

Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día del control empleando un modelo de regresión aleatoria para primeras lactancias en búfalos de la costa norte de Colombia¹

N Hurtado-Lugo*, **, M Cerón-Muñoz*, ***, H Tonhati**, A Bignardi**, L Restrepo***y
R Aspilcuelta**

¹Parte del trabajo de Maestría en Genética y Mejoramiento Animal del primer autor, financiado por la FAPESP, Sp, Brasil, proceso N° 2006/59270-3

* Grupo de Genética y Mejoramiento Animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

** Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal (UNESP), 14884900, SP, Brasil

*** Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
nhurtado.lugo@gmail.com

Resumen

Fueron empleados 5575 controles mensuales de leche pertenecientes a 796 primeras lactancias búfalas mestizas de la costa norte de Colombia. En el modelo fueron considerados los efectos aleatorios genético aditivo directo y de ambiente permanente. Como efectos fijos fueron incluidos; el grupo contemporáneo, el efecto lineal y cuadrático de la covariable edad al parto.

La producción de leche media en el día del control (PLDC) fue de $3,89 \pm 1,14$ kg. Las PLDC variaron desde 2,86 kg hasta 4,26 kg encontrándose los mayores valores hacia la mitad de la lactancia. Las estimativas de heredabilidad obtenidas para las PLDC variaron de 0,23 hasta 0,47. Las correlaciones genéticas entre las PLDC, disminuyeron conforme fue aumentando la distancia entre controles. Las variancias fenotípicas fueron altas en los primeros controles y disminuyendo hacia el final de la lactancia.

Los resultados encontrados en este trabajo indican que existe una alta variabilidad genética para la producción de leche en el día del control en la población estudiada empleando un modelo de regresión aleatoria.

Palabras clave: Mejoramiento genético, polinomios de Legendre

Estimates of genetic parameters for Test-day using a random regression model for first lactations of buffalo in Colombia North Coast

Abstract

A total of 5575 monthly test-day yield records from 796 lactations buffaloes first in the north coast of Colombia. The model included random direct additive genetic and permanent environment effects. As fixed effects were included, contemporary groups, and age of cow at calving as covariable, linear and quadratic effects.

Test-day (PLDC) yield was 3.89 ± 1.14 kg. The PLDC ranged from 2.86 kg to 4.26 kg while the highest values towards the middle of lactation. The heritability estimates obtained for PLDC ranged from 0.23 to 0.47. Genetic correlations between PLDC, declining steadily increased the distance between PLDC. Phenotypic variances were higher in the initial PLDC and decreasing towards the end of lactation.

The results found in this study indicate that there is a high genetic variability for the PLDC in the population studied using a random regression model.

Key words: Genetic improvement, Legendre's polynomials

Introducción

Modelos estadísticos con diferentes grados de complejidad han sido empleados para la selección de animales en evaluaciones genéticas en ganado lechero, entre los más conocidos se encuentran; la producción de leche total -PLT- a 305 días de lactancia, y en bubalinos PLT270, PLT240, y la producción de leche en el día del control -PLDC- (Wilmink 1987; Ptak and Schaeffer 1993; Shahrababak 1997; Schaeffer 2004; Duarte et al 2004; Gutierrez-Valencia et al 2006; Hurtado-Lugo et al 2006).

En la actualidad, modelos de regresión aleatoria (MRA) son empleados para analizar y modelar la producción de leche en el día del control a lo largo de la curva de la lactancia (Jensen 2001; Schaeffer 2004). Los MRA permiten ajustar una curva de lactancia aleatoria para cada individuo -regresión aleatoria-, expresada como desvío de una curva media de la población o de un grupo de individuos -regresión fija- (Schaeffer and Jamrozik 1996). Por otro lado, estos modelos permiten asumir que la forma de la curva de la lactancia es influenciada, por los diferentes efectos: aleatorio genético aditivo, de ambiente permanente y residual.

