

# ESTIMACION DEL VALOR GENETICO PARA PRODUCCION DE LECHE A TRAVES DE UN MODELO LINEAL MIXTO CON REPETIBILIDAD (MODELO ANIMAL)<sup>1</sup>

Camilo Montoya Serna<sup>2</sup>

## RESUMEN

*Se estimó el valor genético aditivo para producción por lactancia a través de un modelo lineal mixto con repetibilidad (Modelo Animal), en vacas Holstein de un hato "élite" localizado en zona ecológica de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y situado a 2600 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 12,5°C, en el Departamento de Antioquia Colombia.*

*Para la aplicación del modelo animal, la heredabilidad utilizada fue de  $0,21 \pm 0,07$  la cual fue estimada en un trabajo previo. La repetibilidad fue estimada a través de un modelo lineal mixto usando el programa de mínimos cuadrados de Harvey (1988). Los registros utilizados fueron un total de 276 lactancias correspondientes a 43 vacas con cuatro o más lactancias consecutivas en el hato. Además del efecto aleatorio vaca, se tuvieron en cuenta los efectos fijos: año, edad, época, regresión de la producción real sobre la duración de lactancia y procedencia. El coeficiente de determinación del modelo fue ( $r^2 = 0,82$ ). Los efectos de vaca, año, edad y regresión de la producción sobre la duración de la lactancia fueron significativos ( $P \leq 0,05$ ) a excepción de la época de parto y procedencia. La repetibilidad obtenida fue de  $0,45 \pm 0,07$ .*

*Para la estimación de los valores de cría se escogieron 24 individuos, 22 hembras y 2 machos, los cuales fueron escogidos teniendo en cuenta el parentesco entre ellos*

<sup>1</sup> El presente es una parte del trabajo de investigación realizado en el Hato Paysandú, 1996.

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Apartado 1779.

(matriz de parentesco), además de contar con suficiente información sobre producción. Para un período de nueve años, 1986-1994, se tomó para las hembras la producción por lactancia previamente ajustada por los efectos duración a 305, número de partos, edad, y época. El año fue tomado como efecto fijo dentro del modelo animal y como aleatorios los valores de cría para producción de leche.

Los individuos se clasificaron de mayor a menor de acuerdo con sus valores de cría, incluyendo dos machos y una hembra que no contaban con información propia. Los valores de cría se encuentran entre -45 kg y 2004 kg con unos rangos de confianza que van de 11 a 369 kg. Y con exactitudes entre 0,79 y 0,99. Los rangos son relativamente estrechos en relación con los valores de cría y las exactitudes de los estimados son altas. La inclusión en el modelo del efecto año, permite la comparación insesgada entre todos los individuos a través del tiempo en el momento de la selección. Además el modelo animal tiene en cuenta, a través de la matriz de parentesco A, los cambios en la varianza genética debidos a la consanguinidad o selección.

Esta es una de las grandes ventajas del modelo animal sobre otros métodos de selección.

**Palabras clave:** Valor genético, modelo animal, repetibilidad, producción de leche.

---

#### ABSTRACT

##### ESTIMATION OF BREEDING VALUE FOR MILK YIELD THROUGH THE LINEAL MIXED MODEL WITH REPEATIBILITY (ANIMAL MODEL)

The breeding value for milk yield through a lineal mixed model with repeatability (animal model) was estimated in Holstein cows of "élite" herd located in a low mountain wet forest, and located to 2600 [m.s.n.m]. with a temperature average of 12,5°C, in the Department of Antioquia Colombia.

For the application of the animal model, the heritability used was from  $0,21 \pm 0,07$  estimated in a previous work. The repeatability was estimated through a lineal mixed model using the program of square minimums of Harvey (1988). The used records were a total of 276 corresponding to 43 cows with four or more serial lactations in the herd. Besides the effect random cow, the firm effects were kept in mind: year, age, calving time, regression of the real production over duration of lactation and source. The coefficient of determination of the model was ( $r^2 = 0,82$ ). The effects of cow, year, age and regression of the production over the duration of

the lactation was significant ( $P \leq 0,05$ ) to exception of calving time and source. The gotten repeatability was from  $0,45 \pm 0,07$ .

24 animals were chosen for estimating the values of breeding, 22 females and 2 males, that were chosen keeping in mind the relationship between them (relationships matrix  $A^{-1}$ ), besides relying on enough information on production. For a period of nine years, 1986-1994, the production for lactation was taken for the females previous fitted for the effects duration to 305, calving number, age, and time. The year was taken as a fixed effect within animal model and as random the values of breeding for production of milk.

The animals were classified of senior to minor in accordance to breeding values, including two males and one female that didn't had own information. Breeding values are between -45 [kg] and 2004 [kg] with confidence intervals between 11 and 369 [kg]. And with exactness between 0,79 and 0,99. The confidence ranges are relatively close in relation with the breeding values and the exactness of the esteemed are high. The inclusion in the model of the year effect, permit the comparison unbiased between all animals through the time in the selection moment. Also the model animal keeps in mind, through the relationship matrix  $A^{-1}$ , the changes in the genetic variance due to consanguinity or selection.

This is one of the big advantages of the animal model over other methods of selection.

