

Estudio comparativo de dos sistemas de selección: método de compañeras de rebaño vs un modelo animal

Comparative study between two selection systems: herd mate comparison vs animal model

Jorge P. Calderón Velásquez¹; Gladys L. Garay Livia²

Resumen

Se han evaluado dos métodos de selección para vacas lecheras con la finalidad de poder comparar la eficiencia en la selección, una mediante el “Método de Compañeras de Rebaño” (MCR) y otra utilizando el “Modelo Animal con Medidas Repetidas” (MAMR). Las 597 lactaciones evaluadas corresponden a vacas de la raza Holstein de la Unidad Experimental de Zootecnia, nacidas entre los años 1980 a 1985. Los valores de selección obtenidos con el MAMR fueron diferentes, en la mayoría de los casos, porque proporcionan un mejor valor de selección debido a que, por las consideraciones del modelo, tiene en cuenta los cambios en la varianza genética que se pueden haber producido por el efecto mismo de la selección y los apareamientos dirigidos. La precisión de la selección y la ganancia en precisión para el método de compañeras de rebaño fue, en promedio, considerable, ya que se lograron valores de 1,33 (33 % más de precisión con respecto a evaluar una sola lactación) y una ganancia en la precisión de la selección máxima de 0,44 o 44 %. La tendencia genética observada durante el periodo de evaluación, en función al año de nacimiento de las vacas, estimada con los valores genéticos hallados mediante el modelo animal, fue de +8,07 kg de leche por año.

Palabras clave: modelo animal; compañeras de rebaño; selección.

Abstract

We evaluated two methods of selection for dairy cows with the objective of being able to compare the efficiency in the selection, the first was “Mate Contemporary Comparison” (MCC) and the second method used was “Animal Model with repeat measure” (RAM). The 597 lactation evaluated were Holstein milking cows at the Unidad Experimental of Zootecnia, born between 1980 and 1985. The selection values obtained with the Animal Model were different, in most cases, because this method provides a better selection value on account of the model considerations, it considers the changes in the genetic variance that may have occurred because of the effect of selection and directed pairings. The precision of selection and the gain in precision for the mate contemporary comparison method was, in average, considerable, taking into consideration that values of 1,33 were achieved (33 % more precision than the evaluation with only one lactation) and a gain in precision of selection of 0,44 or 44 %. The genetic trend observed during the evaluation period, in function of the year of birth of the cows, estimated from the genetic values found through the animal model was +8,07 kg milk per year.

Keywords: animal model; mate contemporary comparison; selection.

1. Introducción

En las últimas décadas, se han formulado nuevos métodos de selección en ganado lechero, con la finalidad de obtener opciones más confiables, porque de ello depende el grado de mejora que se pueda lograr, así como la estimación del progreso genético en las siguientes generaciones.

Si bien es cierto que la edad es un factor en la variación de la producción de leche dentro de la misma raza, existen otros factores, como el efecto del año de parto, estación de parto, efecto del rebaño, etc., que deben tenerse en cuenta en los procesos de selección.

Una de las alternativas, para estimar de la manera más eficiente los valores de selección, fue la de corregir la información de producción, utilizando para ello factores predeterminados, que de alguna manera podían corregir dichos efectos, pero entendiéndose que dichos factores no habían sido, en muchos de los casos, determinados en nuestro medio.

En la actualidad, la tecnología nos permite plantear modelos que incluyen factores fijos y aleatorios clasificados como modelos mixtos para la estimación de los valores mejoradores o de cría, que han sido descritos

1 Profesor Principal, Departamento Académico de Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
Email: jcalderonv@lamolina.edu.pe

2 Ing. Zootecnista, Mg. Sc. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ancash.

por Henderson (1974) y ampliamente desarrollados y aplicados a diversas situaciones en la mejora animal; estos permiten obtener valores de cría más confiables (Cassell, 1988).

El objetivo del presente estudio es comparar dos métodos de selección que se emplean en vacunos de leche, el método Comparación de Compañeras de Rebaño y el Modelo Animal con Medidas Repetidas, la confiabilidad de los valores de selección por el método de Compañeras de Rebaño y la tendencia genética mediante el modelo animal.

Métodos de selección en vacas lecheras

La selección de las vacas lecheras debe permitir lograr un progreso genético adecuado a las características de importancia económica definido como objetivo de selección (Dekkers *et al.*, 2004).

El estimado del valor de producción de una vaca empieza con la evaluación de su primer registro de producción, este es uno de los métodos más utilizados, descrito por Lush (Lasley, 1978; Willcox *et al.*, 2003) como la Más Probable Habilidad Productora (MPHP), que está en función de la repetitividad de la característica y que tiene en consideración la desviación de la producción de las vacas con respecto a sus compañeras de rebaño, siendo la ecuación modificada:

$$MPHP = (\text{Diferencial de selección promedio}) * \left[\frac{nr}{1+(n-1)r} \right]$$

donde:

n = número de lactaciones consideradas de la vaca

r = repetitividad de la característica, 0,50 para producción de leche

Este ha sido uno de los sistemas más implementados en la selección de vacas lecheras en la mayoría de los rebaños comerciales.