Conjuntamente, con los MRA son empleadas funciones matemáticas para modelar la parte aleatoria de la curva de la lactancia. Entre las funciones mas empleadas se encuentran las curvas de: Wood (1967), Ali y Schaefer (1987) y Wilmink (1987). Recientemente, las funciones polinomiales ortogonales de Legendre de diferente orden han sido empleados en MRA, debido a su habilidad para detectar patrones de variación genética a lo largo de la curva de la lactancia. Kirkpatrick et al (1990) y Brotherstone et al (2000) describen que la ventaja de emplear este tipo de polinomios en MRA, es que los registros de producción de leche perdidos o omitidos pueden ser estimados con mayor confiabilidad que con la curva de Wilmink (1987). Además, permiten analizar patrones de variaciones genéticas y evitan la superparametrización de las varianzas genéticas y heredabilidades al inicio y final de la lactancia. Pool et al (2000) reportaron las mayores varianzas genéticas aditivas hacia la mitad de la lactancia y menores en los extremos de la misma, cuando fueron empleados polinomios de Legendre de cuarto orden.

Los MRA están siendo empleados exitosamente en evaluaciones genéticas nacionales e internacionales en Holanda, Alemania, Canada y Austria (Brotherstone et al 2000; Olori et al 1999; Schaeffer 2004; Pool et al 2000). En la literatura existen pocos trabajos empleando MRA para las PLDC en búfalos lecheros, por consiguiente el objetivo de este trabajo fue estimar parámetros genéticos para las PLDC en búfalos colombianos, aplicando un modelo de regresión aleatoria.

Materiales y métodos

Las informaciones analizadas en el presente trabajo fueron provenientes de la hacienda Altamar. Este rebaño se encuentra ubicado en el municipio de Buenavista (Córdoba) Caracterizado por mantener animales mestizos con alto linaje de la raza Murrah, de líneas búlgaras y brasileñas. Criados en su mayoría en pastos mejorados, naturales y en un menor porcentaje en leguminosas. La suplementación se realiza con heno de *Dichanthium annulatum*, cosechado en la hacienda y suministrado en periodo seco (diciembre a marzo). Son realizados dos ordeños manuales al día, con apoyo del becerro. El ordeño dura alrededor de 15 minutos, luego del ordeño las crías permanecen con sus madres alrededor de 1 hora. El control lechero es iniciado a partir de los 15 días post-parto.

Se emplearon 5575 controles mensuales de leche pertenecientes a 796 primeras lactancias de búfalas mestizas ocurridas entre 1998 y 2004, con edades entre 24 a 66 meses. En los controles mensuales de leche no fueron incluidas informaciones de animales con menos de 2 registros mensuales durante la lactancia, problemas en el pedigrí y en la identificación de los animales. Fueron determinadas ocho generaciones en el archivo de pedigrí de los animales, con identificación de animal, padre y madre, totalizando una matriz de parentesco de 5496 animales.

Los grupos contemporáneos fueron definidos como año y época de parto, las épocas fueron definidas como: 1:Enero-Abril; 2:Mayo-Julio; 3:Agosto-October; 4:Noviembre-Diciembre. Como efectos fijos fueron considerados los grupos contemporáneos y como co-variable edad al parto (lineal y cuadrático).

Se realizó un análisis de regresión aleatoria para la PLDC. En el modelo de regresión fueron considerados los efectos aleatorio genético aditivo y de ambiente permanente. Como efectos fijos fueron incluidos el grupo contemporáneo, el efecto lineal y cuadrático de la co-variable edad al parto. Los efectos aleatorios genéticos aditivos y de ambiente permanente fueron

modelados por medio de una regresión aleatoria sobre polinomios de Legendre de cuarto orden (L-4,4).

El modelo de regresión aleatoria empleado puede ser representado de la siguiente forma:

$$y_{ij} = F + \sum_{m=0}^{kb=4} \beta_{m\phi m}(t_i) + \sum_{m=0}^{ka=4} \alpha_{jm\phi m}(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{kap=4} \gamma_{jm\phi m}(t_{ij}) + e_{ij}$$

y_{ij} = producción de leche del i-ésimo control, perteneciente al j-ésimo animal;

F = conjunto de efectos fijos, o grupos contemporáneos y la co-variable edad de la vaca al parto (regresión lineal y cuadrática);