**Key words:** Genetic value, animal model, repeatability, milk yield.

## INTRODUCCION

Todo proceso de selección es válido siempre y cuando involucre el concepto de valor de cría o genotipo estimado de la característica a seleccionar. Sin embargo, esto sólo no garantiza por sí mismo el éxito en el progreso genético pues éste depende, entre otros, de la precisión con la cual se estime el valor de cría. Ello explica el porqué se sigue

investigando sobre metodologías que permitan la mayor reducción posible de todos aquellos efectos que interfieren en la estimación del genotipo.

En la selección de características con heredabilidad de media a baja como la producción por lactancia, es necesario recurrir a ayudas de selección que permitan el aprovechamiento de una mayor información

para la evaluación genética de los individuos.

El hato lechero de la Universidad el cual es considerado como "élite", está adscrito a un programa de apareamientos dirigidos para la producción de reproductores y por lo tanto requiere de una selección rigurosa no sólo de las mejores madres sino de los mejores machos. En el caso de éstos últimos, los cuales no pueden ser evaluados directamente sino en forma indirecta a través de la producción de las madres, hermanas y otros parientes, se requiere de un método de evaluación que permita la utilización de la información de todos los parientes conocidos lo cual aumenta la precisión del estimado del valor genético en comparación con otras ayudas de selección tradicionalmente usadas.

En concordancia con lo anterior, la presente investigación se plantea la evaluación genética de 22 hembras y 2 machos en un período de nueve años a través de un modelo lineal mixto con repetibilidad. Este es conocido también con el nombre de modelo animal con repetibilidad y requiere para su aplicación la matriz de parentescos entre los individuos a evaluar lo cual permite utilizar no sólo los registros repetidos de producción, en el caso

de las hembras, sino la información de los parientes para estimar el valor de cría de aquellos individuos que no cuentan con información propia como los machos.

No obstante que en la mayoría de nuestros hatos lecheros no se acostumbra un proceso de selección que se ajuste a los principios establecidos por la técnica del mejoramiento animal, debido generalmente a la carencia de registros de producción, se justifica que en aquellos hatos donde sí hay información se apliquen y conozcan nuevas técnicas de evaluación tales como el modelo animal a través del cual se obtienen un serie de ventajas sobre los métodos de evaluación tradicionales.

Entre éstas podemos destacar el aumento en la precisión del estimado, la eliminación de los efectos de selección a través de los años, entre otras, y la gran ventaja de poder estimar el valor genético de reproductores que carecen de información propia, tanto machos como hembras, a través las producciones de sus parientes.

## REVISION DE LITERATURA

La estimación del valor de cría o genotipo aditivo de la característica

a seleccionar es uno de los aspectos más cruciales de un programa de mejoramiento genético, más si se tiene en cuenta la gran influencia de la precisión del estimado sobre el éxito de la selección.

De acuerdo con Falconer (1981), el índice es el mejor predictor lineal del valor de cría de un individuo y toma la forma de una regresión múltiple del valor de cría sobre todas las fuentes de información. La forma más simple corresponde a la regresión del valor fenotípico sobre el valor reproductivo, multiplicado por el valor fenotípico del individuo expresado como una desviación de la media.

Al respecto Henderson y Quaas (1976), indican como el método del índice de selección ha sido usado para resolver dos problemas en el mejoramiento animal:

- una ponderación óptima de los registros del individuo y de sus parientes para la selección de características simples y,
- una selección fenotípica sobre múltiples características. El mismo autor anota cómo los criadores del ganado lechero han usado ampliamente la primera de estas aplicaciones.

En un estudio simulado para comparar los métodos Modelo Animal e índice de selección en vacas lecheras, se encontró que el índice subestimó la tendencia genética encontrando además que el cuadrado medio del error entre el valor de cría estimado y el real, fue 14% más alto para el índice que para el Modelo Animal. Vander Werf; Kamphof and Vandernbroek (1989) concluyeron que el Modelo Animal dentro del hato es superior al índice de selección porque el primero tiene más en cuenta la selección de las vacas que tienen registros repetidos.

Las anteriores conclusiones concuerdan con Jeyaruban; Gipson and Gowe (1995) quienes en un trabajo en aves de postura, encontraron que el uso del Modelo Animal para estimar los valores de cría da una mayor respuesta a la selección comparado con el índice de selección. Además indican que la relativa eficiencia del Mejor Predictor Lineal insesgado (Blup. Best linear unbiased prediction) sobre los otros índices, decreció con el aumento de la heredabilidad.

El modelo animal es una forma general de modelar los componentes poligénicos aditivos en el contexto del mejor predictor lineal insesgado BLUP (Best linear unbiased

prediction) del valor de cría (Henderson, 1973, citado por Simianer, 1994).

**EL Modelo Animal con Repetibilidad.** Una hembra lechera puede realizar varias lactancias consecutivas, lo cual da origen a varios registros repetidos a través de los cuales es posible estimar su valor de cría. La repetibilidad,  $r$ , es decir la correlación entre rendimientos de un mismo animal es superior a la heredabilidad  $h^2$  porque, los rendimientos de un mismo animal tienden a parecerse y ser mucho más parecidos que lo que supuestamente indica la heredabilidad. El "Efecto del ambiente permanente" debe ser integrado en el modelo, ya que no es transmisible a sus descendientes pero afecta todos sus registros durante el resto de su vida (Biochard *et al.*, 1992).