El sistema de selección de compañeras de rebaño, por muchos años no ha contemplado la inclusión de la información de la madre de la vaca que está siendo evaluada, lo cual se puede considerar como una desventaja (Aitchison, 1989). Cuando consideramos registros repetidos, las covarianzas entre ellos y el valor genético aditivo de un individuo, el índice para determinar el valor de selección, será:

$$I = \frac{nh^2}{1+(n-1)r} d_s$$

donde d_s representa la desviación del valor de producción del animal con respecto a sus compañeras de rebaño, h^2 es el valor de la heredabilidad de la característica y r el valor de la repetitividad para la característica.

Otra metodología planteada para determinar valores de selección en las vacas son los estimados de la Habilidad Transmisora, en base a la información del valor de cría del padre y del grado de superioridad de la vaca con respecto a las compañeras de rebaño; el método es conocido como Cow Index o Índice de Vaca (Van Vleck *et al.*, 1988).

El Cow Index o Índice de Vaca se define como la habilidad transmisora de la vaca para la producción de leche, grasa, mérito neto (valor económico), lo que significa que es el valor inferior o superior con respecto al promedio de la

raza para producción que ella va a transmitir a su progenie (Dickinson *et al.*, 1974).

La ecuación que estima el Cow Index o Índice de Vaca es el propuesto por Dickinson *et al.*, 1974:

$$CI = \frac{1}{2} [w_1 [(\bar{C} - AHMA) + 0,2(AHMA - BA)] + w_2 (DP_{\text{Padre}})]$$

donde:

$\frac{1}{2}$ = Factor que expresa el índice en términos de la Habilidad Transmisora de la vaca.

w_1 = Factor de ponderación a la información (registros) de la vaca.

w_2 = Factor de ponderación a la información genética del padre, DP en leche, en base a la repetitividad de la prueba.

C = Promedio de producción de la vaca, ajustado a 305d, 2X y edad adulta.

AHMA = Suma de los promedios ajustados de las compañeras de rebaño dividido entre el número de registros.

BA = Promedio de producción en leche de la raza de la vaca.

0,2 = Coeficiente de regresión entre la diferencia del promedio de la raza y la producción de las compañeras de rebaño.

DP = Diferencia Predicha (DP) del padre de la vaca.

Modelos mixtos en evaluaciones genéticas

Henderson (1974) plantea un modelo lineal mixto, conocido como BLUP (Best Linear Unbiased Predictor o Mejor Predictor Lineal No Sesgado), para poder realizar estimaciones de los valores de cría de los animales, siendo la ecuación general del modelo mixto:

$$y = X\beta + Za + \varepsilon$$

Donde X y Z son matrices conocidas de los efectos fijos y relaciones aditivas de los individuos, b es un vector de los coeficientes de los efectos fijos no conocidos, y a es un vector no conocido de los valores de cría que se desea evaluar.

Desde el desarrollo del BLUP por Henderson (1974), se han realizado varios trabajos con la finalidad de poder superar los efectos de la genealogía faltante, ya que los modelos mixtos exigen tener una genealogía completa con la finalidad de poder evitar el sesgo que puede existir en la determinación de los animales base; una de las metodologías es la de formar grupos genéticos cuando un padre o un grupo de padres es faltante en la relación genealógica (Weston, Lindsay, Purser, Gordon y Davis, 1988).

En la Universidad de Cornell (Willcox, 2003) se implementa el BLUP en los años 1970, siendo el resultado el Modelo Animal, luego implementado por el USDA para sus evaluaciones genéticas nacionales a partir de 1989 (Powell y Norman, 2006).

En la Tabla 1, se resume las diferencias entre la metodología del Modelo Animal y la de Compañeras de Rebaño contemporánea, como se podrá observar existen muchas diferencias, principalmente en las fuentes de variación genética y la contribución de estas en la determinación de la confianza de los valores de cría.

Modelo animal en las evaluaciones genéticas en vacunos lecheros

Cassell (1989) indica que el modelo animal es un sistema para evaluar genéticamente y que estima los valores de cría de los toros y vacas simultáneamente. Asimismo, las evaluaciones genéticas en ambos sexos son llamadas Habilidad Predicha de Transmisión (Predicted Transmitting Ability o PTA), que indica cuáles son los aspectos genéticos del animal que serán transmitidos a su progenie, teniendo la misma base genética, el mismo significado y la misma interpretación en ambos animales.

Van Vleck (1992) indica que el modelo animal, en las evaluaciones genéticas de vacunos lecheros, incluye tres factores que, al ser combinados, resultan en el registro de producción del animal; estos factores son los genes, el medio ambiente y el manejo que se realiza con los animales del rebaño. El efecto del manejo es sinónimo de grupo contemporáneo y es una manera de identificarlo, usualmente este efecto se debe al manejo, al año y a la estación de parto.

Asimismo, el Modelo Animal no solamente evalúa caracteres productivos o cuantitativos, sino también caracteres de tipo del animal en la raza Holstein (Misztal, Lawlor y Short, 1993), así como en otras cinco razas de ganado lechero, Ayrshire, Jersey, Brown Swiss, Guernsey y Milking Shorthorn, utilizando un modelo animal con transformación canonical, diagonalización múltiple y el algoritmo de máxima verosimilitud restringida (Gengler *et al.*, 1999). En el año 1984, en Australia, se implementa un modelo animal con el método test day model (TDM) para las evaluaciones genéticas de los vacunos lecheros (Powell y Norman, 2006).