- β_m = Conjunto de m regresores fijos para la curva media de la población;
- $\phi_m(t_i)$ = Función de regresión (kb) de cuarto orden, que describe la curva media de la población de acuerdo con el día del control (t_i);
- $\phi_m(t_{ij})$ = Función de regresión (ka), de cuarto orden que describen las trayectorias de cada individuo j, de acuerdo con el día del control (t_i), para los efectos aleatorios genéticos aditivo y de ambiente permanente;
- $\alpha_{jm} \text{ y } \gamma_{jm}$ = regresores de cuarto orden para los efectos aleatorios genéticos aditivos y de ambiente permanente, respectivamente para cada animal j;
- k_b, k_a, k_{ap} = Ordenes de las funciones lineales de cuarto orden para describir la curva media y los efectos genético aditivo y de ambiente permanente, respectivamente;
- e_{ij} = Error aleatorio asociado a cada control i del animal j;

Los componentes de co-varianzas y los parámetros genéticos del modelo de regresión fueron estimados por el método de Máxima verosimilitud restringida (REML), del paquete estadístico WOMBAT (Meyer 2006).

Resultados y discusiones

La producción de leche media en el día del control fue de $3,89 \pm 1,14$ kg. Las PLDC variaron de 2,86 kg a 4,26 kg encontrándose los mayores valores hacia la mitad de la lactancia. Contrario a lo reportado por Duarte et al (2004) las PLDC fueron elevadas al inicio y disminuyendo hacia el final de la lactancia, variando de $7,59 \pm 2,85$ kg a $4,20 \pm 1,73$ kg, respectivamente. Las varianzas genéticas aditivas, de ambiente permanente, fenotípicas y residuales son presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Estimativas de varianza genética aditiva (σ_a^2), de ambiente permanente (σ_{ap}^2), fenotípicas (σ_p^2), residuales (σ_e^2), y heredabilidades (h^2) para las producciones de leche en el día del control (PLDC)

PLDC	σ_a^2	σ_{ap}^2	σ_p^2	σ_e^2	h^2
30	0,595	0,778	1,373	1,39E-08	0,39
60	0,563	0,310	1,142	0,270	0,44
90	0,501	0,184	1,006	0,321	0,47
120	0,377	0,215	0,923	0,331	0,40
150	0,297	0,294	0,911	0,320	0,33
180	0,317	0,343	0,931	0,271	0,35
210	0,379	0,326	0,990	0,286	0,38
240	0,354	0,332	0,997	0,311	0,35
270	0,212	0,723	0,935	1,41E-08	0,23

Las varianzas genética aditiva y de ambiente permanente, estimadas para este MRA (L-4,4), presentaron los mayores valores al inicio de la lactancia y disminuyendo paulatinamente al final de la misma (tabla 1). Mientras que Hurtado-Lugo et al (2006) en modelos de regresión ordinaria (Test-day ordinarios) estimaron varianzas genética aditiva y de ambiente permanente, con bajos valores al inicio y final de la lactancia y presentándose los mayores valores hacia la mitad de la misma (tabla 1).

Las varianzas genéticas aditivas variaron de 0,212 kg² a 0,595 kg², estimándose las mayores varianzas en las primeras PLDC (tabla 1). Este hecho indica, que cuando son empleados polinomios de Legendre de cuarto orden en MRA, se presenta un mejor ajuste en las varianzas genéticas de las primeras PLDC que en las otras PLDC. El hecho de que se presente un mejor ajuste puede ser debido a que los polinomios de Legendre emplean la función ortogonal, siendo útiles para detectar patrones de variación genética a lo largo de la curva de la lactancia (Kirkpatrick et al 1990). Hurtado-Lugo et al (2006) reportaron varianzas genéticas con valores de 0,001 kg² a 0,216 kg², las mayores varianzas fueron estimadas hacia la mitad de la lactancia. Los resultados encontrados en este estudio fueron diferentes a los reportados por Pool et al (2000) quienes estimaron varianzas genéticas aditivas menores en los extremos de la curva de la lactancia y las mayores hacia la mitad de la misma, empleando polinomios de Legendre. Las diferencias encontradas en este estudio pueden ser debidas al tipo de polinomio de Legendre empleado en el MRA, y por consiguiente este no modeló la asociación entre las PLDC en la mitad de la lactancia.

