

AJUSTE DE LA CURVA DE LACTANCIA DE GANADO HOLSTEIN CON UN MODELO LINEAL MODAL¹ *.

José R. Molina y Carlos Boschini**

ABSTRACT

Adjustment of the dairy curve of a Holstein herd with a linear modal model. The dairy production of a Holstein herd from San Isidro de Coronado, at 1382 m asl (mean annual temperature of 19.4 C and 2280 mm of rain), was evaluated. 221 whole lactations from the first to the sixth parturitions were studied. The milk production was corrected to 4% milk fat by the Gaines (9) procedure and each lactation curve was adjusted to the "Modal linear" model.

A value of 54 ± 31 days was found. The lactation mean period required to reach the production peak of 18.56 ± 4.1 kg of milk, with statistical significance ($P < 0.01$) between lactations. The persistence mean value was $56.15 \pm 15.20\%$, maintained through the study periods. The dairy yield for 305 days was 4053.78 ± 850.5 kg in average, with statistical significance ($P < 0.01$) between lactations. The greatest average dairy yield (4378.27 kg,) was obtained in the fourth lactation, being higher in 22% and 8% than the first and the average production respectively.

INTRODUCCION

Las variaciones climáticas en el trópico imprimen a la producción de leche características diferentes a las observadas en zonas templadas. La capacidad de producción de leche es una interacción de la herencia y el ambiente (6), donde el clima, la alimentación y el manejo tienen gran importancia. El uso de reproductores de alto potencial genético ha sido una característica en la zona alta de la Meseta Central lo que asegura un gran potencial de producción de leche. Sin embargo, la observación

de los registros de ordeño muestra valores inferiores a lo esperado.

La producción de leche por lactancia está determinada por la persistencia, el manejo de la producción y el número de lactancia (1,10). En general, se estima que la máxima producción de leche diaria se alcanza en el segundo mes (4,5) y aumenta desde la primera hasta la cuarta o sexta lactancia (2,19) con altas correlaciones entre la producción pico y total por lactancia. La persistencia se expresa como el sostenimiento porcentual de la producción de leche en relación a la unidad anterior (8) y se ve afectada por la estación del año, la edad del animal al primer parto y el nivel alimenticio (5,6,7). En la primera lactancia se da un valor alto de persistencia, el cual decrece hasta la sexta u octava (4,10).

¹ Recibido para su publicación el 11 de octubre de 1978.

* Parte de la tesis de grado presentada por el primer autor a la Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.

** Estación Experimental de Ganado Lechero, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

El número de lactancia y la edad del animal afectan positivamente la producción total de leche

desde la primera hasta la cuarta o sexta lactancia, debido al normal desarrollo de la glándula mamaria (4,17); luego la producción decrece (1,12).

Al aumentar la capacidad productora de las razas especializadas se hace necesario mejorar los factores ambientales (10), principalmente la alimentación que incrementa la persistencia y en menor medida la máxima producción de lactancia (5,6,7).

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de la producción de leche en un hato Holstein dentro de la zona de San Isidro de Coronado. Los objetivos específicos fueron:

- a.- Analizar la máxima producción entre los períodos de lactancia
- b.- Estudiar la persistencia promedio entre lactancias sucesivas
- c.- Analizar la producción de leche acumulada en 305 días y la dependencia con el número de lactancia, la persistencia y el pico de producción.
- d.- Calcular factores de corrección para la producción acumulada dependiendo del número de lactancia y el pico de lactación.

MATERIALES Y METODOS

La información se obtuvo en la finca Santa Teresita, ubicada en el Cantón de Coronado, Provincia de San José, a una altura de 1382 msnm. La temperatura y la precipitación media anual es de 19,4 C y 2280 mm.

Se analizaron 221 lactancias completas, de vacas Holstein puras y encastadas por encima de 15/16, de primero a sexto parto, cuya distribución se muestra en el Cuadro 1. La producción de leche fue corregida al 4% de grasa mediante el procedimiento de Gaines (9). Cada curva de lactación se ajustó al modelo *Lineal Modal*, con un coeficiente de determinación superior al 0,75, descrito en la Fig. 1.