El modelo animal no se utiliza únicamente para estimar un solo valor genético de una característica, sino también es posible combinar, en la misma evaluación, varias características, mediante la aplicación del modelo para caracteres múltiples, en el que no necesariamente deben de tener el mismo modelo mixto (Henderson y Quaas, 1976).

Las evaluaciones genéticas, así como la confección de los índices de selección, en la mayoría de los países que tienen implementadas las evaluaciones genéticas, utilizan la metodología del modelo animal, tales como España, Italia, Inglaterra, Holanda, Dinamarca, Suecia, Canadá, Australia, Francia, Israel, Japón, Nueva Zelanda.

2. Materiales y métodos

Los registros de producción

Las lactaciones corresponden a los registros de producción compilados hasta diciembre de 1990, de las vacas nacidas entre los años 1980 y 1985, pertenecientes a la Unidad Experimental de Zootecnia.

Se registraron 597 lactaciones, pertenecientes a 229 vacas Holstein, todas ellas con un primer parto. Asimismo, se ha considerado la genealogía de los ancestros hasta el nivel de abuelos, en el caso de las vacas.

La metodología de estimación de los valores de selección

Método de compañeras de rebaño

Método modificado con la finalidad de utilizar la desviación de los valores de producción de la vaca con respecto a sus compañeras de rebaño, considerando una media de comparación de un intervalo de cinco meses (Wiggans y Van Raden, 1989; Willcox, Weeb y DeLorenza, 2003), siendo el modelo:

$$MPHP = (\text{Diferencial de selección promedio}) * \left[\frac{nr}{1 + (n-1)r} \right]$$

considerando el valor de la repetitividad (r), para la producción de leche en 0,50 (Willcox *et al.*, 2003).

Los registros de producción, han sido estandarizados a edad adulta, utilizando los coeficientes de corrección dados por Van Vleck *et al.*, (1988). La determinación de la ganancia en precisión del estimado se realizó utilizando la siguiente ecuación (Lasley, 1978; Willcox *et al.*, 2003):

Tabla 1. Comparación entre los sistemas de selección: Modelo Animal versus el método de Compañeras Contemporáneas de Rebaño

Característica	Modelo Animal	Comparación Compañeras de Rebaño
1. Animal Evaluado	Todos simultáneamente	Sólo machos, posteriormente hembras
2. Mérito de las compañeras	Sí	No
3. Contribución de la madre	Sí	No (Solo abuelo materno)
4. Hijos contribuyen a padres	Sí	No
5. Hijas contribuyen a madres	Sí	No
6. Lactaciones incluidas	1 – 5	1 – 15
7. Primera lactación requerida	Sí	No
8. Últimas lactaciones en el rebaño	Sí	Sí
9. Componentes de confianza	Sí	No
- Padres para madres	Sí	No
- Hija para madres	Sí	No
- Hijos	Sí	No
10. Grupo medio ambiente	Grupo de manejo (2 meses flexible)	Grupo contemporáneo (5 meses centrado)
11. Base definida	Año de nacimiento	Año de parto

$$\text{Ganancia en precisión} = 1 - \left[\frac{1 + (n-1)r}{n} \right]$$

Asimismo, la precisión en la selección utilizando el método de las compañeras de rebaño se ha establecido mediante la siguiente ecuación (Warwick y Legates, 1980):

$$\text{Precisión} = \sqrt{\frac{n}{1 + (n-1)r}}$$

Modelo Animal con medidas repetidas

Se ha utilizado el modelo animal con medidas repetidas, cuya condición es que la vaca debe haber tenido la primera lactación (Wilcox *et al.*, 2003), el modelo ha considerado los factores fijos de año de parto, edad al momento del parto, número de lactación y, como factores aleatorios, el valor genético del animal, el efecto permanente y el error, siendo el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + L_k + u_l + Ep_l + e$$

donde:

Y_{ijkl} = Valor de producción de leche a 305 días, 2X, de la l-ésima vaca.

μ = Valor de la media.

A_i = Efecto del año de parto de la l-ésima vaca en la k-ésima lactación.

E_j = Efecto de la edad de parto de la l-ésima vaca en la k-ésima lactación.

L_k = Efecto del número de lactación de la l-ésima vaca.

u_l = Valor genético de la l-ésima vaca.

Ep_l = Efecto permanente, debido a las diferencias entre lactaciones de la l-ésima vaca.

e_{ijkl} = Error residual del modelo.

Siendo el modelo mixto y las ecuaciones del modelo:

$$Y = Xb + Zu + Wp + e$$

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'Y \\ Z'Y \\ W'Y \end{bmatrix}$$

donde:

X = Matriz de los efectos fijos, de orden $p \times q$, formado por la media, edad al parto, número de lactación, año de parto.

b = Vector no conocido de los coeficiente de los efectos fijos.

Z = Matriz de relaciones aditivas, de orden $m \times n$, determinado por el número de animales con registro y sin registro de producción.

u = Vector no conocido de los efectos aleatorios, valor genético aditivo, de los animales considerados en la matriz de relaciones aditivas.

W = Matriz de relaciones de las medidas repetidas de los animales con registro de producción.

p = Vector no conocido de los efectos permanentes, de los animales con registro de producción.

e = Término de error del modelo.

$$a = (1 - r) / h^2$$

$$g = (1 - r) / (r - h^2)$$

En la heredabilidad (h^2) para la producción de leche se consideró el valor de 0,30 y la repetitividad (r) de 0,50

(Wiggans, 1999). Para la determinación de los valores del modelo animal se utilizó el programa PEST en su versión 3.0 para DOS (Groeneveld *et al.*, 1990), utilizando en la estructura de la genealogía un primer modelo en el que se consideró solamente los padres del animal y un segundo modelo en el cual se consideró animales sin registro de producción y hasta el nivel de abuelos maternos.