Las varianzas residuales fueron bajas al principio y al final de la lactancia aumentando hacia la mitad de la misma (tabla 1). Valores contrarios fueron reportados por Hurtado-Lugo et al (2006) observando que las mayores varianzas residuales fueron estimadas al inicio y final de la lactancia, disminuyendo hacia la mitad de la misma. Las diferencias encontradas en este estudio pueden ser atribuidas al tipo de polinomio de cuarto grado (L-4,4) empleado en este MRA, y que presenta un mejor ajuste en las varianzas residuales de las PLDC al inicio y final de la lactancia en comparación a los modelos de regresión ordinarios (Olori et al 1999; El faro y Albuquerque 2003).

Contrario a lo reportado en este estudio, Mostert et al (2006) estimaron varianzas residuales mayores al inicio de la lactancia y menores hacia la mitad de la misma. Mientras, Pool et al (2000) reportaron que la varianza residual presenta un ligero incremento hacia el final de la misma. Por otro lado, Gonzalez et al (2008) comentaron que al momento de trabajar con MRA, es necesario considerar una estructura de variancias heterogéneas debido a que las variancias residuales muestran un comportamiento diferenciado a lo largo de la lactancia. Sin embargo, Lopez-Romero y Carabaño (2002) concluyeron que durante el intervalo de 75 a 275 días de lactancia, pueden ser consideradas estructuras de varianzas residuales homogéneas en MRA.

Las estimativas de heredabilidad obtenidas para las PLDC variaron de 0,23 a 0,47 (tabla 1), presentándose las mayores heredabilidades hacia el inicio de la lactancia. En búfalos lecheros, Hurtado-Lugo et al (2006) empleando modelos de regresión ordinarios, estimaron heredabilidades inferiores y las cuales variaron desde 0,01 hasta 0,20, presentándose las mayores heredabilidades hacia la mitad de la lactancia. Por otro lado, Gonzalez et al (2008), en bovinos lecheros, empleando un MRA para la PLDC, reportaron valores de heredabilidad que variaron desde 0,14 hasta 0,34 y oscilando a lo largo de todo el periodo de la lactancia. Mientras, Costa et al (2002) trabajando con lactancias de vacas Gyr, estimaron heredabilidades mayores y las cuales variaron de 0,71 (inicio) a 0,27 (final de la lactancia). Por otro lado, Olori et al (1999) y El Faro y Albuquerque (2003) reportaron que las heredabilidades fueron más elevadas al inicio y final de la lactancia cuando fueron empleados modelos MRA, que al emplear modelos multi característicos.

Las correlaciones genéticas entre las producciones de leche en el día del control, de forma general disminuyeron conforme fue aumentando la distancia entre controles (tabla 2). Las estimativas de correlación genética entre las PLDC30-PLDC210, PLDC30-PLDC240 fueron negativas y cercanas a cero y variaron de -0,11 a -0,06, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los reportados por Costa et al (2002), en donde fueron estimadas correlaciones genéticas negativas entre los extremos de la curva, cuando fueron empleadas funciones paramétricas de Wilmink o polinomios ortogonales de Legendre. Este hecho indica que la selección de reproductores bubalinos lecheros para la PLDC30 tendrá un reflejo negativo sobre la PLDC270 y viceversa (tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones genéticas (diagonal superior) y correlaciones de ambiente permanente (diagonal inferior) para la producción de leche en el día del control empleando un modelo de regresión aleatoria

	PLDC30	PLDC60	PLDC90	PLDC120	PLDC150	PLDC180	PLDC210	PLDC240	PLDC270
PLDC30	-	0,88	0,70	0,51	0,26	0,01	-0,11	-0,06	0,26
PLDC60	0,97	-	0,95	0,82	0,53	0,16	-0,07	-0,10	0,23
PLDC90	0,75	0,89	-	0,95	0,72	0,35	0,08	0,02	0,30
PLDC120	0,43	0,63	0,91	-	0,90	0,61	0,36	0,28	0,49
PLDC150	0,25	0,47	0,81	0,98	-	0,89	0,72	0,65	0,74
PLDC180	0,16	0,38	0,76	0,95	0,99	-	0,95	0,91	0,89
PLDC210	0,06	0,30	0,69	0,90	0,94	0,97	-	0,99	0,91
PLDC240	-0,12	0,11	0,44	0,61	0,66	0,73	0,87	-	0,93

PLDC270	-0,31	-0,17	-0,02	0,06	0,09	0,18	0,40	0,80	-
----------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	---

Brotherstone et al (2000) observaron estimativas de correlaciones genéticas negativas entre el primer control y los demás controles a partir de los 42 días de la lactancia, siendo atribuido al hecho de que funciones paramétricas (polinomios de Legendre) no modelan la asociación entre las PLDC del inicio y en el fin de la lactancia.