La producción acumulada en 305 días se calculó a partir de la producción diaria (Yi)

$$Y_i = B_0 - B_1 (| X_i - X_p |)$$

en donde β_0 es la cantidad de leche en el día de máxima producción (kg), B_1 es la tasa de pérdida de persistencia diaria (kg/día), X_i es el día i-ésimo de producción de leche y X_p es el día de máxima producción de leche.

Así, la producción acumulada es

$$\int_0^{305} Y_i = \int_0^{305} B_0 - \int_0^{305} B_1 (| X_i - X_p |)$$

donde $B_1 (| X_i - X_p |)^{305}$ es una función

discontinua. De esta manera,

$$\int_0^{305} Y_i = \int_0^{305} B_0 - \int_0^{305} B_1 \frac{X_i}{X_p} - \int_0^{305} B_1 \frac{X_i}{X_p}$$

$$\int_0^{305} Y_i = B_0 X_i \Big|_0^{305} - \frac{B_1 X_i^2}{2} \Big|_{x_p}^0 - \frac{B_1 X_i^2}{2} \Big|_{x_p}^{305}$$

La persistencia expresada como el porcentaje en que se mantiene la producción de leche respecto al pico de lactación (8) se calculó:

$$P_i = \frac{Y_i}{B_0} \times 100$$

donde P_i = persistencia de producción de leche (%) en el i-ésimo día de lactancia.

La persistencia promedio (P) se calculó a partir de

$$P_i = \frac{B_0 - B_1 (| x_i - x_p |)}{B_0} \times 100$$

$$P_i = 100 \left[1 - \frac{B_1}{B_0} (| X_i - X_p |) \right]$$

$$\bar{P} = 100 \left[1 - \frac{B_1}{B_0} (| \overline{X_i - X_p} |) \right]$$

$$\overline{(1 X_i - X_p)} \left| \begin{matrix} X_n \\ X_p \end{matrix} \right. = X_p + \frac{(X_n - X_p)}{2} = \frac{(X_n + X_p)}{2}$$

$$\bar{P} = 100 \left[1 - \frac{B_1}{B_0} \frac{(X_n + X_p)}{2} \right]$$

donde: X_n = día 305 de lactación (diez meses de lactancia).

Se determinó el efecto del número de lactancia o parto en el día y producción pico, en la persistencia promedio de lactación y la producción acumulada, mediante un análisis de varianza. Los factores de corrección, para la producción acumulada dependiendo del número de lactancia y producción pico, se estimaron por regresión.

Cuadro 1. Distribución de las curvas de lactancia utilizadas.

Número de lactancia	Frecuencia	Frecuencia acumulada
1	54	54
2	54	108
3	39	147
4	33	180
5	25	205
6	16	221

RESULTADOS Y DISCUSION

Día de producción pico:

Al analizar el día pico a través de las primeras seis lactaciones se encontró un promedio general de 54 ± 31 días, no encontrándose variaciones estadísticas entre lactancias, (Cuadro 2). Normalmente, el día de máxima producción se alcanza entre 30 y 60 días post-parto, sin importar la edad del animal o la época de parición (1,4,15,21), sin embargo algunos autores (2,10,15,19) reportan un valor promedio de 38,5 días en la raza Hostein y consideran que entre más alta sea la producción de

leche al momento del parto, menos días se requieren para alcanzar la producción pico.

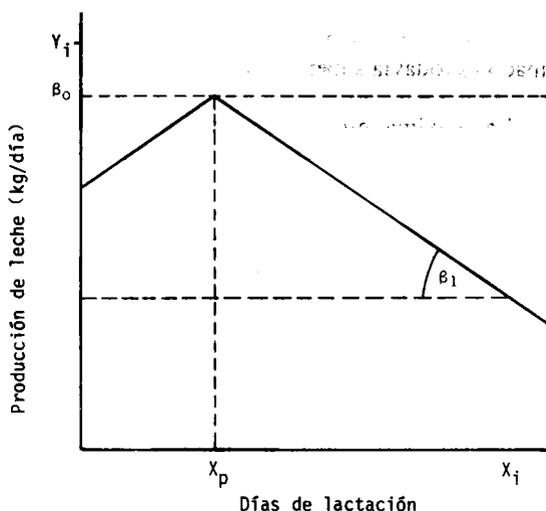


Fig. 1. Descripción gráfica del modelo lineal modal.

