias para incrementar su producción y rentabilidad. *Avances en Investigación Agro-*

- pecuaria*, 19(2), 7-34. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83742619002>
- López S., France J., Odongo N.E., McBride R.A., Kebreab E., McBride B.W. & Dijkstra J. (2015). On the analysis of Canadian Holstein dairy cow lactation curves using standard growth functions. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2701-2712.
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th Rev. Ed.). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Posadas Domínguez R.R., Salinas Martínez, J.A., Callejas Juárez, N., Álvarez Fuentes, G., Herrera Haro, J., Arriaga Jordán, C.M. y Martínez Castañeda, F.E. (2013). Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000-2012. *Contaduría y administración* 59(2), 253-275.
- Wilcox, C.J. (1999). *Large Dairy Herd Management*. Amer. Dairy Science Assn, USA.
- Wood, P.D.P. (1967). Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature*. 216, 164-165.