

INVESTIGACIÓN

APLICACIÓN DE UN MODELO MÚLTIPLE DE CURVA DE LACTANCIA PARA VACAS LECHERAS¹

Application of a multiple model of milk production curve in dairy cows¹

Carlos Pedraza G.², Alberto Mansilla M.^{3*}, Ernesto Jahn B.⁴, Agustín Vidal V.⁵, Paola Fajardo R.² y Hernán Agüero E.⁶

ABSTRACT

The objective of the present work was to test a new mathematical expression destined to improve the interpretation of somatic cell counts and milk production levels. A multiple model of the lactation curve it was compared to the classical Wood model separately for each of the cell ranges (RC). A refined data base was used taken from a control system of five dairy herds, which represented a total of 1200 Holstein-Friesian dairy cows. The milk production curve was adjusted, separately for adult cows (AC) and first lactation cows (FLC), via the equation $y(t) = a t^b e^{-c t}$. The multiple model proposed was based in the previous equation incorporating the variable RC in the form of $y(t, RC) = a t^b e^{-c t + d RC + f RC^2}$, where $y(t, RC)$ = milk production in the t^{th} week for an AC or FLC with a cell range RC. The goodness of fit for individual models varied between 0.36 and 0.74 for FLC and 0.77 and 0.93 for AC. The multiple model with coefficients of determination of 0.59 and 0.89, for AC and FLC respectively, was found simpler and applicable. With respect to total estimated milk production, this multiple model permitted the inference that in both animal groups the difference between the lowest and the highest range is in the order of 25-28%. It was concluded that the multiple model proposed, seems to be simpler to understand and apply than the traditional Wood model.

Key words: mathematical model, somatic cells, milk production, mastitis.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue probar una nueva expresión matemática destinada a mejorar la interpretación de los recuentos de células somáticas y niveles de producción de leche. Un modelo múltiple de curva de lactancia se comparó con el modelo clásico de Wood, separadamente para cada uno de los rangos celulares (RC). Se trabajó con una base de datos depurada proveniente del control sistemático de cinco rebaños lecheros que representan una masa de 1.200 vacas Holstein Friesian. Se ajustó una curva de producción de leche, separadamente para vaquillas y vacas, mediante la expresión $y(t) = a t^b e^{-c t}$. El modelo múltiple propuesto estuvo basado en la ecuación anterior,

¹Recepción de originales: 24 de julio de 2001.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile. E-mail: cpedraza@platina.inia.cl

³Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago, Chile. E-mail: amansill@uchile.cl,

*Autor para correspondencia.

⁴Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. E-mail: ejahn@quilamapu.inia.cl

⁵Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Experimental Humán, Casilla 286, Los Ángeles, Chile. E-mail: human@quilamapu.inia.cl

⁶Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Pecuarias y Medicina Veterinaria, Casilla 2, Correo 15, Santiago, Chile. E-mail: haguero@uchile.cl

incorporando la variable RC en la forma $y(t, RC) = a t^b e^{-c t} e^{d RC + f RC^2}$. El grado de ajuste para los modelos individuales varió entre 0,36 y 0,74 en vaquillas, y 0,77 y 0,93 en vacas. El modelo múltiple, con coeficientes de determinación de 0,59 y 0,89 en vaquillas y vacas, respectivamente, resultó más simple y aplicable. Respecto a la producción total estimada, el modelo múltiple permitió inferir que en ambos tipos de animales la diferencia entre el rango más bajo y el rango más alto es del orden del 25-28%. Se concluyó que el modelo múltiple propuesto parece ser de más simple comprensión y aplicabilidad que el modelo tradicional de Wood.

Palabras clave: modelo matemático, células somáticas, producción láctea, mastitis.

INTRODUCCIÓN

Las curvas de producción de leche en vacas han sido ampliamente estudiadas, especialmente a partir de los modelos propuestos por Wood (1967, 1969 y 1980) y variantes sugeridas por Goodall (1986) y Lucey y Rowland (1984), entre otros, los que introdujeron el problema del impacto del nivel de mastitis subclínica sobre la producción. Más recientemente, Pereyra (1997) hizo una amplia revisión de los modelos existentes, destacando aquellos que permiten predecir la producción acumulada a lo largo de una lactancia. Otros autores (Schukken *et al.*, 1992; Harmon, 1994; Barkema *et al.*, 1998) han desarrollado metodologías para modelar el efecto de la mastitis en la producción láctea y han propuesto normas de manejo para aminorar su impacto.