Este modelo asume que la causa de la correlación entre los registros de los diferentes individuos es debida a la varianza genética aditiva.

Las principales ventajas del modelo animal son:

- la evaluación genética de un animal se hace utilizando los rendimientos propios y los de todos sus parientes en cualquier grado con tal de que estén

incluidos en la genealogía (Jurado, 1991),

- es de anotar que se puede estimar el valor de cría de un individuo sin registros propios o de sus descendientes a partir de una función lineal del BLUP (mejor predictor lineal insesgado) de parientes con registros (Henderson, 1977),
- se obtiene una evaluación simultánea para padres, madres y descendencia,

En resumen el modelo animal tiene en cuenta el cambio en la varianza genética producida como consecuencia de la selección y o consanguinidad y los valores fenotípicos son corregidos por los verdaderos valores de los efectos medio ambientales.

La repetibilidad de la producción de leche depende no sólo de las condiciones medio ambientales, sino de las propiedades genéticas de la población. Esta variación, puede ser una función de diferencias en los componentes genéticos, en los componentes del ambiente permanente, del ambiente temporal o cualquier combinación de ellos. Falconer (1981) y Chapman (1985), usando la correlación intraclase para lactancias de uno a cinco, muestran

estimados de 0,54 y 0,5 para dos tipos de datos diferentes (Butcher y Freeman, 1968); 0,46 para lactancias de uno a cuatro, (Zavertyaev; Gordilov and Mitynt'ko, 1979) y 0,52 a 0,59 para dos lactancias sucesivas (Pribyl; Vachal and Havlickovak, 1977).

Salazar (1970) en tres hatos de la sabana de Bogotá reporta valores de 0,27; 0,32 y 0,41 respectivamente. Así mismo Montoya y Montoya (1980) en un hato del Departamento de Antioquia con ganado holstein, obtuvieron valores promedios de 0,52 y 0,64.

### EXACTITUD Y RANGO DE CONFIANZA DE LOS VALORES DE CRÍA

De acuerdo con Weller; Norman and Wiggans (1985), Wilmlink and Dommerholt (1985), cuando se usan los modelos mixtos para la evaluación genética de reproductores, es necesario conocer la varianza del error de predicción para computar las exactitudes o intervalos de confianza de los valores de cría estimados. El cuadrado de la correlación ( $r^2_{TI}$ ) entre el estimado (I) y el verdadero valor de cría (T), usualmente denominado Exactitud o Repetibilidad, es presentado en los resúmenes de sementales. La  $r^2_{TI}$  es

calculada, como se anotó anteriormente, a partir de la varianza del error de predicción la cual a su vez requiere los elementos de la diagonal correspondientes a los individuos a los cuales se les predice el valor de cría, en la inversa de la matriz coeficiente del sistema de ecuaciones que permite la solución del modelo mixto. Los citados autores agregan que la inversión de la matriz es demasiado dispendioso y costoso y en consecuencia se utilizan fórmulas que permitan una estimación aproximada de la exactitud. En el caso particular de la presente investigación, es posible utilizar directamente los elementos de la inversa ya que debido al poco número de individuos evaluados no es difícil obtenerla.

Según Wilmlink y Dommerholt (1985) la expresión matemática es la siguiente: Sistema de ecuaciones para estimar el valor de cría o diferencia predicha.

$$\begin{bmatrix} h^{\wedge} \\ s^{\wedge} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'y \\ z'y \end{bmatrix}$$

Donde:

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'x & x'z \\ z'x & z'z + kA^{-1} \end{bmatrix}$$

$K = \sigma_s^2 / \sigma_s^2$   
 $\sigma_e^2 =$  Varianza del error  
 $\sigma_s^2 =$  Varianza entre reproductores  
 $c_{ii} =$  Representa el elemento  $i$  de la diagonal  
 $s^{\wedge} =$  Valor de cría o diferencia predicha del reproductor  $i$   
 Varianza  $(s^{\wedge}) = \sigma_s^2 - c_{ii} \cdot \sigma_e^2$   
 Covarianza  $(s^{\wedge}_i, s^{\wedge}_j) =$  Varianza  $(s^{\wedge}_i)$

La exactitud del valor de cría estimado del reproductor  $i$  es igual a:

$$r_{(TI)}^2 = [\text{cov}(s_i^{\wedge}, s_i)]^2 / \text{var}(s^{\wedge}) \cdot \text{var}(s_i) = 1 - c_{ii} \cdot k$$

Para la presente investigación, las fórmulas expresadas anteriormente serán adaptadas utilizando la relación de varianzas correspondiente a las vacas  $(\sigma_e^2 / \sigma_a^2)$ , y así poder estimar la exactitud de los respectivos valores de cría.