3. Resultados y discusión

Los promedios generales

Se ha tenido la siguiente distribución a través de los años, el número de vacas nacidas y por lo menos con una lactación completa, son 33, 56, 46, 39, 31 y 24 vacas, para los años de 1980 a 1985 respectivamente. La distribución de los registros de producción por lactaciones se presenta en la Tabla 2.

De la Tabla 2, solamente el 69,43 % de las vacas presenta

Tabla 2. Número de registros de producción por lactaciones

Número de Lactación	Número de registros	Frecuencia relativa, %	Frecuencia relativa a la 1ª lactación
1	229	38,76	-
2	159	26,63	69,43
3	110	18,43	48,03
4	64	10,72	27,95
5	25	4,19	10,92
6	6	1,01	2,62
7	3	0,50	1,31
8	1	0,17	0,44
Total	597	100,00	-

una segunda lactación, lo cual indica que ha existido una intensidad de selección del orden del 30,57 %; esta es una intensidad máxima lograda; a la tercera lactación solamente han llegado el 48,03 % de las vacas, en la cual la tasa de selección fue superior al 50 %.

Los valores promedios, máximos, mínimos, varianza, para la producción de leche real y para los factores fijos incluidos en el modelo, se presentan en la Tabla 3. Los valores de días de lactación han mostrado una amplio rango, lo cual genera una variabilidad alta; asimismo, la producción de leche presenta una varianza muy alta mientras que el promedio es relativamente bajo.

Los valores de producción para lactaciones a 305d, 2X, así como las producciones corregidas a edad adulta, y los valores utilizados en la determinación de las desviaciones para el método de las compañeras de rebaño, se presentan en la Tabla 4.

Durante este periodo la producción de leche a 305d, 2X, ha sido menor, en promedio, que la real, y la corregida a edad adulta presenta un valor mayor, ya que la primera lactación presenta una mayor frecuencia, lo que ha permitido tener un mayor valor al momento de la estandarización a edad adulta.

En los niveles de producción a 305d, 2X, por lactación, tanto para producción real y corregida a edad adulta, se ha observado una variación a través del número de la

Tabla 3. Valores promedio, máximos, mínimos, varianza y desviación estándar, para la producción de leche y los factores del modelo mixto

Valores	Año Nacimiento	Año de Parto	Número de Parto	Edad al Parto	Días de Lactación	Producción Leche Real
Máximo	1985	1990	8	112	602	11.645,00
Mínimo	1980	1982	1	22	187	1.945,00
Promedio			2,61	42,76	331,99	5.428,30
Desv. Est.					70,88	1.446,01
Varianza					5.024,28	2.090.941,83
n°	6	9	8	74		597

Tabla 4. Valores promedio de producción de leche a 305d, 2X, y corregida a edad adulta, valores desviantes para el método de compañeras de rebaño (kg)

Valores	Producción de leche	Producción de grasa	Leche Corregida EA	Grasa Corregida	Promedio Desviación Vacas	Compañeras de Rebaño
Máximo	8.687	261	11.428,69	342	5.166,74	7.061,40
Mínimo	1.945	64	1.964,45	64,83	-3.585,79	0,00
Promedio	5.081,54	162,03	5.959,22	190,06	2,07	5.946,76
Desviación estándar	1.136,05	32,71	1.485,15	43,66	1.276,26	844,67
Varianza	1.290.600,55	1.069,78	2.205.671,89	1.906,35	1.628.834,29	713.474,67
n°	597					

Tabla 5. Promedios de producción de leche a 305d, 2X, corregidos a edad adulta por lactaciones

Lactación	N	Producción de Leche, kg	
		305d, 2X	Corregida EA
1	229	5.110,24	6.656,79
2	159	5.125,80	5.969,94
3	110	5.320,12	5.620,30
4	64	4.880,33	4.906,42
5	25	4.312,92	4.320,28
6	6	4.001,50	4.055,11
7	3	4.930,33	5.028,94
8	1	4.259,00	4.386,77

lactación, cuyos valores se presentan en la Tabla 5.

La mayor producción a 305d, 2X se logra a la tercera lactación, la cual podríamos considerar que es la edad adulta para las vacas de la Unidad Experimental de Zootecnia, ya que en los partos sub siguientes la tendencia es a disminuir; al momento de corregir a edad adulta, los valores de producción se incrementan significativamente para las tres primeras lactaciones, siendo mucho mayor para la primera lactación.

El efecto del año de parto fue significativo, si se analizan las variaciones del primer parto logrado a través de los años de 1982 a 1987; el mayor nivel de producción se produjo en el año 1985, siendo inclusive mayor al promedio del rebaño. El comportamiento de los partos a través de los

años ha sido similar al primer parto, es decir se tiene valores menores en los primeros años incrementándose los valores de producción en adelante, pero que al final del período del estudio los valores en promedio fueron muy bajos; dichas variaciones se muestran en la Tabla 6.