Producción pico:

El Cuadro 2 incluye los promedios de máxima producción de leche por lactancia. El promedio general fue de $18,56 \pm 4,1$ kg de leche, diferenciándose entre lactaciones una variación significativamente importante ($P < 0,01$). La Fig. 2. describe el cambio ocurrido en la producción pico a través de partos sucesivos con clara tendencia cuadrática, encontrándose en la cuarta lactancia el máximo pico de producción con un promedio de $20,3 \pm 4,8$ kg, la cual es de 9,4% superior al promedio general y 28% superior a la producción pico de la primera.

El Cuadro 3 muestra los incrementos relativos y los factores de corrección de la producción pico por lactancia generados hasta la octava por regresión. Se presentó un incremento relativo a la primera lactancia de 15% y 24% en la segunda y tercera, con un máximo de 28% en la cuarta. La quinta es inferior a la cuarta en 1% y superior a la tercera en 3%, la sexta es aún menor lo que indica una tendencia a disminuir la producción pico después de la cuarta. El máximo incremento relativo a

la lactancia anterior se encontró en la segunda con un 15%. Se estimó para la octava lactancia un decremento del 10% sobre la primera, lo cual sugiere el reemplazo de estos animales al concluir la séptima cuyo comportamiento de la producción pico estimado es todavía superior a la primera.

La máxima producción pico observada en la cuarta lactancia es similar a la encontrada por Rakes *et al* (18), pero difiere en un período con varios autores (1,4,5,10,21), que reportan incrementos en la producción pico hasta la tercera. Estas diferencias de observación indican que normalmente la máxima producción pico se obtiene variablemente entre la tercera y cuarta lactancia. Posiblemente bajo condiciones tropicales, donde la calidad de los forrajes es menor que en zonas templadas, la expresión del pico de producción se retarda en un período, para luego declinar a partir de la quinta lactancia.

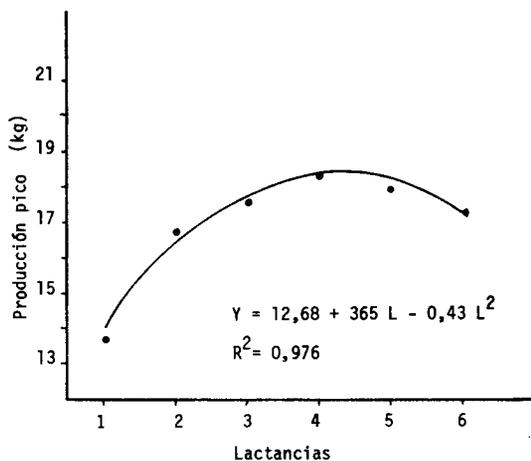


Fig. 2. Efecto del número de lactancia sobre la producción pico de leche.

Persistencia:

El Cuadro 2 presenta los promedios de persistencia media por lactación. El promedio general fue de $56,15 \pm 15,2\%$, no se encontró diferencias significativas entre lactancias por una gran variabi-

lidad dentro de cada período productivo, debido a distribuciones irregulares y cambios violentos en la producción láctea después del día 80 lo que provoca una dilución de las variaciones normales de una curva con respecto a otra entre partos. Estos resultados no concuerdan con la literatura en este campo que reporta (8,10,20), una alta persistencia durante la primera lactancia, un decremento de la segunda a cuarta o quinta y un incremento en la sexta y siguientes, sin alcanzar la persistencia de la primera. Otros autores (4,5) han observado una baja persistencia de la primera lactancia debida a partos precoces. La mayor variación se atribuye a las condiciones climáticas, al nivel alimenticio (6,7), al bloqueo hormonal en la gestación avanzada y sustracción de nutrimentos por el feto después del sexto mes (2,3,11).