Las correlaciones de ambiente permanente presentaron valores altos y positivos entre controles cercanos y a medida que la distancia entre controles aumento fue disminuyendo la correlación hasta el punto de tornase negativas, variando desde 0,97 hasta -0,31 (tabla 2). Como ocurre hacia el final de la lactancia y en el caso de las PLDC30-PLDC240, PLDC30-PLDC270, PLDC60-PLDC270 y PLDC90-PLDC270 (tabla 2). Bignardi et al (2009) en bovinos de la raza Holstein reportaron que las correlaciones de ambiente permanente tienden a ser negativas hacia el final de la lactancia.

Las correlaciones fenotípicas fueron altas entre controles consecutivos (tabla 3).

Tabla 3. Correlaciones fenotípicas para la producción de leche en el día del control empleando un modelo de regresión aleatoria

	PLDC30	PLDC60	PLDC90	PLDC120	PLDC150	PLDC180	PLDC210	PLDC240	PLDC270
PLDC30	-	0,79	0,57	0,37	0,20	0,07	-0,02	-0,08	-0,12
PLDC60	0,79	-	0,67	0,53	0,35	0,19	0,06	-0,01	0,00
PLDC90	0,57	0,67	-	0,62	0,49	0,34	0,21	0,12	0,10
PLDC120	0,37	0,53	0,62	-	0,60	0,51	0,39	0,28	0,17
PLDC150	0,20	0,35	0,49	0,60	-	0,64	0,56	0,44	0,25
PLDC180	0,07	0,19	0,34	0,51	0,64	-	0,68	0,57	0,34
PLDC210	-0,02	0,06	0,21	0,39	0,56	0,68	-	0,65	0,47
PLDC240	-0,08	-0,01	0,12	0,28	0,44	0,57	0,65	-	0,67
PLDC270	-0,12	0,00	0,10	0,17	0,25	0,34	0,47	0,67	-

Correlaciones fenotípicas similares fueron reportadas por Duarte et al (2004) y Hurtado-Lugo et al (2005). Por otro lado, en este estudio se presentaron correlaciones fenotípicas cercanas a cero, a medida que la distancia entre controles fue aumentando, como ocurrió en el caso de las PLDC30-PLDC210, PLDC30-PLDC240, PLDC30-PLDC270 y PLDC60-PLDC240 (tabla 3). Mientras, que Tonhati et al (2004) reportaron que los valores de correlaciones fenotípicas disminuyeron a medida que la distancia entre controles fue aumentando. Sin embargo, estos autores no reportaron valores de correlaciones genéticas negativas entre controles.

Conclusiones

- El empleo de polinomios ortogonales de Legendre de cuarto orden en modelos de regresión aleatoria, presentan una alta variabilidad genética y pueden ser empleados en el análisis de la producción de leche en el día del control para la selección de futuros reproductores en la población estudiada.

Bibliografía

Ali T E and Schaefer L 1987 Accounting for covariances among test Day Milk yields in dairy cows. Canadian Journal of Animal Science 67:637-644

Bignardi, A B, El Faro L, Cardoso V L, Machado P F and Albuquerque L G 2009 Random regression models to estimate test-day milk yield genetic parameters holstein cows in southeastern brazil. Livestock Science 123: 1-7

Brotherstone S, White I M and Meyer K 2000 Genetic modeling of daily yields using orthogonal polynomials and parametric curves. Journal of Animal Science 70 (2): 407-415

Costa C N, Melo C M R e Machado C H 2002 Avaliação de funções polinomiais para ajuste da produção de leite no dia do controle de primeiras lactações de vacas Gir com modelo de regressão aleatória. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 39., 2002, Recife, Pernambuco. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, (CD-ROM).