En el presente trabajo se propone un modelo de curva derivado de la función gamma incompleta que considera, conjuntamente con el efecto tiempo, la condición sanitaria de la glándula mamaria expresada como recuento de células somáticas, ajustada al criterio de 10 rangos según el DHIA (Dairy Herd Improvement Association, 1986). Este modelo se designa con el nombre de modelo múltiple.

El nuevo modelo puede ser usado en cooperativas lecheras y organizaciones de control lechero, zonal y localmente, con la finalidad de generar puntos de referencia que permitan estimar y juzgar la producción de leche a un tiempo y nivel de células dado. La información resultante puede

ser de utilidad en modelos de simulación con carácter productivo y económico.

El principal objetivo del presente trabajo es generar una nueva herramienta que permita el análisis de la información de los controles lecheros; con dicho fin se aplicaron, a un mismo conjunto de datos, el modelo múltiple de curva de lactancia propuesto y el modelo clásico de Wood (1967), separadamente para cada uno de los rangos de recuentos de células somáticas establecidos por el DHIA.

MATERIALES Y MÉTODOS

El control sistemático de cinco rebaños lecheros pertenecientes al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) que representan una masa de 1.200 vacas de raza Holstein Friesian de la zona Central y Centro-Sur de Chile, realizado con periodicidad mensual durante dos años consecutivos, constituye la base de informaciones sobre la cual se realizaron los análisis.

La información recogida en cada oportunidad fue la siguiente: días de lactancia medida desde el último parto; producción de leche determinada a través de la lectura directa del recipiente graduado; recuento de células somáticas establecido en una muestra compuesta proveniente de los cuatro cuartos de cada vaca y obtenido del recipiente graduado durante las ordeñas correspondientes al día de control de producción. La medición se realizó mediante un contador celular electrónico (Fossomatic 90, Foss Electric, Dinamarca).

Rangos celulares

Con el objetivo de usar la nomenclatura internacional se agruparon los recuentos de células somáticas (RCS) en 10 rangos celulares (RC) de acuerdo a la expresión propuesta por Ali y Shook (1980):

$$RC = \text{Entero} (3 + \log_2 (RCS/100\ 000))$$

Curvas de lactancia por rangos celulares

Para cada uno de los RC considerados se ajustó una curva de producción de leche, separadamente para vaquillas y vacas, de acuerdo al modelo de Wood (1967):

$$y(t) = a t^b e^{-c t}$$

donde $y(t)$ = producción de leche para la semana t de lactancia; t = semana de lactancia (se utilizó esta unidad de medida de acuerdo a lo propuesto por Wood (1967), Lucey y Rowland (1984) y Goodall (1986)); e = base de los logaritmos naturales; y , a , b y c = parámetros que definen la curva.

A partir de esta expresión se calculó el día de máxima producción, producción máxima, producción al día 305 de lactancia, y producción total integrando el área bajo la curva. Adicionalmente se determinó el índice de declinación de la curva usando el método propuesto por Pedraza y Rodríguez (1988). Este índice permite expresar la disminución que se produce en el volumen o peso de la leche durante la lactancia por unidad de tiempo.

Se hicieron comparaciones entre las curvas de vaquillas y vacas, respecto de la producción total y cada uno de los parámetros (a , b y c) que la determinan, usando la prueba estadística "t" de Student.

Curva múltiple de producción de leche

Dado que el método anterior significa una curva distinta para cada nivel de rango celular, obli-

gando entonces a estimar y usar 10 curvas diferentes con sus respectivos parámetros, tanto para vaquillas como para vacas, se propuso un nuevo modelo con el objetivo de integrar, en una sola ecuación, las variables tiempo t y RC. La consideración conceptual del modelo está basada en mantener la forma clásica de la curva de lactancia (ecuación de Wood) ponderada por un efecto cuadrático de la variable RC ($\exp(d RC + f RC^2)$) de modo que resulte suficientemente flexible al efecto del RC.

A partir de estas premisas, el nuevo modelo que se denominará modelo múltiple, en el sentido de usar más de una variable independiente: t y RC, toma la forma:

$$y(t, RC) = a t^b e^{-c t} e^{d RC + f RC^2},$$

donde $y(t, RC)$ = producción de leche para la semana t de una vaca o vaquilla con rango celular RC; t = semana de lactancia; RC = rango celular; RC^2 = rango celular al cuadrado; a , b , c , d y f = parámetros que definen la curva; y e = base de logaritmos naturales.

