

# **Predicción de la producción de leche, porcentaje de grasa y proteína diaria a partir de registros del ordeño de la mañana o de la tarde en vacas Holstein en pastoreo**

**M F Cerón-Muñoz, J D Corrales Alvarez y J P Ramírez Arias**

**Grupo de Genética, Mejoramiento y Modelación Animal, (GaMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia; Calle 70 No 52-21, Medellín, Antioquia.**

[grupogamma@udea.edu.co](mailto:grupogamma@udea.edu.co)

**<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Producción Animal Sostenible, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Salle. Carrera 7 No 172-85, Bogotá, Colombia.**

## **Resumen**

En este artículo se utilizaron las producciones parciales tanto de producción de leche como de porcentaje de grasa y proteína en vacas Holstein en pastoreo para determinar la producción y el porcentaje total por día. Se utilizaron 51369 registros diarios de producción de leche, porcentaje de grasa y proteína (AM/PM) pertenecientes a 2616 vacas ubicadas en 21 hatos lecheros del norte y oriente de Antioquia, Colombia. El control lechero fue realizado mediante la metodología A4 X2; que consistió en visitas mensuales y control en ordeños en la mañana y tarde. Los intervalos entre ordeños variaron entre 9 a 11.5 h para el ordeño PM y 12.5 a 15 h para el ordeño AM y se consideraron los datos medidos entre el día 5 a 599 de lactancia. Mediante el programa Eureka fueron considerados modelos lineales y no lineales para la estimación de los mejores modelos de predicción de producción de leche, grasa y proteína en 24 horas; considerando los datos ingresados en el programa. Para comparar las ecuaciones se estimaron los estadísticos  $r^2$ , coeficiente de información Akaike AIC, el sesgo y su respectiva desviación estándar, además del coeficiente de correlación de concordancia (CCC).

Para producción de leche; las mejores ecuaciones seleccionadas por tener un menor AIC, fueron aquellas que incluyeron la producción de leche parcial (AM o PM), los días en leche (DEL) y el tiempo transcurrido entre ordeños; para la estimación de proteína los mejores modelos fueron aquellos que consideraron exclusivamente el porcentaje de proteína (AM o PM), y para el contenido de grasa los mejores modelos fueron aquellos que consideraron exclusivamente el porcentaje de grasa, aunque por otro lado, presentaron mejor ajuste los modelos que consideraron los días en leche (PM) y el tiempo de ordeño y la producción diaria (AM). Los modelos presentados en este estudio, pueden ser utilizados de forma confiable para la predicción de la producción de leche, grasa y proteína en 24 horas con buena precisión y a bajo costo.

**Palabras clave:** *coeficiente de información Akaike, Eureka, ganado de leche*

## **Prediction of milk fat, protein and yield from the morning or**

---

# afternoon milking in grazing Holstein cows

## Abstract

Partial milk yield and percentage of milk fat and protein were used to determine percentage and total production per day in grazing Holstein cows. A total of 51369 daily records of milk yield and milk fat and protein (AM/PM) from 2616 cows in 21 dairy herds from north and east Antioquia (Colombia) were used. The milk control was performed with the A4 X2 methodology involving monthly visits and milking control during the morning and afternoon. Milking intervals ranged from 9 to 11.5 h for the PM milking and 12.5 to 15 h for the AM milking. Only data between days 5 to 599 of lactation were considered. The Eureka program was used to assess linear and nonlinear models for estimating the best prediction of milk yield, fat and protein in 24 hours. The  $r^2$  statistic, Akaike's information coefficient (AIC), bias and its standard deviation, and the concordance correlation coefficient (CCC) were estimated to compare the equations. The best equations selected for yield -for having a low AIC were those that included partial milk yield (AM or PM), days in milk (DEL) and the time between milkings. The best models for protein estimation were those that exclusively considered the percentage of protein (AM or PM). The best models for fat content were those considering only fat percentage. Nevertheless, the models considering days in milk (PM), time of milking, and daily yield (AM) had better fit. The models obtained in this study can be used reliably, with good precision, and at low cost to predict milk, fat and protein production during 24-hours periods.

**Key words:** *Akaike, Eureka, dairy cattle*

## Introducción

En vacas lecheras el conocimiento de la producción diaria a través de controles lecheros es importante para la evaluación de los animales a nivel productivo y la realización de programas de mejoramiento genético; adicionalmente, el registro de producción permite la valoración de los animales destinados a la selección y el mejoramiento de la gestión de los hatos lecheros. Existen diferentes métodos de control lechero determinados por el Comité Internacional de Registro Animal (International committee for animal recording - ICAR, 2016) donde el método A4 que implica el registro de producción de leche en dos ordeños consecutivos, empezando en la tarde y terminando el día siguiente en la mañana (PM – AM) cada cuatro semanas, es el más utilizado por la mayoría de países. Sin embargo, esta metodología presenta un alto costo debido principalmente a la disminución de la producción por la presencia de alguien desconocido en la sala de ordeño y el costo requerido para mantener el controlador hasta el ordeño del día siguiente en la mañana.