El año 1986 fue el mejor para todas las lactaciones, ya que son los mejores promedios de producción que se han logrado, tanto para el primer, segundo, tercer, cuarto y quinto parto, observándose además que el número de vacas que pasan a la siguiente lactación es menor al 50 % de la lactación anterior, lo que ha obligado tener una tasa de reposición muy alta.

La edad al momento del parto también ha presentado una variación en la producción de leche, puesto que, al analizar

Tabla 6. Niveles de producción de leche, por lactación, dentro de años de parto

Año de Parto	Lactación (número)									
	1		2		3		4		5	
	n	kg	n	kg	n	kg	n	kg	n	kg
82										
83										
84										
85	29	4.801,83	13	4.776,92	8	4.764,03				
86	47	4.577,28	31	4.967,35	22	5.858,77	4	5.478,00	1	5.488,03
87	40	4.848,08	32	5.127,22	23	5.825,96	12	5.901,08	2	4.426,50
88	55	5.483,60	42	5.868,79	33	5.353,09	17	5.070,24	10	4.091,80
89	28	5.738,46	21	5.032,81	13	4.880,46	18	4.198,50	6	4.166,33
90	30	5.322,03	15	4.121,73	9	3.947,44	7	4.206,29	3	4.592,00
91			5	4.167,80	2	4.290,50	6	4.734,17	2	5.133,00
92									1	3.524,00
Promedio	229	5.110,24	159	5.125,80	110	5.320,12	64	4.880,33	25	4.312,82

su tendencia en una función lineal, se ha observado una inclinación a disminuir a medida que se tiene mayor edad, pero con un R^2 bajo, del orden del 0,194, siendo el valor del coeficiente de determinación muy bajo.

Los valores de selección mediante el método de compañeras de rebaño

Los valores han sido determinados para cada lactación de las vacas, con respecto a sus compañeras de rebaño, y se ha ido obteniendo el promedio de desviaciones por vaca y ajustado en función al número de partos que tenía el animal (Tabla 7).

Se ha observado que las vacas nacidas en los años 1980, 1981 y 1982, en promedio, presentaron valores negativos de selección mientras las vacas nacidas en los años 1983, 1984 y 1985 tuvieron sus valores de selección, en promedio, positivos, lo que podría estar indicándonos que

la selección ejercida en los padres y madres han resultado positivos; esta variación hallada se resume en la Tabla 8.

El máximo valor de selección fue de +1.555,89 kg de leche, que corresponde a una vaca nacida en el año 1984 con dos lactaciones, lo que significa que su valor de producción es superior con respecto al promedio de sus compañeras de rebaño, en ese aspecto. Asimismo, el menor valor de selección encontrado corresponde a una vaca de cuatro lactaciones, nacida en el año 1980 y que arroja un -1.783,83 kg de leche; esta vaca tiene un valor de producción menor con respecto a sus compañeras de rebaño.

Debido a que las desviaciones de producción de las vacas están ponderadas por el número de lactaciones, se asume que los valores son comparables entre sí, por lo cual se podría interpretar que han existido animales que, aún teniendo valores de selección menores al promedio de

Tabla 7. Valores de desviación promedio de las compañeras de rebaño y valores promedio de selección en el periodo de estudio (kg de leche)

Valor	Valor Desviación		Promedio Desviación		Valor de Selección		Precisión en la Selección	Ganancia en Precisión
	Leche	Grasa	Leche	Grasa	Leche	Grasa		
Máximo	5.166,74	124,34	2.974,50	86,52	1.555,89	45,84	1,33	0,44
Mínimo	-3.585,79	-109,79	-2.754,20	-85,57	-1.783,83	-55,77	1,00	0,00
Promedio	2,07	0,06	22,78	0,90	10,54	0,42	1,16	0,23
D.E.	1.276,26	37,45	1.034,02	30,44	654,27	19,22	1,11	0,16
Varianza	1.628.834,29	1.402,35	1.069.191,59	926,70	428.065,85	369,43	1,01	0,03
n°	597	597	229	229	229	229	229	229

las compañeras de rebaño, se han mantenido en el mismo nivel; sin embargo, por otro lado, hay un grupo de vacas que habiendo tenido valores de selección mayores a +1.000,00 kg de leche, solamente han tenido dos lactaciones en promedio, lo que afecta el valor de selección promedio de las vacas que se han mantenido por mayor tiempo en el establo.

La precisión de la selección por el método de las compañeras de rebaño, ha tenido un valor máximo de 1,33, que equivale a decir que fue más preciso en 33 % más al evaluar ocho lactaciones.

Los valores genéticos estimados mediante un modelo animal

El modelo animal utilizado nos ha permitido obtener los coeficientes de ajuste para cada uno de los factores del modelo, dichos valores son presentados en la Tabla 9. En la estructura de la genealogía se ha considerado dos niveles, es decir un primer análisis considerando exclusivamente a los padres de las vacas y un segundo análisis tomando en cuenta la genealogía hasta los abuelos maternos.

El efecto positivo se ha observado en el parto tres, produciéndose 88,90 kg de leche más que los producidos en el primer parto y en el parto seis, con 236,10 kg de leche más que los del primer parto; el efecto negativo se observó en las lactaciones del octavo parto, siendo este valor de -3.169,80 kg de leche.