Una vez determinada la función $y(t, RC)$ se calculó con ella el día de máxima producción, producción máxima, producción al día 305 de lactancia y producción total integrando el área bajo la curva. Adicionalmente, se determinó el índice de declinación de acuerdo al método propuesto por Pedraza y Rodríguez (1988).

Se hicieron comparaciones entre las curvas de vacas y vaquillas respecto de la producción total y cada uno de los parámetros que las determinan, usando la prueba "t" de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curvas individuales de producción de leche por RC

En los Cuadros 1 y 2 se presentan las curvas de producción de leche de vaquillas y vacas, respectivamente, para cada uno de los rangos celulares.

Cuadro 1. Curvas de producción de leche en vaquillas según modelo de Wood separadas por rangos celulares (RC)

Table 1. Heifer milk production curves according to Wood equation separated according cell ranges (RC)

| RC | Parámetros | | | R ² | Producción total | Proporción respecto al rango 0 | Día de prod. máxima | Producción máxima | Índice de declinación | Número de observaciones |
|----|------------|-------|--------|----------------|------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | a | b | c | | | | | | | |
| 0 | 18,57 | 0,230 | 0,0200 | 0,59* | 7.007 a | 100,0 | 81 | 25,9 | 28,5 | 1.161 |
| 1 | 20,37 | 0,181 | 0,0178 | 0,63* | 7.021 a | 100,2 | 71 | 25,9 | 28,2 | 1.380 |
| 2 | 20,55 | 0,144 | 0,0146 | 0,57* | 6.838 b | 97,6 | 69 | 24,7 | 24,3 | 1.653 |
| 3 | 19,69 | 0,161 | 0,0174 | 0,74* | 6.473 b | 92,4 | 65 | 24,0 | 29,4 | 1.612 |
| 4 | 17,29 | 0,197 | 0,0156 | 0,55* | 6.537 b | 93,3 | 88 | 23,4 | 21,2 | 1.307 |
| 5 | 15,10 | 0,319 | 0,0278 | 0,62* | 6.197 c | 88,4 | 80 | 23,9 | 37,3 | 913 |
| 6 | 17,63 | 0,193 | 0,0191 | 0,53* | 6.113 c | 87,2 | 71 | 22,7 | 30,0 | 533 |
| 7 | 19,05 | 0,175 | 0,0216 | 0,58* | 5.963 c | 85,1 | 57 | 23,1 | 37,6 | 289 |
| 8 | 15,56 | 0,305 | 0,0324 | 0,36* | 5.584 d | 79,7 | 66 | 22,7 | 47,2 | 146 |
| 9 | 12,74 | 0,267 | 0,0210 | 0,06 ns | 5.223 e | 74,5 | 89 | 19,2 | 27,3 | 65 |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5% según la prueba t de Student.

Regresión lineal de producción total (PT) sobre RC: $PT = 7.166 - 193 (15) RC$. $R^2 = 0,96^*$

(En paréntesis error estándar del coeficiente de regresión).

*Significativo al 5%; ns = no significativo.

Cuadro 2. Curvas de producción de leche en vacas según modelo de Wood separadas por rangos celulares (RC)

Table 2. Dairy cow milk production curves according to Wood equation separated by cell ranges (RC)

| RC | Parámetros | | | R ² | Producción total | Proporción respecto al rango 0 | Día de prod. máxima | Producción máxima | Índice de declinación | Número de observaciones |
|----|------------|-------|--------|----------------|------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | a | b | c | | | | | | | |
| 0 | 24,98 | 0,219 | 0,0288 | 0,88* | 7.618 a | 100,0 | 53 | 31,3 | 48,0 | 1.266 |
| 1 | 24,70 | 0,211 | 0,0275 | 0,90* | 7.565 a | 99,3 | 54 | 30,7 | 46,2 | 1.571 |
| 2 | 23,52 | 0,207 | 0,0272 | 0,91* | 7.169 b | 94,1 | 53 | 29,1 | 46,0 | 2.234 |
| 3 | 24,26 | 0,156 | 0,0227 | 0,93* | 7.047 b | 92,5 | 48 | 28,0 | 42,0 | 2.460 |
| 4 | 23,10 | 0,184 | 0,0256 | 0,90* | 6.830 b | 89,7 | 50 | 27,6 | 45,1 | 2.271 |
| 5 | 22,94 | 0,186 | 0,0267 | 0,92* | 6.670 c | 87,6 | 49 | 27,3 | 47,1 | 2.009 |
| 6 | 22,58 | 0,174 | 0,0270 | 0,93* | 6.317 c | 82,9 | 45 | 26,2 | 48,8 | 1.645 |
| 7 | 23,34 | 0,157 | 0,0260 | 0,92* | 6.362 c | 83,5 | 42 | 26,5 | 48,6 | 1.194 |
| 8 | 17,14 | 0,303 | 0,0370 | 0,77* | 5.583 d | 73,3 | 57 | 23,9 | 55,2 | 721 |
| 9 | 18,43 | 0,342 | 0,0470 | 0,81* | 5.501 d | 72,2 | 51 | 25,8 | 66,5 | 411 |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5% según la prueba t de Student.