Producción acumulada de leche:

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de producción acumulada de leche en 305 días para las lactancias en estudio, cuyas variaciones son altamente significativas ($P < 0,01$). El promedio general fue de $4053,78 \pm 850,5$ kg de leche. La Fig. 3 describe el cambio de producción total por

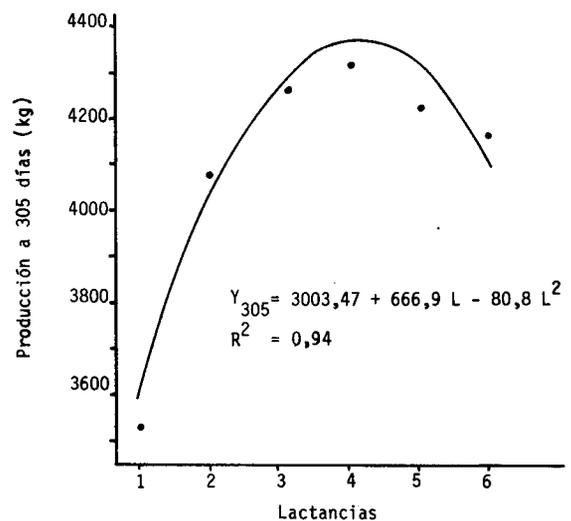


Fig. 3. Efecto del número de lactancias sobre la producción acumulada en 305 días de lactación.

Cuadro 2. Día promedio de máxima producción, promedio de máxima producción, persistencia promedio y promedio de producción de leche por lactancia.

Número de lactancia	Día Pico Promedio	Promedio Producción Pico kg	Persistencia, promedio %	Producción promedio acumulada en 305 días kg
1	56,20	15,66	61,03	3532,95
2	55,70	18,70	59,50	4072,00
3	56,85	19,60	60,40	4370,60
4	57,10	20,30	59,25	4376,00
5	56,45	20,00	52,65	4213,35
6	53,40	19,20	58,00	4168,60

Cuadro 3. Incrementos relativos y factores de corrección de la producción pico por lactación.

Número de lactancia	Relativo a la primera lactancia		Relativo a la lactancia anterior	
	Incremento %	Factor de corrección	Incremento %	Factor de corrección
1	0	1,00	0	1,00
2	15	1,15	15	1,15
3	24	1,24	8	1,08
4	28	1,28	3	1,03
5	27	1,27	1	0,99
6	20	1,20	5	0,95

Cuadro 4. Incrementos relativos y factores de corrección de la producción acumulada en 305 días por lactancia.

Número de lactancia	Relativo a la primera lactancia		Relativo a la lactancia anterior	
	Incremento %	Factor de corrección	Incremento %	Factor de corrección
1	0	1,00	0	1,00
2	12	1,12	12	1,12
3	19	1,19	7	1,07
4	22	1,22	2	1,02
5	20	1,20	-1	0,99
6	14	1,14	-5	0,95

período ocurrido a través de seis lactaciones sucesivas, con definida tendencia cuadrática, donde se obtiene un máximo en la cuarta lactancia con 4378,27 kg de leche el cual es 8% superior al promedio general. El Cuadro 4 incluye los incrementos relativos y factores de corrección de la producción acumulada en 305 días generados por regresión hasta la octava lactancia. Se observó un incremento relativo a la primera de 12% y 19% en la segunda y tercera, con un máximo de 22% en la cuarta. La quinta lactancia es inferior a la cuarta y superior a la tercera en 1%, la sexta es aún menor y crece en un 5% la tendencia a disminuir la producción total por período después de la cuarta. El mayor incremento relativo a la lactancia anterior se obtuvo en la segunda con un 12%. Para la séptima se estimó un incremento del 3% y un decremento de 26% sobre la primera. Este comportamiento de la producción sugiere el reemplazo de las vacas al finalizar el séptimo período productivo.