A propósito de los elementos de la diagonal citados en los párrafos inmediatamente anteriores, Ufford, Henderson y Van vleck (1979), afirman que estos sirven como un buen predictor de la varianza del error de predicción ya que estos contienen el número total de lactancias más la relación de varianzas. Al respecto autores como Henderson (1977), Powell y Freeman (1974), entre otros, destacan las ventajas de agregar a la

diagonal, en el caso de los reproductores, la relación de varianzas  $\sigma_e^2 / \sigma_s^2$ . Esta hace que los estimados sean simultáneamente regresionados de acuerdo con la total información que cada uno posee.

Van Vleck; Pollak y Oltenacu (1987) propusieron un rango de confianza para cuantificar la probabilidad de que el verdadero valor de cría de un individuo se encuentre dentro del rango especificado.

$$RC = VCE \pm t \sqrt{(1-r^2) \sigma_A^2}$$

Donde:

$RC =$  Rango de confianza  
 $VCE =$  Valor de cría estimado  
 $t =$  Valor de  $t$  correspondiente al nivel de confianza.  
 $r =$  Seguridad o confiabilidad del valor de cría estimado  
 $\sigma_A^2 =$  Varianza aditiva de la característica.

## MATERIALES Y METODOS

### MATERIALES

**Localización.** Los datos que se utilizaron en ésta investigación provienen de los registros productivos de las vacas Holstein del Centro Paysandú, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Este se localiza en el



corregimiento de Santa Elena perteneciente al Municipio de Medellín. La región corresponde, según Espinal (1985), a una zona ecológica de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), situado a 2.600 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 12,5°C y una precipitación promedio anual de 2.500 m.m.

**Descripción de los datos usados para estimar la repetibilidad de la lactancia.** Para la estimación de la repetibilidad se tomaron 276 lactancias correspondientes a 43 vacas que tuvieron cuatro o más lactancias consecutivas en el hato, registrándoseles además la siguiente información: Número de la vaca, número de lactancia, año, edad y época de parto, producción real de leche por lactancia, duración de la lactancia. Además se tuvo en cuenta la procedencia es decir el sitio donde se realizó la lactancia. Así: la procedencia 1 corresponde a lactancias realizadas en la antigua Facultad de Agronomía y la 2, a las lactancias realizadas en el Centro Paysandú.

El hato mencionado está constituido por ganado holstein de alta calidad en el cual se usa la inseminación artificial con semen importado de toros probados. Este es considerado en la región como un hato "élite", lo cual le ha permitido

adscribirse a un programa de apareamientos dirigidos para la producción de reproductores para fomento en otras ganaderías.

Las vacas pastorean básicamente en praderas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y son suplementadas con balanceados de acuerdo con la producción y estado fisiológico.

**Tabla 1.** Descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción por lactancia.

Vacas	Lactancias Repetidas
1	6
2	6
3	5
4	6
5	6
6	6
7	7
8	6
9	6
10	7
11	5
12	7
13	9
14	6
15	6

**Tabla 2.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción de leche.

Vacas	Lactancias Repetidas
16	7
17	6
18	7
19	9
20	8
21	8
22	6
23	6
24	6
25	7
26	6
27	6
28	6
29	6
30	6

**Tabla 3.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción de leche.

Vacas	Lactancias Repetidas
31	6
32	6
33	7
34	6
35	7

Continuación Tabla 3

Vacas	Lactancias Repetidas
36	8
37	6
38	6
39	5
40	4
41	6
42	8
43	7

**Tabla 4.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción de leche.

Factores	Número de lactancias
1. Año de parto	
1964	7
1965	13
1966	12
1967	17
1968	15
1969	15
1970	12
1971	16
1972	11
1973	14
1974	12
1975	12
1976	10
1977	15
1978	12
1979	12

**Tabla 5.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción de leche.

1. Año de parto	Número de lactancias
1980	11
1981	15
1982	11
1983	10
1984	8
1985	7
1986	5
1987	4

  

2. Procedencia	
1.	33
2.	243

  

3. Epocas de parto	
Epoca 1: Diciembre- Marzo	86
Epoca 2: Abril-Mayo	10
Epoca 3: Junio- Septiembre	15
Epoca 4: Octubre- Noviembre	12

**Tabla 6.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar la repetibilidad de la producción de leche.

4. GRUPO DE EDADES		
Grupo	Intervalo en meses	Número de lactancias
1	≤ 34	33
2	35-49	43
3	50-64	6
4	65-79	49
5	80-94	44
6	95-109	38
7	≥ 110	23

**Descripción de los Datos Usados para Estimar los Valores de Cría o Genotipos Aditivos.** Para la estimación de los valores de cría se escogieron 24 individuos, 22 hembras y 2 machos, de tal manera que tuvieran parentesco entre ellos y que además contaran con apreciable información sobre otros tipos de parientes. En un período de nueve años, 1986-1994. Para cada individuo, en el caso de las hembras, se tomó la producción por lactancia teniendo en cuenta además la duración, número de lactancia, edad, año y época de parto.