Regresión lineal de producción total (PT) sobre RC: $PT = 7.738 - 238 (17) RC$. $R^2 = 0,96$

(En paréntesis error estándar del coeficiente de regresión).

*Significativo al 5%.

El grado de ajuste de estas curvas, medido como coeficiente de determinación (R^2), fue más alto en vacas que en vaquillas. En las primeras, todos los valores estuvieron sobre 0,77 mientras en vaquillas los valores de R^2 estuvieron sobre 0,53 hasta el séptimo rango y cayeron ostensiblemente en los rangos 8 y 9. Es posible que el escaso número de observaciones disponibles para los RC más altos sea la principal causa de este hecho, lo que se corrobora en el caso particular del modelo para vaquillas en el rango 9, que resultó totalmente inadecuado, no pudiéndose dar ninguna interpretación a sus parámetros.

La producción total estimada (PT) con estas curvas mostró un comportamiento muy coherente, disminuyendo sistemáticamente a medida que aumenta el RC. Así, hasta el cuarto rango la producción total disminuyó alrededor de 10% en ambos grupos con respecto a la producción de un animal sano. A partir de ese nivel de RC, la disminución se acentuó llegando a valores límites de 25,5 y 27,8% en los rangos más altos. Las regresiones lineales efectuadas sobre la PT en función del RC mostraron una pérdida de 193 L (± 15) en vaquillas y 328 L (± 17) en vacas por cada unidad de aumento del RC. Estos resultados coincidieron con las severas pérdidas detectadas en otros trabajos (Salsberg *et al.*, 1984; Youl y Nicholls, 1987; Miller *et al.*, 1993; Deluyker *et al.*, 1993).

Curvas múltiples de producción de leche

El Cuadro 3 muestra los parámetros obtenidos al ajustar los datos al modelo múltiple de producción de leche, modelo que considera como variables tanto la semana de producción como el RC correspondiente. Se advierte, con respecto al primer modelo, en primer lugar una gran simplificación en el número de parámetros, los cuales pasaron de 30 a 5. Los coeficientes de determinación obtenidos se sitúan ligeramente sobre el promedio del conjunto de los coeficientes de los modelos individuales, con un valor mediano para vaquillas y alto para vacas.

Cuadro 3. Parámetros del modelo múltiple de la curva de producción de leche $y = a t^b e^{-ct} e^{dRC} + fRC^2$ para vaquillas y vacas

Table 3. Parameters of milk production curve multiple model for heifers and cows $y = a t^b e^{-ct} e^{dRC} + fRC^2$

| Parámetros | Vaquillas | Vacas |
|-------------------------|------------|------------|
| a | 20,03000 a | 25,82000 b |
| b | 0,19500 a | 0,19500 a |
| c | 0,01850 a | 0,02730 b |
| d | -0,01600 a | -0,01660 a |
| f | -0,00170 a | -0,00220 b |
| R^2 | 0,59* | 0,89* |
| Número de observaciones | 9.059 | 15.782 |

Letras diferentes en cada fila indican diferencias significativas al 5% según la prueba t de Student.

*significativo al 5%.

y = producción de leche.

t = semana de lactancia.

RC = rango de células somáticas.

a; b; c; d, f = parámetros.

R^2 = coeficiente de determinación.