Una metodología aprobada por la ICAR (2003) y que permite reducir los costos por la realización de dos controles el mismo día es el registro de la producción solo en la mañana o en la tarde. Esta metodología es menos perjudicial para la rutina de ordeño diaria, permite al controlador visitar más predios, más vacas pueden ser evaluadas y en consecuencia más toros podrán ser probados (Cassandro et al 1995; Delorenzo and Wiggans 1986; Liu et al 2000). Adicionalmente, en un programa de mejoramiento genético el uso de los registros diarios estimados a partir del ordeño de la mañana o de la tarde tiene un impacto muy bajo en la estimación de valores genéticos de los toros (Cassandro et al 2003).

La utilización del método (AM o PM) requiere de la estimación de factores de corrección o ecuaciones que permitan predecir la producción de leche, porcentaje de proteína y porcentaje de grasa en 24 horas (Everett and Wadell 1970; Lee et al 1995; Hargrove, 1994). Berry et al (2007)

indican que cualquier ecuación de predicción utilizada para estimar la producción en 24 h de cualquiera de las muestras AM o PM deben incorporar intervalo de ordeño y días en leche. Consecuentemente, la precisión de la estimación diaria de leche, porcentaje de grasa y proteína con éxito depende de cómo se toman los factores que se tienen en cuenta. Por lo tanto, la estimación de factores de corrección y ecuaciones de predicción de la producción en 24h horas confiables es beneficioso para la estimación.

El objetivo de este estudio fue encontrar ecuaciones que permitan calcular la producción de leche, porcentaje de grasa y proteína en 24 horas, considerando la producción parcial am o pm, los días en leche y el intervalo entre ordeños en vacas Holstein en pastoreo.

## Materiales y métodos

### Datos

Los datos utilizados en este estudio provienen del programa de control lechero de la Corporación Antioquia Holstein y la Universidad de Antioquia y consistieron en un total de 51369 registros diarios de producción de leche, porcentaje de grasa y proteína (AM/PM) pertenecientes a 2616 vacas ubicadas en 21 hatos lecheros del norte y oriente de Antioquia, Colombia.

Los hatos se encontraban ubicados en zona de vida de bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), con temperaturas promedio de 16°C, alturas entre los 2000 y 3000 msnm y precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm, con topografía plana a ondulada. El sistema de alimentación se caracterizaba por un pastoreo con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en mayor proporción y algunas asociaciones con Rye grass (*Lolium perenne*). Los animales fueron suplementados con alimentos comerciales de acuerdo a la etapa productiva y según los criterios de manejo de cada uno de los hatos al momento del ordeño. El control lechero fue realizado mediante la metodología A4 X2 (ICAR 2016) que consistió en visitas mensuales y control en ordeños en la mañana y tarde. Los intervalos entre ordeños variaron entre 9 a 11.5 h para el ordeño PM y 12.5 a 15 h para el ordeño AM y se consideraron los datos medidos entre el día 5 a 599 de lactancia.

### Predicción de la producción y porcentajes de 24 horas

Se utilizó el programa Eureqa (Schmidt and Lipson 2013) el cual considera modelos lineales y no lineales para la estimación de los mejores modelos de predicción considerando los datos ingresados en el programa. Los datos se dividieron en dos conjuntos, el primer conjunto corresponde a los datos de entrenamiento (30% de los datos seleccionados al azar) y el segundo conjunto de datos a los de validación (70% de los datos que no pertenecen al conjunto de entrenamiento).

Para la producción de leche de 24h calculada a partir de la producción AM y PM se tuvo en cuenta el intervalo entre ordeños y los días en leche.

Donde  $PL_{24h}$  corresponde a la producción de leche de 24h o un día,  $PL_{AM \text{ o } PM}$  corresponde a la producción de leche en la mañana  $PL_{AM}$  o producción de leche en la tarde  $PL_{PM}$ , DEL a días en leche,  $t_{AM}$  corresponde al intervalo ordeño en la mañana en horas y  $t_{PM}$  intervalo entre ordeño tarde en horas. Adicionalmente, para la estimación del porcentaje de grasa y proteína en 24h se tuvo en cuenta el intervalo entre ordeños, los días en leche y la producción AM o PM según correspondiera.

Donde  $Y_{i,24h}$  corresponde al porcentaje de  $i = \text{grasa o prote\u00edna}$  la cual fue calculada a partir de la formula

$Y_{i, (AM \text{ o } PM)}$  corresponde al porcentaje de grasa o prote\u00edna AM ( $Y_{i, AM}$ ) o PM ( $Y_{i, PM}$ ); DEL a d\u00edas en leche; corresponde al intervalo en horas transcurridas desde el orde\u00f1o de la tarde y el orde\u00f1o de la ma\u00f1ana y intervalo en horas entre el orde\u00f1o de la ma\u00f1ana y el orde\u00f1o de la tarde.