**Tabla 7.** Descripción de las observaciones usadas para estimar los valores de cría o genotipos aditivos.

Número del individuo	Número de lactancias
1	1
2	1
3	5
4	3
5	2
6	3
7	3
8 (Macho)	0
9	3
10	2
15	5
12	3
13	5
14	2
15	0
16	1
17	8
18	1
19	3
20	4
21 (Macho)	0
22	1
23	1
24	1

**Tabla 8.** Continuación descripción de las observaciones usadas para estimar los valores de cría o genotipos aditivos.

Año de parto	Número de Lactancias
1986	1
1987	1
1988	3
1989	5
1990	5
1991	8
1992	8
1993	18
1994	9

**METODOS**

**Modelo para estimar la repetibilidad de la característica.** Para estimar la repetibilidad de la producción por lactancia se utilizó un modelo mixto, tomando como efecto aleatorio la vaca y como efectos fijos los demás considerados en el modelo. Este fue resuelto a través del programa de mínimos cuadrados de Harvey (1988).

$$Y_{ijklmn} = \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + f_m + b_1 (g_{ijklmn} - g) + e_{ijklmn}$$

Donde:

$Y_{ijklmn}$  = Producción de leche en la lactancia  $n$  de la vaca  $i$ , en la época  $j$ , del año de parto  $k$ , de la clase de edad  $l$  y de la procedencia  $m$ .

$Y_{\mu}$  = Efecto común a todas las observaciones, media general de mínimos cuadrados.

$a_i$  = Efecto aleatorio de la vaca  $i$ .  
 $i = 1$  a  $43$

$b_j$  = Efecto de la época de parto  $j$ .  $j = 1$  a  $4$

$c_k$  = Efecto del año de parto  $k$   $k = 1 - 24$

$d_l$  = Efecto de la clase de edad  $l$   
 $l = 1$  a  $7$

$f_m$  = Efecto de la procedencia  $m$   
 $m = 1$  a  $2$

$g$  = Duración promedio de la lactancia en el hato

$g_{ijklmn}$  = Duración de la lactancia  $n$  de la vaca  $i$ , en la época  $j$ , del año de parto  $k$ , de la clase de edad  $l$  y de la procedencia  $m$ .

$b_1$  = Coeficiente de regresión de la producción sobre la

duración de la lactancia  $g_{ijklmn}$ .

$e_{ijklmn}$  = Efecto aleatorio de la observación  $Y_{ijklmn}$ ,  $N(0, \sigma_e^2)$

Para estimar el error estándar de la repetibilidad se utilizó la siguiente fórmula según Becker (1975) :

$$ES_{(Repetibilidad)} = \sqrt{2(m-1)(1-r)^2 / [1 + (k-1)r]^2 / k^2(m-N)(N-1)}$$

Donde:

$N$  = Número de individuos (43)

$m$  = Total de observaciones (276)

$r$  = Repetibilidad de la característica (0.45)

$k$  = Promedio ponderado de observaciones por individuo (5.6)

**El Modelo Animal para la estimación de los Valores Genéticos.** Para la estimación de los valores genéticos se tomaron las producciones por lactancia corregidas a 305 días, época, edad y número de parto, de acuerdo con los factores de corrección obtenidos en el mismo hato por Arboleda; Valencia y Montoya (1995). El efecto del año fue tenido en cuenta dentro del modelo animal.

Las ecuaciones para encontrar el mejor predictor lineal insesgado de

los valores de cría  $a$  y efecto ambiental permanente  $p$ , según Henderson (1975), son:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & Z'Z \\ Z'X & Z'Z + tA^{-1} & Z'Z \\ Z'X & Z'Z & Z'Z + KI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \hat{a} \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

Donde:

$$t = (1-r) / h^2 = \sigma_e^2 / \sigma_a^2$$

$r$  = Repetibilidad de la característica

$h^2$  = Heredabilidad de la característica. ( $h^2=0,21$  es la heredabilidad usada en el presente trabajo, estimada por Montoya (1985),

$A^{-1}$  = Matriz de parentesco entre los individuos a ser evaluados.

$$K = (1-r)/(r-h^2) = \sigma_e^2 / \sigma_p^2$$

EL sistema de ecuaciones descrito fue resuelto usando el programa excel. Debido a la dependencia lineal entre hileras y columnas de la matriz principal, pues de acuerdo con Kropf (1981) el 90% de todos los modelos no son de rango

completo, fue necesario el empleo de multiplicadores de Lagrange para obtener la solución al sistema de ecuaciones, de acuerdo con la sugerencia del mismo autor.

Descripción de las componentes de la matriz principal:

$X'X$  = Submatriz años-años

$X'Z$  = Submatriz años-Individuos a ser evaluados

$X'Z$  = Submatriz años- Individuos que cuentan con información

$Z'X$  = Submatriz Individuos a ser evaluados - años

$Z'Z + t A^{-1}$  = Submatriz Individuos a ser evaluados - Individuos a ser evaluados

$Z'Z$  = Submatriz Individuos a ser evaluados - individuos con información

$Z'X$  = Submatriz Individuos con Información - Años

$Z'Z$  = Submatriz Individuos con Información - Total de individuos a ser evaluados

$Z'Z + K I$  = Submatriz Individuos con Información - Individuos con Información

$\beta$  : Vector de efectos fijos desconocidos (en el presente modelo, años)

$a$  : Vector de valores genéticos aditivos (valores de cría)

$p$  : Vector de efectos genéticos aditivos más los efectos ambientales permanentes propios de cada vaca.