Respecto a los parámetros que definen la curva, vacas y vaquillas difirieron claramente en el valor de a, es decir en la media general de la curva, que resultó 5,8 L superior en vacas. En cambio, no difirieron en el parámetro b que representa la curvatura de la función a través del tiempo, mientras el valor de c resultó significativamente mayor en vacas. Esto produce un paralelismo sistemático, favorable a estas últimas, en gran parte de la curva de producción, paralelismo que se anula hacia el último tercio del período de lactancia debido a la influencia final del menor valor de c en vaquillas, que induce una persistencia mayor de éstas (Shanks *et al.*, 1981). Los parámetros d y f modelan el efecto del RC, y en estos coeficientes, vaquillas y vacas difirieron claramente en el segundo (f), pero no en el primero (d). Como resultado de ello, las vacas ven más afectada su producción a niveles altos de RC que las vaquillas, lo que resulta perfectamente consistente con la realidad de los datos. En términos globales, las regresiones lineales

efectuadas sobre las PT en función de RC mostraron una pérdida de 195 L (± 7) en vaquillas y 162 L (± 59) en vacas por cada unidad de aumento del RC. Estos resultados coinciden con las severas pérdidas detectadas por otros autores.

La evaluación numérica del modelo múltiple y su representación gráfica aparecen en los Cuadros 4 y 5 y en las Figuras 1 y 2. Respecto a la producción total estimada, fue posible advertir una clara disminución a medida que el nivel de RC aumenta. En vaquillas la diferencia empieza a ser significativa a partir del rango 2 de RC, y en vacas a partir del rango 3. En ambos tipos de animales la diferencia entre el rango más bajo y el rango más alto resultó cercana al 25-28%.

Cabe destacar que, a diferencia del primer modelo (curvas individuales por nivel de RC) algunos de los índices derivados de la curva de lactancia resultan constantes, por ejemplo la semana (y el día) de máxima producción y el índice de declinación. Esto contrasta con la variabilidad que se

produce en los mismos índices cuando se estiman las curvas separadamente. Sin embargo, este único valor obtenido no difiere sustancialmente de la serie de valores logrados con los modelos individuales. Así, por ejemplo, en vaquillas se estimó que la producción máxima ocurre el día 74, mientras en los modelos individuales osciló entre los días 57 y 88. Asimismo el índice de declinación resultó ser 28,4 comparado con el rango 21,2 a 47,2 dado por los modelos individuales. En vacas el día estimado de producción máxima fue el día 50 (contra 42 a 57) y el índice de declinación 47,4 (versus 42,0 a 66,5). Esta propiedad del modelo múltiple resulta deseable, ya que un sólo valor del índice resulta de mejor comprensión y al mismo tiempo más confiable, por estar sustentado por un mayor número de observaciones.

Un análisis de la consistencia y disparidad entre ambos modelos se aprecia en el Cuadro 6, donde las diferencias porcentuales entre producciones totales son muy pequeñas especialmente en vacas,

Cuadro 4. Modelo múltiple de curva de producción de leche para vaquillas. Evaluación por rangos de células somáticas (RC)

Table 4. Multiple model of milk production curve for heifers. Evaluation by ranges of somatic cells (RC)

| RC | Producción total | Proporción respecto al rango 0 | Día de producción máxima | Producción máxima | Índice de declinación |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| 0 | 7.074 a | 100,0 | 74 | 26,1 | 28,4 |
| 1 | 6.950 a | 98,2 | 74 | 25,6 | 28,4 |
| 2 | 6.805 b | 96,2 | 74 | 25,1 | 28,4 |
| 3 | 6.640 bc | 93,9 | 74 | 24,5 | 28,4 |
| 4 | 6.457 c | 91,3 | 74 | 23,8 | 28,4 |
| 5 | 6.258 cd | 88,5 | 74 | 23,1 | 28,4 |
| 6 | 6.045 e | 85,5 | 74 | 22,3 | 28,4 |
| 7 | 5.819 e | 82,3 | 74 | 21,5 | 28,4 |
| 8 | 5.582 f | 78,9 | 74 | 20,6 | 28,4 |
| 9 | 5.337 f | 75,4 | 74 | 19,7 | 28,4 |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5% según la prueba t de Student.

Regresión lineal de producción total (PT) sobre RC: $PT = 7.173 - 195 (7) RC$.

$R^2 = 0,99^*$

(En paréntesis error estándar del coeficiente de regresión).

*Significativo al 5%.