Appleman (1) reporta valores de producción acumulada, similares a los observados, pero encontró la tendencia de máxima producción en la quinta y sexta lactancia.

Sin embargo, Bodisco (4), bajo condiciones tropicales, encontraron que la máxima producción por lactancia se produjo en la cuarta, con un incremento relativo a la primera de 21,6%, en un hato Pardo Suizo, muy similar al observado en el hato Holstein. Los incrementos relativos a la lactancia anterior describen en por ciento el desarrollo lactopoyético observado desde la primera hasta la cuarta lactancia, en proporciones decrecientes, como una medida de crecimiento hipertrófico de los alveolos mamarios (10,12,17).

La producción de 3532,95 kg de leche, durante la primera lactancia es una expectativa importante, a pesar del incompleto desarrollo del sistema glandular y la utilización de la energía disponible para producción en otras funciones como crecimiento (13,14,16,20).

El decremento ocurrido posterior a la cuarta lactancia, un 1% y 5% para quinta y sexta, se considera satisfactorio bajo condiciones tropicales como medida de envejecimiento relativo y concuerda con los resultados obtenidos por Rakes (18) bajo condiciones templadas.

Efecto de la producción pico sobre la producción acumulada:

Según Appleman (1) existe una alta relación entre la máxima producción por lactancia y la producción de leche; en consecuencia se determinó el grado de correlación y la magnitud del efecto independientemente del número de lactancia. Los resultados obtenidos fueron: una correlación lineal de 0,97 entre promedios y un incremento en la producción acumulada de 173,1 kg de leche por cada kilogramo adicional en la producción pico por encima de 15 kg como se muestra en la Fig. 4. Esto sugiere que mejorando genéticamente la producción pico, se aumenta la cosecha de leche total.

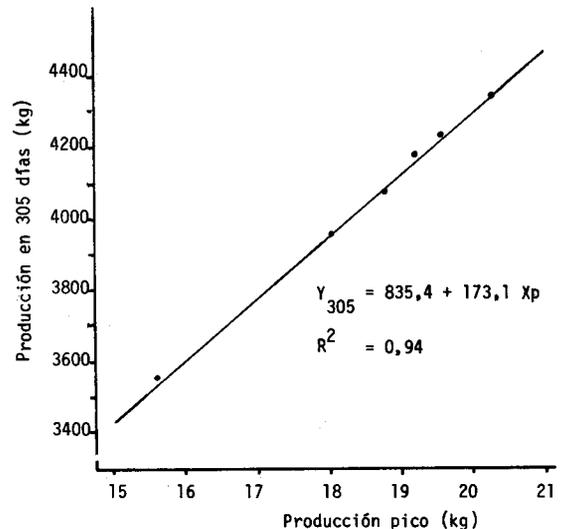


Fig. 4. Relación de la producción pico y la producción acumulada en 305 días de lactancia.

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de la producción de leche en un hato Holstein en San Isidro de Coronado, a una altura de 1382 msnm, cuya temperatura y precipitación media anual fue de 19,4°C y 2280 mm. Se estudiaron 221 lactancias completas, comprendidas del primero al sexto parto. La producción de leche fue corregida al 4% de grasa me-

diante el procedimiento de Gaines (9) y cada curva de lactación se ajustó a un modelo "Lineal Modal".

Se encontró que la media de sus lactancias fue de 54 ± 31 días para día de producción pico y $18,56 \pm 4,1$ kg de leche para producción pico, con diferenciación significativas ($P < 0,01$) entre lactancias. La persistencia promedio fue de $56,15 \pm 15,2\%$, mantenida a través de los períodos en estudio. La producción acumulada de leche en 305 días mostró una media general de $4053,78 \pm 850,5$ kg, con diferencias importantes ($P < 0,01$) entre lactancias. La máxima producción acumulada se obtuvo en la cuarta lactancia con $4378,27$ kg de leche, la cual fue 22% superior a la primera y 8% superior al promedio general.