$X'y$  : Vector producciones totales correspondientes a los años. (Ver anexo 2)

$Z'y$  : Vector producciones totales correspondientes a los individuos a ser evaluados. (Ver anexo 2)

$Z'y$  : Vector producciones totales correspondientes a los individuos que cuentan con información. (Ver anexo 2)

**Exactitud y Rango de los valores de Cría.** La exactitud del valor de cría estimado es igual:

$$r^2 = 1 - c_{ii} \cdot k$$

de acuerdo con Wilmlink y Dommerholt (1985).

Donde:

$c_{ii}$  = Elemento de la diagonal, en la inversa de la matriz de parentesco ( $A^{-1}$ ), correspondiente a los

individuos a los cuales se les predice el valor de cría.

$K$  = Relación de varianzas adicionada a la diagonal de los individuos evaluados.

$$\sigma_e^2 / \sigma_a^2 = 1 - r/h^2 = 1 - 0,45/0,21 = 2,62$$

Rango de confianza:  $R.C = V.C.E. \pm t \sqrt{(1-r^2)\sigma_A^2}$

Donde:

V.C.E. = Valor de cría estimado

$t$  = Valor de  $t$  correspondiente al nivel de confianza 1,96 para (95%),

$r$  = Seguridad o correlación entre el valor de cría estimado y el verdadero valor de cría.

$\sigma_A^2$  = Varianza aditiva de la característica (169.329) según Montoya (1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con el coeficiente de determinación del modelo mixto ( $r^2=0,82$ ), utilizado para estimar la repetibilidad de la producción por lactancia, (ver tabla 9), los efectos incluidos en él explican ampliamente la variación de la producción. Así, tanto los factores genéticos como los no genéticos presentaron incidencia

altamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) en su gran mayoría. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Montoya (1985) en un trabajo

realizado en condiciones similares e incluyendo el hato en el cual se realizó la presente investigación.

**Tabla 9.** Análisis de varianza para estimar la repetibilidad

FACTORES	GL	S.C	C.M	F
Total	276	561155308.96		
Año de parto	23	25888288.60	125577.80	2.26 **
Procedencia	1	152803.50	152804.00	0.307 ns
Vaca	42	118746132.30	2827288.90	5.69 **
Edad	6	30386314.20	5064385.70	10.19 **
Epoca	3	401431.90	133810.60	0.27 ns
Regresión:				
Dur.lactancia	1	122242154.05	122242154.05	246.0 **
Error	199	98920020.13	497085.50	

\*\*  $p \leq 0,01$  Altamente significativo

n.s. No significativo

La repetibilidad obtenida a partir del análisis de varianza para registros repetidos, tiene un valor muy cercano al reportado por otros autores, ( $0,45 \pm 0,07$ ). (Ver Tabla 10).

Investigaciones realizadas en condiciones de clima templado,

usando la correlación intraclase para lactancias de uno a cinco, muestran estimados de 0.54 y 0.5 para dos tipos de datos diferentes, Butcher y Freeman (1968); 0.46 para lactancias de 1 a 4, Zavertyaev; Gordilov y Mitynt'ko (1979) y 0.52 a 0.59 para dos lactancias sucesivas Pribyl; Vachal y Havlickovak (1977).



**Tabla 10.** Componentes de varianza y esperanza de los cuadrados medios para el cálculo de la repetibilidad (Tomado de tabla 9).

FACTORES	GL	S.C	C.M	E.C.M.
Entre vacas	42	118746132.30	2827288.9	410927.15 ( $\sigma_v^2$ )
Dentro de vacas	199	98920020.13	497085.5	497085.5 ( $\sigma_e^2$ )

$k = 5,67$   $r = 0,45$  e.s.d. = 0,07

$r = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_v^2 + \sigma_e^2}$

Donde :

$r$  = Repetibilidad de la característica.

$\sigma_v^2$  = Varianza entre vacas

$\sigma_e^2$  = Varianza dentro de vacas

Salazar (1970) en tres hatos de la sabana de Bogotá reporta valores de 0.27; 0.32 y 0.41 respectivamente. de los individuos posee.

En la Tabla 11 se pueden apreciar los valores de cría estimados (V.C.E), la habilidad de transmisión predicha (H.T.P), los rangos y la exactitud (Exac.) de 24 individuos evaluados dentro de los cuales se incluyen como individuos que no tienen registros propios dos machos (8, 21) y una hembra (15). Como se puede observar, los valores de cría son relativamente altos pues tienen un promedio de 966,5 kg y una desviación estándar de 548 kg. Teniendo como referencia

los valores de cría, es posible hacer una clasificación con miras a la selección, (Ver Tabla 12) más si se tiene en cuenta que éstos reproductores fueron evaluados teniendo como punto de referencia la misma población base y los cambios genéticos que hubieran podido ocurrir a través de los años de acuerdo con Henderson (1973) y Biochard *et al* (1991).

Cabe destacar los valores reproductivos de los machos 8 y 21 y de la hembra 15, los cuales fueron estimados a través de la información de sus parientes lo cual nos muestra una de las grandes ventajas del modelo animal.