Cuadro 5. Modelo múltiple de curva de producción de leche para vacas. Evaluación por rangos de células somáticas (RC)**Table 5. Multiple model of milk production curve for cows. Evaluation by ranges of somatic cells (RC)**

| RC | Producción total | Proporción respecto al rango 0 | Día de producción máxima | Producción máxima | Índice de declinación |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| 0 | 7.602 a | 100,0 | 50 | 31,2 | 47,4 |
| 1 | 7.460 a | 98,1 | 50 | 30,6 | 47,4 |
| 2 | 7.289 a | 95,9 | 50 | 29,9 | 47,4 |
| 3 | 7.091 b | 93,3 | 50 | 29,1 | 47,4 |
| 4 | 6.867 b | 90,3 | 50 | 28,2 | 47,4 |
| 5 | 6.622 c | 87,1 | 50 | 27,2 | 47,4 |
| 6 | 6.357 cd | 83,6 | 50 | 26,1 | 47,4 |
| 7 | 6.076 d | 79,9 | 50 | 24,9 | 47,4 |
| 8 | 5.782 d | 76,1 | 50 | 23,7 | 47,4 |
| 9 | 5.478 e | 72,1 | 50 | 22,5 | 47,4 |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5% según la prueba t de Student.

Regresión lineal de producción total (PT) sobre RC: $PT = 7.573 - 162 (59) RC$.

$R^2 = 0,70^*$.

(En paréntesis error estándar del coeficiente de regresión).

*Significativo al 5%.

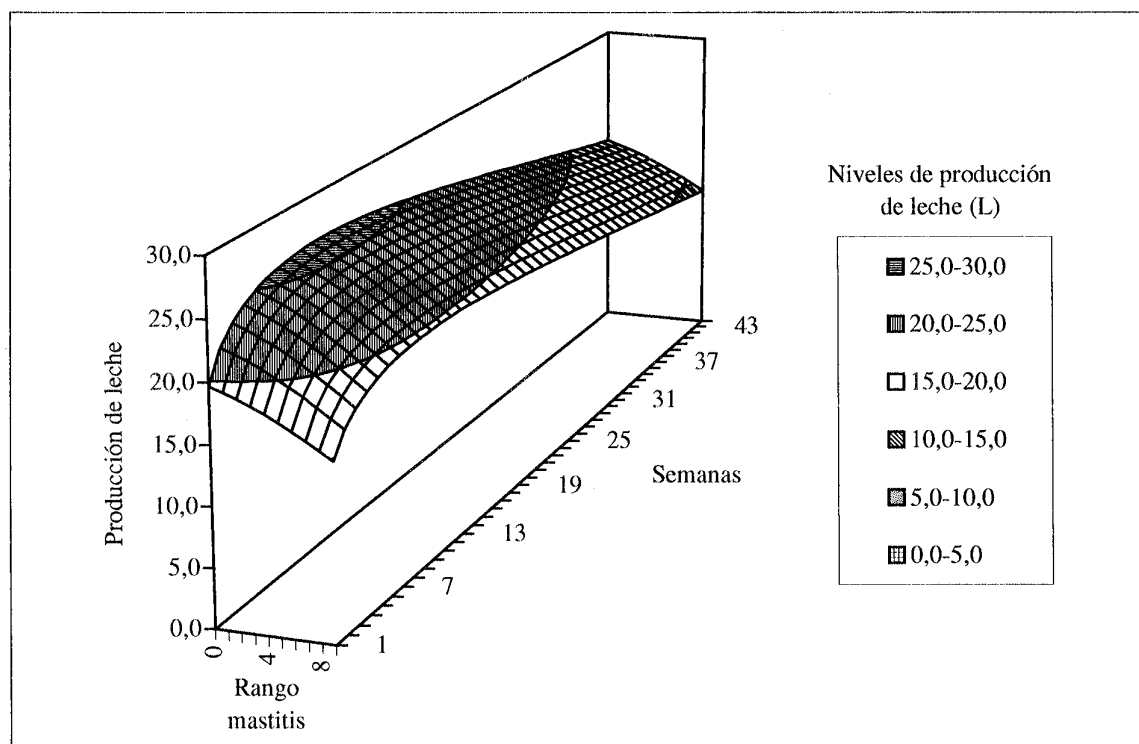


Figura 1. Curva múltiple de producción de leche en vaquillas.

Figure 1. Multiple milk production curve in first lactation cows.