Considerar el año de parto, tomando como año base 1982 y contando con 11 niveles en el modelo, ha permitido

observar diferentes efectos a través del tiempo; el año de parto 1991 ha contado con el mayor valor de producción, lográndose 2.200,50 kg de leche más con respecto al año 1982, así como en el año de parto de 1986 en que se obtuvo 1.096,90 kg de leche; asimismo, en el año de parto 1989 el nivel de producción ha sido menor (-905,50 kg de leche) con respecto al año base.

Al analizar la edad, considerando 22 meses de edad al parto como referencia de la función estimable, la edad de 33 meses ha mostrado un mayor efecto produciéndose 1.947,10 kg más de leche; en cambio, el efecto negativo fue observado a los 92 meses de parto en el cual se ha producido -2.973,40 kg de leche. Estos resultados nos demuestran que los valores de los coeficientes no necesariamente siguen una tendencia lineal o cuadrática; para información sobre los valores reales para los tres efectos considerados en el modelo ver la Tabla 10.

Los valores genéticos obtenidos por la metodología del BLUP, resumidas de acuerdo con el año de nacimiento de las vacas, se presenta en la Tabla 11, en la que podemos observar que los valores genéticos promedios han tenido una variación a través de los seis años de nacimiento, que para el caso del modelo animal con genealogía de abuelos maternos, el grupo de vacas nacidas en el año 1983 mostró el mejor valor genético promedio, con la misma tendencia estimada con genealogía de padres, y para el siguiente año, la tendencia disminuye a valores promedio negativo para

Tabla 8. Valores promedio de selección para producción de leche (kg) y grasa (kg), de acuerdo al año de nacimiento de las vacas

Año	N° Vacas	Promedio Desviación		Valor de Selección	
		Leche	Grasa	Leche	Grasa
1980	33	-377,02	-11,80	-225,93	-7,19
1981	56	-336,25	-10,01	-249,65	-7,47
1982	46	-70,81	-2,36	-36,13	-1,30
1983	39	380,49	11,61	231,86	7,09
1984	31	236,17	7,98	185,05	6,09
1985	24	732,66	23,55	447,17	14,39
Total	229	94,21	3,16	58,73	1,94

Tabla 9. Coeficientes obtenidos en un modelo animal, en la determinación de valores genéticos para producción de leche

Genealogía	Abuelos Maternos		Padres	Abuelos Maternos		
	Parto	kg Leche		kg Leche	Año de Parto	kg Leche
	1	5.290,40	5.282,70	82	-333,80	-340,30
	2	4.368,00	4.375,30	83	-444,90	-447,00
	3	5.379,30	5.390,00	84	-177,00	-178,60
	4	5.064,80	5.076,40	85	302,60	301,70
	5	4.280,10	4.289,40	86	763,10	764,10
	6	5.526,50	5.525,90	87	119,70	120,50
	7	4.766,40	4.757,30	88	-759,30	-758,30
	8	2.120,60	2.108,20	89	-1.239,30	-1.232,20
				90	-321,30	-321,40
				91	1.866,70	1.874,00
				92	-1.139,30	-1.124,60

Tabla 10. Valores reales para los tres efectos considerados en el modelo

Abuelos Maternos		Padres		Abuelos Maternos		Padres		Abuelos Maternos		Padres	
EDAD	kg Leche	kg Leche	EDAD	kg Leche	kg Leche	EDAD	kg Leche	kg Leche	EDAD	kg Leche	kg Leche
22	-461,70	-446,60	47	768,70	752,80	72	165,60	160,80			
23	-322,00	-305,40	48	616,90	610,50	73	84,30	56,40			
24	-193,10	-179,40	49	-478,90	-483,70	74	99,70	90,80			
25	-128,50	-113,80	50	-211,10	-220,40	76	303,70	301,90			
26	-321,30	-309,20	51	-580,10	-588,00	77	1.393,80	1.386,00			
27	-340,10	-334,90	52	-224,90	-234,30	78	303,70	300,90			
28	-164,80	-154,90	53	-663,10	-669,70	79	849,50	837,00			
29	66,00	74,30	54	-303,50	-312,60	80	-162,10	-177,40			
30	367,30	378,60	55	-20,50	-35,60	81	-110,00	-126,20			
31	-860,30	-845,50	56	-63,90	-72,70	82	429,00	415,70			
32	340,30	349,70	57	-13,90	-14,00	83	1.160,60	1.145,30			
33	1.485,40	1.481,20	58	-897,40	-900,40	84	1.059,30	1.051,50			
34	388,20	387,80	59	-127,70	-135,10	85	1.215,70	1.187,30			
35	472,50	474,40	60	33,00	27,80	87	-23,90	-35,30			
36	642,60	642,40	61	-225,90	-230,70	88	2.044,00	2.027,80			
37	584,10	582,60	62	-289,00	-302,10	89	-2.330,60	-2.333,80			
38	686,90	682,90	63	-478,80	-491,90	90	-2.403,10	-2.403,30			
39	296,20	291,00	64	-122,50	-131,50	92	-3.435,10	-3.475,50			
40	258,20	253,00	65	396,60	392,60	94	-160,00	-170,90			
41	249,80	242,10	66	-159,20	-171,50	96	-1.368,60	-1.369,30			
42	1.172,60	1.160,90	67	172,30	162,00	100	-1.210,80	-1.206,70			
43	1.029,10	1.029,60	68	-1.024,30	-1.029,70	101	605,40	603,40			
44	535,00	528,00	69	-605,20	-610,50	108	-58,50	-96,40			
45	935,70	935,50	70	-131,20	-139,10	112	0,00	0,00			
46	899,10	894,40	71	-988,30	-961,60						

luego obtener vacas que en promedio tuvieron un valor genético promedio positivo.