La habilidad de transmisión predicha (H.T.P.) se toma como el valor de cría estimado sobre dos (v.c.e./2) de acuerdo con Vanraden y Wiggans (1991).

**Tabla 11.** Valores de cría, rango y exactitud,

Número	V.C.E	Rango	Exactitud	H.P.T.
1	255.34	139.99	0.96	127.67
2	952.69	67.83	0.99	476.34
3	505.77	85.60	0.98	252.88
4	1175.46	148.84	0.96	587.73
5	1360.41	283.02	0.87	680.20
6	1318.46	170.21	0.95	659.23
7	1078.96	175.14	0.95	539.48
8	52.89	16.51	0.99	26.44
9	701.41	18.46	0.99	350.70
10	783.75	106.85	0.98	391.87
11	1025.40	210.50	0.93	512.70
12	1000.76	120.35	0.97	500.38
13	2003.97	210.50	0.93	1001.98
14	1273.55	184.62	0.94	636.77
15	1097.35	206.41	0.93	548.67
16	1766.39	369.24	0.79	883.19
17	1579.78	57.79	0.99	789.89
18	1366.33	141.81	0.96	683.16
19	754.38	37.83	0.99	377.19
20	1665.98	21.05	0.99	832.99
21	871.37	10.92	0.99	435.68
22	-45.03	61.23	0.99	-22.51
23	605.86	66.56	0.99	302.93
24	44.76	95.93	0.98	22.38

**Tabla 12.** Clasificación en orden descendente de acuerdo al valor de cría.

Número	V.C.E.	H.P.T	No. Lactancia
13	2003.97	1001.98	5
16	1766.39	883.19	1
20	1665.98	832.99	4
17	1579.78	789.89	8
18	1366.33	683.16	1
5	1360.41	680.20	2
6	1318.46	659.23	3
14	1273.55	636.77	2
4	1175.46	587.73	3
15	1097.35	548.67	0
7	1078.96	539.48	3
11	1025.41	512.70	5
12	1000.76	500.38	3
2	952.69	476.34	1
21	871.37	435.68	0
10	783.75	391.87	2
19	754.38	377.19	3
9	701.41	350.70	3
23	605.86	302.93	1
3	505.77	252.88	5
1	255.34	127.67	1
8	52.89	26.44	0
24	44.76	22.38	1
22	-45.03	-22.51	1

La exactitud o repetibilidad la cual es definida según Weller; Norman y Wiggans (1985), Wilmlink y Dommerholt (1985), Van ran y Wigger (1991), como el cuadrado de

la correlación entre el valor de cría predicho y el verdadero valor genético ,es calculada teniendo en cuenta los elementos de la diagonal y la relación de varianzas descritos

anteriormente. Tales estimados pueden ser considerados como altos pues sólo basta con mirar el rango que va de 0.79 a 0.99. Esta es otra de las grandes ventajas del modelo animal comparado con otros métodos de estimación del valor de cría como el índice entre otros; aquí se tienen en cuenta no sólo varios registros repetidos del mismo individuo, sino los de los parientes que contribuyen al estimado.

En concordancia con Van vleek (1987), se estimaron los rangos de confianza para cada uno de los valores de cría. Estos sirven para cuantificar la probabilidad de que el verdadero valor de cría se encuentra dentro del rango especificado.

Así por ejemplo podemos observar el valor de cría correspondiente al individuo No.13 el cual tiene un valor de  $2003.97 \pm 140$ . Esto significa que existe una probabilidad del 95% de encontrar el verdadero valor entre un rango de más o menos 140 kg. Si observamos los valores de cría y sus respectivos rangos de confianza podemos aceptar que en general éstos últimos son relativamente estrechos en comparación con los valores reproductivos. Esto nos permite hacer una selección de los mejores individuos, con la certeza de haber alcanzado un alto grado de

precisión.

#### BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA, M.; VALENCIA, C.; MONTOYA, C. Comparación entre factores de ajuste multiplicativos y aditivos para producción por lactancia en un ható holstein. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol 48, Nos. 1 y 2 (1995); 158 p.

BECKER W.A. Manual of procedures in quantitative genetics. 3ed. Washington: Washington State University, 170p.

BIOCHARD, D. *et al.* L'évaluation des Reproducteurs: Le modèle sous-jacent à L'évaluation des valeurs génétiques. P. 185-195. *En: Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales*. No. Hors série. Versailles: INRA Editions, 1992, 302 p.

BUTCHER, D. F., and FREEMAN, A. E. Heritabilities and repeatabilities of milk and milk fat production for various lactations. *En: Journal of Dairy Science*. Vol. 51, (1968); p. 1387-1391.

CHAPMAN, A. B. General and Quantitative Genetics. New York: Elsevier Science Publishers B. V., 1985. 408 p.

ESPINAL T., Luis. Geografía ecológica del Departamento de Antioquia: Zonas de vida, formaciones vegetales del

Departamento de Antioquia. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol 38, No.1 (1985), 80 p.

FALCONER, D. S. *Introduction to quantitative Genetics*. 2ed. New York: Longman, (1981); 340 p.