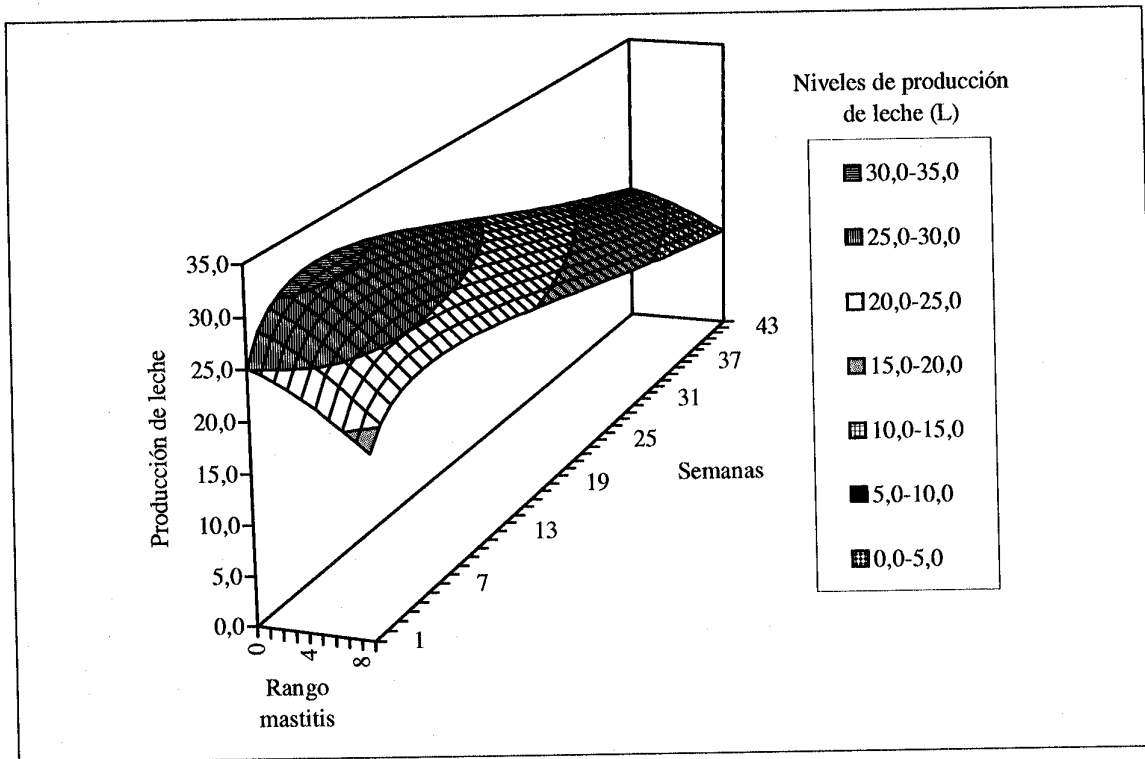


Figura 2. Curva múltiple de producción de leche en vacas.
Figure 2. Multiple milk production curve in adult cows.

Cuadro 6. Consistencia y disparidad de producciones totales de leche entre los modelos individuales y el modelo múltiple

Table 6. Consistency and disparity of total milk production between the individual model and the multiple model

| RC | Vaquillas | | | Vacas | | |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| | Función individual | Función múltiple | Diferencia porcentual | Función individual | Función múltiple | Diferencia porcentual |
| 0 | 7.007 | 7.074 | 1,0 | 7.618 | 7.602 | -0,2 |
| 1 | 7.021 | 6.950 | -1,0 | 7.565 | 7.460 | -1,4 |
| 2 | 6.838 | 6.805 | -0,5 | 7.169 | 7.289 | 1,7 |
| 3 | 6.473 | 6.640 | 2,6 | 7.047 | 7.091 | 0,6 |
| 4 | 6.537 | 6.457 | -1,2 | 6.830 | 6.867 | 0,5 |
| 5 | 6.197 | 6.258 | 1,0 | 6.670 | 6.622 | -0,7 |
| 6 | 6.113 | 6.045 | -1,1 | 6.317 | 6.357 | 0,6 |
| 7 | 5.963 | 5.819 | -2,4 | 6.362 | 6.076 | -4,5 |
| 8 | 5.584 | 5.582 | -0,0 | 5.583 | 5.782 | 3,6 |
| 9 | 5.223 | 5.337 | 2,2 | 5.501 | 5.478 | -0,4 |
| Promedios (excluyendo RC=9) | | | -0,2 | | | 0,0 |

RC: rango de células somáticas.

con promedios entre -0,1 y 0,1%. Las discrepancias más extremas se observan en el rango 3 en vaquillas (3,2%) y en el rango 7 en vacas (4,5%), mientras en los rangos más altos (8 y 9) ambas estimaciones son muy similares aunque no son rigurosamente comparables por el bajo número de datos que las sustentan, como se indicó anteriormente.