LITERATURA CITADA

1. APPLEMAN, R. D., MUSGRAVE, S. D. y MORRISON, R. D. Extending incomplete lactation records of Holstein cows with varying levels of production. *Journal of Dairy Science* 52: 360-368. 1969.
2. ASKER, A. A., JUMA, K. H. y KASSIR, S. A. Factors affecting milk production in crossbred cattle. *Animal Agriculture Science*. 10: 47-48. 1966.
3. BERESKIN, B. y TOUCHEBERRY, R. W. Some relationships of body weight and age with first lactation yield. *Journal of Dairy Science* 49: 869-873. 1966.
4. BODISCO, V. Cuatro lactancias consecutivas en vacas Criollas y Pardo Suizo en Maracay, Venezuela. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Memoria* 3: 61-75. 1968.
5. BRANTON, C. y MILLER, G. D. Some hereditary and environmental aspects of persistency, of milk yield of Holstein Friesians in Louisiana, *Journal of Dairy Science*. 42: 924-925. 1959.
6. BRANTON, C., RIOS, G., EVANS, D. L. y KOONOCE, K. L. Genotype - climatic and other interaction effects for productive responses in Holstein. *Journal of Dairy Science*. 57: 833-841. 1974
7. CLAWSON, C. D., KING, N. A. y BIRD, W. P. Effect of length of previous dry period, month of freshening, age, body weight and length of gestation on milk and fat yields of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 48: 837. 1965.
8. FREEMAN, A. E. Ages adjustment of production records. History and basic problems. *Journal of Dairy Science*. 56: 941. 1973.
9. GAINES, W. L. Measures of persistency of lactation. *Journal of Agricultural Research* 34: 373-383. 1927.
10. GILL, G. S., BALAINE, D. S. y ACHRYA, R. M. Persistency and peak yield in Hariara cattle. Phenotypic and genetic parameters. *Indian Journal of Animal Science*. 41: 215-217. 1971.
11. JOHNSON, J. E., LEWIS, C., STONE, E. J. y BRANTON, C. The influence of season of freshening on production records of Jersey and Holstein cows in Louisiana. *Journal of Dairy Science*. 39: 933. 1956.
12. LAMB, R. C. y MCGILLIARD, L. D. Ratio factors to estimate 305 day production from lactation records in progress. *Journal of Dairy Science* 50: 1101-1108. 1967.
13. MAO, I. L., WILTON, J. W. y BURNSIDE, W. B. Parity in age adjustment for milk and fat yield. *Journal of Dairy Science* 57:100-104. 1974.
14. MARQUARDT, D. W. Generalized inverses, ridge regression, biased linear and nonlinear estimation. *Technometrics*. 12: 591. 1970.
15. McDOWELL, J. K. Influence of season of freshening on production and income from dairy cows. United States. Department of Agriculture Publ. N° 1071. 1972. 475 p.
16. MILLER, P. D., LENTS, W. E., HENDERSON, C. R., Joint influence of month and age of calving on milk yield of Holstein cows in the northeastern United States. *Journal of Dairy Science* 55: 208-213. 1970.
17. MILLER, P. D. Joint influence of month and age of calving on milk yield of Holstein cows in the northeastern United States. *Journal of Dairy Science*. 54: 351. 1971.
18. MILLER, P. D. Lactation and other production curves as criteria for culling dairy cows. New México Agriculture Experimental Station Bulletin. 1975. 632 p.

19. **NORMAN, H. D., MILLER, P. D., y McDANIEL, B. T.** DHI factors for age and month of calving. Publication A.R.S. - NE - 40 Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. 1974. 40 p.
20. **RAKES, J. M., STALLCUP, O. T., HORTON, O. H. y GIFFORD, W.** Relationship between certain factors and maximum dairy milk production. Journal of Dairy Science. 42: 923. 1959.
21. **VLECK, L. D. van y HENDERSON, C.R.** Use of parts lactation records in sire evolution. Journal of Dairy Science. 44: 1511. 1961.
22. **WAYNE, K., SCOTT, D.N. y ORTEGA, A. J.** Estimating Holstein lactation curves with a gamma curve. Journal of Dairy Science 60: 1308-1315. 1977.