Como el modelo animal agrupa a los animales de acuerdo al año de nacimiento, que es la base de comparación, la tendencia genética puede ser estimada o se puede considerar como respuesta a la selección; en este sentido, podemos decir que en el año 1980, considerado como año base, la respuesta a la selección para el año siguiente fue negativa en 2,25 kg, haciéndose positiva la respuesta a la selección recién para el grupo de nacidas en el año de 1983. La tendencia genética, durante el periodo de estudio, determinado por regresión del valor promedio de las vacas nacidas en dicho año sobre el año de nacimiento, obteniéndose una tendencia genética positiva de +8,07 kg de leche, con un R^2 de 1,00.

Los valores genéticos obtenidos con genealogía de padres y de abuelos maternos son similares, en promedio; indudablemente, los valores obtenidos con el modelo animal, con genealogía hasta abuelos maternos, es más

confiable, ya que la exactitud de las pruebas está asociada a la genealogía del animal, cuantos más individuos se relacionan en la genealogía, los valores estimados serán más confiables (Cassell, 1989).

Del total de vacas evaluadas, el 48,47 % (111 vacas) han presentado un valor genético positivo y el 51,53 % (118 vacas) tuvieron un valor genético negativo, con el modelo animal con genealogía de abuelos maternos, la distribución fue similar para el método considerando genealogía de padres solamente (49,34 % y 50,66 %, respectivamente).

Si se consideran los valores genéticos de las vacas madres de la progenie, las que muestran valor genético positivo transmitirán un valor positivo que, complementado con la selección de los padres de dichas progenies, transmitirán a las crías un valor genético (estimado) positivo; mientras que las vacas que muestran un valor genético negativo (en función del año base), transmitirán a su progenie valores negativos para la producción de leche, desde el punto de vista de efecto aditivo de los genes para la producción.

Tabla 12. Comparativos de los valores de selección obtenidos mediante el método de compañeras de rebaño y un modelo animal con medidas repetidas (40 primeros animales)

Orden	Animal	N° Partos	Modelo Animal		Método de Compañeras de Rebaño		
			Valor Genético (kg Leche)		Orden	Valor de Selección kg Leche	Ganancia en precisión
			Abuelos	Padres			
1	84H0421	2	413,97	405,51	1	1.555,89	0,25
2	80H0051	4	401,32	391,75	29	742,72	0,38
3	83H0331	2	382,50	374,80	10	1.162,14	0,25
4	83H0353	6	343,36	413,31	16	1.046,68	0,42
5	83H3115	1	330,76	331,57	3	1.482,48	0,00
6	83H0351	4	315,58	267,63	31	714,43	0,38
7	80H0041	3	314,84	304,95	12	1.143,20	0,33
8	80H0027	4	300,55	283,71	27	761,42	0,38
9	83H0335	4	298,89	304,00	41	593,01	0,38
10	85H0583	2	292,48	247,39	5	1.456,35	0,25
11	84H0417	5	292,07	292,21	13	1.113,44	0,40
12	84H0423	4	286,83	189,51	121	-10,53	0,38
13	83H0355	1	272,84	254,32	17	1.045,55	0,00
14	80H0013	5	264,09	248,70	120	-2,34	0,40
15	83H0323	5	258,29	246,97	25	805,22	0,40
16	80H0001	4	256,40	261,51	114	46,83	0,38
17	80H0053	3	255,55	225,91	62	430,98	0,33
18	83H0387	5	249,25	240,54	68	375,85	0,40
19	83H3105	3	241,62	235,98	98	128,35	0,33
20	83H0397	1	236,48	235,99	82	228,48	0,00
21	83H3137	2	234,06	228,03	61	431,71	0,25
22	80H0087	4	232,55	229,75	46	586,41	0,38
23	83H0319	3	228,94	210,80	131	-86,07	0,33
24	83H0375	5	228,90	207,43	109	57,67	0,40
25	80H0025	1	223,20	186,73	69	334,83	0,00
26	83H0327	3	219,74	175,29	58	456,10	0,33
27	85H0533	1	218,97	133,98	4	1.467,53	0,00
28	82H2089	3	215,77	205,73	7	1.342,03	0,33
29	83H0345	1	213,02	219,41	11	1.151,68	0,00
30	83H0309	3	212,85	202,63	133	-101,77	0,33
31	83H3131	2	210,22	204,45	66	418,54	0,25
32	84H0435	4	208,97	234,66	56	486,36	0,38
33	83H3125	3	201,18	200,51	95	138,67	0,33
34	81H1075	1	192,98	192,44	33	655,49	0,00
35	83H0337	4	191,57	184,06	72	302,19	0,38
36	85H0517	3	189,09	150,81	8	1.245,39	0,33
37	81H1095	1	188,81	194,00	34	650,37	0,00
38	81H1077	3	178,08	188,41	53	531,09	0,33
39	85H5123	2	177,55	174,26	18	1.006,14	0,25
40	83H0311	3	175,29	197,25	88	193,52	0,33

Comparación de los valores de selección del método de compañeras de rebaño y del modelo animal