Las Figuras 1 y 2 permiten ver claramente la superficie de respuesta que geoméricamente representa el modelo múltiple. Se advierte, en todos los casos, una primera tendencia en el tiempo que sigue muy bien la forma del modelo de Wood, con un ascenso inicial, un valor máximo y una lenta declinación hacia el final de la lactancia. Paralelamente a esta tendencia se puede apreciar una gradiente parabólica de disminución desde el rango 0 al rango 9. La magnitud de esta

gradiente está muy asociada a los parámetros d y f del modelo.

CONCLUSIONES

El modelo múltiple de la curva de producción de leche propuesto, que considera simultáneamente la dinámica del tiempo y los rangos de células somáticas como un indicador del nivel sanitario de la glándula mamaria, resulta de más simple comprensión que el modelo tradicional de Wood aplicado separadamente para cada rango de mastitis.

El modelo múltiple presenta un grado de ajuste ligeramente mayor que los modelos tradicionales y una facilidad de aplicación notoriamente superior.

LITERATURA CITADA

- Ali, A.K.A., and G.E. Shook. 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *J. Dairy Sci.* 63:487-490.
- Barkema, H.W., Y.H. Schukken, Lam, T.J.G.M., M.L. Beiboer, G. Benedictus, and A. Brand. 1998. Management practices associated with low, medium and high somatic cell count in bulk milk. *J. Dairy Sci.* 81:1917-1927.
- Deluyker, H.A., J.M. Gay, and L.D. Weaver. 1993. Interrelationships of somatic cell count, mastitis, and milk yield in a low somatic cell count herd. *J. Dairy Sci.* 76:3445-3452.
- DHIA. 1986. How to read your DHIA reports. 20 p. Dairy Herd Improvement Association (DHIA), Pennsylvania, USA.
- Goodall, E.A. 1986. A note of the use of a categorical variable to explain seasonality deviation from the lactation curve. *Anim. Prod.* 42:153-155.
- Harmon, R.J. 1994. Symposium: mastitis and genetic evaluation for somatic cell count. *J. Dairy Sci.* 77:2093-2112.
- Lucey, S., and G.J. Rowland. 1984. The association between clinical mastitis and milk yield in dairy cows. *Anim. Prod.* 39:165-175.
- Miller, R.H., M.J. Paape, L.A. Fulton, and M.M. Schutz. 1993. The relationship of milk somatic cell count to milk yields for Holstein heifers after first calving. *J. Dairy Sci.* 76:728-733.
- Pedraza, G.C., y S.D. Rodríguez. 1988. Nuevo índice para medir declinación y persistencia de la curva de leche. *Agricultura Técnica (Chile)* 48:341-344.
- Pereyra, A.M. 1997. Modelos estadísticos de las curvas de lactancia en vacas lecheras. *Rev. Argentina de Producción Animal* 16:227-246.
- Salsberg, E., A.H. Meek, and S.W. Martin. 1984. Somatic cell counts: associated factors and relationship to production. *Can. J. Comp. Med.* 48:251-257.

- Schukken, Y.H., K.E. Leslie, A.J. Weersink, and S.W. Martin. 1992. Ontario bulk milk somatic cell count reduction program. 2. Dynamic of bulk somatic cell count. *J. Dairy Sci.* 75:3359-3366.
- Shanks, R.D., P.C. Berger, A.E. Freeman, and F.V. Dickinson. 1981. Genetics aspects of lactation curves. *J. Dairy Sci.* 64:1852-1860.
- Wood, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165.
- Wood, P.D.P. 1969. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. *Anim. Prod.* 11:307-316.
- Wood, P.D.P. 1980. A note on the lactation curve of some high-yielding British Friesian cows. *Anim. Prod.* 30:299-302.
- Youl, B.S., and T.J. Nicholls. 1987. The relationship between somatic cell count and lactation yield of dairy cows. *Aust. J. Dairy Technol.* 42:68-70.