HARVEY, W. R. *Users guide for LSMLMW PC-1 versión; mixed model least-squares and maximum likelihood computer program*, s.l.: s.n., 1988; 59 p.

HENDERSON, C.R. *Best linear unbiased prediction of breeding values not in the model for records*. *En: Journal of Dairy Science*. Vol. 60, No. 5 (1977); p.783.

\_\_\_\_\_ y QUAAS, R.L. *Multiple trait evaluation using relatives records*. *En: Journal of Animal Science*. Vol.43, No.6 (1976); p. 1187.

\_\_\_\_\_. *Use of all relatives in intraherd prediction of breeding values and producing abilities*. *En: Journal of Dairy Science*. Vol. 58, No.12 (1975); p. 1910.

\_\_\_\_\_. *Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model*. *En: Biometrics*. Vol.31 (1975); p.423.

\_\_\_\_\_. *General flexibility of linear model techniques for sire evaluation*. *En: Journal of Dairy Science*. Vol 57 (1974); p.963-972.

JEYARUBAN, .G., GIPSON, J.P., GOWE, R.S. *Comparison of index selection and best linear unbiased prediction for simulated layer poultry data*. *En: Poultry Science*. Vol 74, (1995); p.1566-1576.

JURADO GARCIA J.J. *El modelo animal*. p. 1-20. *En: Curso de actualización sobre mejora genética animal*. (1991: Madrid. INIA).

KROPF, W. *Prueba de comportamiento. Notas para Docencia*. Manuscrito, no publicado. Zurich: Escuela Politécnica Superior (ETH), 1981. 10p.

MONTOYA, CAMILO. *Evaluación genética de reproductores lecheros en Antioquia a través del mejor predictor lineal insesgado*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1985; 71 p.

MONTOYA, J. Y MONTOYA F. *Estimados de heredabilidad y repetibilidad de la producción de leche en un hato del oriente Antioqueño*. Medellín. 1980. 92p. Tesis (Zootecnistas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

POWELL, R .L., FREEMAN, A. E. *Estimators of sire merit*. *En: Journal of Dairy Science*. Vol. 51, No. 10, (1974); p 1228-1233.

PRIBYL,J. VACHAL, HAVLIC-KOVAK,J. *The repeatability of dairy perfo mance in varius lactations*. *En: Dairy Science Abstracts*. Vol.39. (1970); p. 131.

- SALAZAR, J.J.D. Genetic and environmental factors affecting performance of three holstein herd in Colombia. Florida, 1970. 171p. Tesis (Ph.D). University of Florida.
- SIMIANER, H. Current and future developments in applications on animal models. *En: Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Guelp, 1994.
- UFFORD, G. R., HENDERSON, C.R., y VAN VLECK, L. D. An approximate procedure for determining prediction error variances of sire evaluations. *En: Journal of Dairy Science*. Vol.68, No. 4, (1979); p.621
- VANDER WERF, J.H.J., KAMPHOF, J., VANDENBROEK, H. A simulation study comparing methods of within herd estimation of breeding values for dairy cows. *En: Livestock Production Science*. Vol. 23, (1989); p. 239-251.
- VANRADEN, P.M.y WIGGANS, G.R. Derivation, calculation, and use of National animal model information. *En: Journal of Dairy Science*. Vol.74, No.8 (1991); p.2737-2746.
- VAN VLECK, L.D., POLLAK, E. J. and OLTENACU, E. A. B. Genetics for the animal sciences. New York: W.H. Freeman and Company, 1987, 391p.
- WELLER, J. I, NORMAN, H.; D, WIGGANS, G. R. Estimation of variance of prediction error for best linear unbiased prediction models with relationships included. *En: Journal of Dairy Science*. Vol.68, No.4, (1985); p. 930.
- WILMINK, J.B., DOMMERHOLT, J. Approximate reliability of best linear unbiased prediction. *En: Journal of Dairy Science*. Vol. 68, No. 4, (1985); p. 946.
- ZAVERTYAEV, B.P., GORDILOV, G. A., MITYNT'KO, V. I. Evaluation of different methods for assesment of repeatability of characteristics. *En: Dairy Science Abstracts*. Vol.6, (1979); p.698.

ANEXO 1. VECTOR X'Y,Z'Y(1),Z'Y (2)

X'Y	Z'Y(1)	Z'Y (2)
6088	6055	6055
6889	5436	5436
16670	21758	21758
1799	15979	15979
19775	3148	3148
42922	15925	15925
44096	15825	15825
110551	0	15848
49826	15848	11433
11433	27873	
27873	16959	
16959	30835	
30835	12106	
12106	5931	
0	47176	
5931	4577	
47176	14976	
4577	19608	
14976	5312	
19608	5486	
0	6371	
5312		
5486		
6371		

Ecology is no more a descriptive and self-sufficient science. Many new points are needed simultaneously to give a full coverage of such complex systems: ecosystems. These viewpoints come from physics, chemistry, nuclear physics. Without a new far from equilibrium, thermodynamics and without new mathematical tools such as catastrophe theory, fractal theory, cybernetics and network theory, the development of ecosystem science would never have reached the point of today. Some ideas are proposed about the importance that concepts such as energy, entropy, energy,

Profesor Asociado, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Agosto 1997.