La selección estimada mediante el método de Compañeras de Rebaño y el Modelo Animal, no han determinado los mismos valores ni han mantenido el orden de clasificación de los mismos. Los valores obtenidos por la metodología de Compañeras de Rebaño son relativamente altos, mientras

que los presentados por el Modelo Animal, considerando las relaciones genealógicas de los animales, son menores. Para el caso del animal 84H0421, ambos métodos le asignan el mayor valor de selección para la producción de leche; en cambio, para el caso del animal 80H0051, ambos métodos dan valores significativamente diferentes. El modelo animal le atribuye el segundo lugar mientras

que el método de compañeras de rebaño lo ubica en el orden de selección 29. Esta diferencia se explica por las propiedades de los modelos mixtos (modelo animal), que al momento de determinar el valor genético tienen en cuenta las relaciones de genealogía, los cambios en la varianza, tanto genética como ambiental, de los factores considerados en el modelo y realiza un mejor ajuste por la relación y la inclusión de los parientes dentro del grupo de animales (Kennedy, 1989).

4. Conclusiones

Los valores de selección obtenidos mediante las dos metodologías no permiten establecer el mismo orden de selección de los animales, ya que el método de compañeras de rebaño no ajusta eficientemente los factores que puedan tener incidencia en el valor de producción de leche en las vacas evaluadas. La metodología del Modelo Animal tiene en cuenta todas las relaciones fenotípicas y genéticas que se puedan dar, tanto en el manejo, como principalmente en los cambios de la varianza genética que puedan haberse producido por efecto de la selección misma, así como por los apareamientos dirigidos, parentesco y consanguinidad. Los valores de selección más eficientes y más confiables son las determinadas mediante el uso del Modelo animal, en los que se incluyó genealogías hasta abuelos maternos, con la finalidad de poder tener una relación de parentesco más completa entre los individuos de las familias de las vacas. La tendencia genética en el rebaño, estimado mediante la regresión del valor genético promedio (valores estimados con el modelo animal) sobre el año de nacimiento, se estimó en +8,07 kg de leche anual, considerado un progreso genético bajo.

5. Literatura citada

- Aitchison, T. E. 1989.** *The Usda Animal Model Genetic Evaluations*. Iowa State University.
- Cassell, B.G. 1988.** The Animal Model. Virginia State University. Virginia Cooperative Extension. *Bulletin*, N° 404-086.
- Dekkers, J.; Gibson J.P.; Bijma, P. y Van Arendonk, J. 2004.** *Design and Optimization of Animal Breeding Programmes*. Department of Animal Science. Iowa State University.
- Dickinson, F.N. 1977.** *Information on the Usda-Dhia Modified Contemporary Comparison*. Animal Improvement Programs Laboratory. Ars, Usda.
- Dickinson, F.N.; Mcdaniel, B. T.; Norman, H.D.; King, G.J.; Powell, R.C. y Keown, J.F. 1974.** *Usda-Dhia. Cow Performance Index List*. Usda, Aipl.
- Gengler, N.; Wiggans, G.R. y Wright, J.R. 1999.** Animal Model Gene-tic Evaluation of Type Traits for five Dairy Cattle Breeds. *J. Dairy Sci*, 82 (6): 1350.
- Groeneveld, E.; Kovac, M. y Wang, T. 1990.** *PEST Multivariate Prediction and Estimation*. Department of Animal science. University of Illinois.
- Henderson, C.R. 1977.** Best linear unbiased prediction of breeding values not in the model for records. *J. Dairy Sci*, 60, 783.
- Henderson, C.R. y Quaas, R.L. 1976.** Multiple Trait Evaluation using relative re-cords. *J. Animal Sci*, 43 (6):

1188.

- Kennedy, B.W. 1989.** *Animal Model Blup*. Centre for Genetic Improvement of Livestock. University of Guelph. Canada.
- Lasley, J.E. 1978.** *Genetics of Livestock Improvement*. Prentice – Hall. (3ra. ed.).
- Misztal, I.; Lawlor, T.J. y Short, T.H. 1993.** Implementation of single- and multiple-trait animal models for genetic evaluation of Holstein type traits. *J. Dairy Sci*, 76: 1421-1432.
- Norman, H.D. 1988.** *Change in Usda-Dhia Genetic Evaluations*. Animal Improvement Program Laboratory. Usda-Ars.
- Usda-Dhia. 1974.** The Usda-Dhia Modified Contemporary Comparison. Sire Summary and Cow Index Procedures. Agricultural Research Service. Usda. *Production Research Report*, N° 165.
- Van Vleck, D.L.; Schmidt, G.H. y Hutjens, M.F. 1988.** *Principles of Dairy Science*. Prentice Hall.
- Van Vleck, D. 1992.** *Animal Model for Bull and Cow Evaluation. Large Dairy Herd Management*. Illinois: American Dairy Science Association.
- Wiggans, G.R. y Van Raden, P.M. 1989.** *Usda-Dhia Animal Model Genetic Evaluations. National Cooperative Dairy Herd Improvement Program Handbook*. Ars-Usda. Fact Sheet H-2.
- Willcox, C.J.; Weeb, D.W. y DeLorenza, M.A. 2003.** Genetic Improvement of Dairy Cattle. *Bulletin 75*. Animal Science Department. University of Florida.
- Weston, R.H.; Lindsay, J.R.; Purser, D.B.; Gordon, G. R. y Davis, P. 1988.** *Aust. J. Agric. Res.*, 39: 1107-1119