Duarte J, Tonhati H, Ceron-Muñoz M, Seno L, Lima L, Chabariberi L, Oliveira J e Reichert R 2004 Parâmetros genéticos para a produção de leite no dia do controle em búfalos no estado de São Paulo-Brasil. II Simpósio de búfalos de las Américas 2004. Argentina.

El Faro L e Galvao de Albuquerque L G 2003 Estimación de parâmetros genéticos para produção de leite no dia do controle e produção acumulada até 305 dias, para as primeiras lactações de vacas da raça Caracu. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32 (2): 284-264
<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v32n2/16589.pdf>

González L G, El Faro L, Galvão L A, Tonhati H e Cavallari C H 2008 Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37 (9): 1584-1594
<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n9/a09v37n9.pdf>

Gutierrez-Valencia A, Hurtado-Lugo N y Cerón-Muñoz M 2006 Estimativas de factores de corrección para duración de la lactancia, edad y época de parto en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana. *Livestock Research for Rural Development* 18 (4) 2006.
<http://www.lrrd.org/lrrd18/4/guti18050.htm>

Hurtado-Lugo N, Cerón-Muñoz M, Gutiérrez-Valencia A, Tonhati H y Henao A 2005 Producción de leche en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana. *Livestock Research for Rural Development* 17 (12). <http://www.lrrd.org/lrrd17/12/hurt17139.htm>

Hurtado-Lugo N, Cerón-Muñoz M y Gutiérrez-Valencia A 2006 Estimación de parâmetros genéticos para la producción de leche en el día del control en búfalos de la Costa Atlántica Colombiana. *Livestock Research For Rural Development* 18 (3).
<http://www.lrrd.org/lrrd17/12/hurt17139.htm>

Jensen J 2001 Genetic evaluation of dairy cattle using test-day models . *Journal of Dairy Science* 84: 2803-2812
<http://jds.fass.org/cgi/reprint/84/12/2803>

Lopez-Romero P and Carabaño M J 2002 Comparison of random regression test-day models and analysis of the residual variance along days in milk using Bayesian procedures. In: World Congress On Genetics Applied To Livestock Production, 7, 2002, Montpellier. Proceedings... Montpellier 2002. I CD-ROM.

Kirkpatrick M, Lofsvold D and Bulmer M 1990 Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectory. *Genetics* 124: 979–993

Meyer K 2006 WOMBAT - Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood" In: World Congress On Genetics Applied To Livestock Production, 8, 2006, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte 2006. I CD-ROM.

Mostert B E, Theron H E, Kanfer F H and van Marle-Koster E 2006 Adjustment of heterogeneous variances and a calving year effect in test-day models for national genetic evaluation of dairy cattle in South Africa. *South African Journal of Animal Science* 36:165-174

Olori V E, Hill W G and McGuirk B J 1999 Estimating variance components for test day milk records by restricted maximum likelihood with a random regression animal model. *Livestock Production Science* 61 (1): 53-63

Pool M, Janss L and Meuwissen T 2000 Genetic Parameters of Legendre polynomials for first parity lactation curves. *Journal Dairy Science* 83: 2640-2649 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/83/11/2640.pdf>

Ptak E and Schaeffer R 1993 Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livestock Production Science* 34: 23-34

Schaeffer L R 2004 Application of random regression models in animal breeding. *Livestock Production Science* 16 (4): 335-348

Schaeffer L R and Jamrozik J 1996 Multiple-trait prediction of lactation yields for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 79 (11): 244-255
<http://jds.fass.org/cgi/reprint/79/11/2044.pdf>

Shahrbabak M M 1997 Feasibility of random regression models for Iranian Holstein testday records. Thesis (PhD) – University of Guelph, Guelph, Canadá. 138p.,1997.

Wilmink J B M 1987 Comparison of different methods of predicting 305 – day milk yield using means calculated from within herd lactation curves. *Livestock Production Science* 17: 1–17

Wood P D 1967 Algebraic model of lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165

Received 2 February 2009; Accepted 24 March 2009; Published 1 June 2009

[Go to top](#)