### Comparaci\u00f3n de ecuaciones

Para comparar las ecuaciones se estimaron los estad\u00edsticos  $r^2$ , AIC, el sesgo y su respectiva desviaci\u00f3n est\u00e1ndar. Adicionalmente, se calcul\u00f3 el coeficiente de correlaci\u00f3n de concordancia (CCC) que eval\u00faa la reproducibilidad de las mediciones y que estas sean realmente similares (Steichen and Cox 2002).

Donde  $2S_{xy}$ ; es dos veces la covarianza entre la media real y la estimada,

corresponden a las varianzas y la media de la medida real y la medida estimada, respectivamente.

### Resultados y discusi\u00f3n

Teniendo en cuenta los datos de entrenamiento se seleccionaron las mejores ecuaciones y se estimaron los diferentes coeficientes ( $r^2$ , CCC y AIC) utilizando los datos de validaci\u00f3n. Los resultados de los diferentes coeficientes de las ecuaciones con mejores predicciones para producci\u00f3n de leche diaria a trav\u00e9s de la producci\u00f3n parcial AM o PM se presentan en las Tabla 1. Las mejores ecuaciones seleccionadas por tener un menor coeficiente de informaci\u00f3n Akaike (AIC) fueron aquellas que incluyeron la producci\u00f3n de leche parcial (AM o PM), los d\u00edas en leche (DEL) y el tiempo transcurrido entre orde\u00f1os. Sin embargo, las otras ecuaciones sin incluir aquellas que consideraron dos veces la producci\u00f3n parcial, presentaron un ajuste muy similar a los encontrados por la ecuaci\u00f3n con mejor predicci\u00f3n.

Estos resultados coinciden con los reportados por Cassandro et al (1995) y Liu et al (2000); quienes encontraron que los modelos que mejor se ajustaron fueron aquellos que incluyeron variables como intervalo entre orde\u00f1os, n\u00famero de partos y etapa de la lactancia. No obstante, recomiendan que se debe estimar por separado las primeras lactancias y las subsiguientes para mayor precisi\u00f3n. Por otro lado; Casandro et al (1995) afirma que, aunque estas variables son de suma importancia, el factor m\u00e1s influyente para la estimaci\u00f3n de la producci\u00f3n es el intervalo entre orde\u00f1os.

**Tabla 1.** Coeficiente de determinaci\u00f3n ( $r^2$ ), coeficiente de correlaci\u00f3n de concordancia (CCC), AIC y sesgo de los modelos que mejor ajustaron la producci\u00f3n de leche diaria utilizando datos de producci\u00f3n AM (Modelos L1 a L8).

Modelo		$r^2$
L1	$PL_{24h} = 0.594 + 3.07 \times PL_{AM} - 0.0002 \times DEL \times PL_{AM} - 0.0957 \times t_{AM} \times PL_{AM}$	0.96
L2	$PL_{24h} = 35.2 \times PL_{AM} / (6.12 + t_{AM})$	0.95
L3	$PL_{24h} = 1.79 \times PL_{AM}$	0.95
L4	$PL_{24h} = 2 \times PL_{AM}$	0.94
L5	$PL_{24h} = 10.6 + 1.99 \times PL_{PM} - 0.0025 \times DEL - 0.767 \times t_{PM}$	0.94
L6	$PL_{24h} = PL_{PM} \times (16.7 + 11.04 \times PL_{PM}) / t_{PM}$	0.94
L7	$PL_{24h} = 2 + 2 \times PL_{PM}$	0.94
L8	$PL_{24h} = 2 \times PL_{PM}$	0.94

*t*: tiempo transcurrido entre el ordeño de la mañana y de la tarde

Muchos estudios se han realizado para estimar la precisión del esquema de producciones parciales AM-PM, con el fin de reemplazar el esquema tradicional A4 (ICAR 2011; Wiggans 1981; DeLorenzo and Wiggans 1986; Casandro et al 1995; Averdunk et al 1998), ya que, si se utiliza la metodología de producciones parciales, para predecir la producción de leche diaria, es posible obtener una estimación muy cercana a la real y a un menor costo. Lee et al (2013), encontraron que mediante el método de muestreo parcial AM-PM es posible estimar la producción diaria con un 95% de precisión en comparación con el método actual.

Para porcentaje de proteína (PPROT) por día de producción, los modelos analizados que consideraron los días en leche y tiempo transcurrido entre ordeños no presentaron un ajuste diferente a los modelos que consideraron exclusivamente el porcentaje de proteína (AM o PM). Los modelos con menor AIC para PPROT fueron el P1 y el P2 (Tabla 2). Sin embargo, es importante resaltar como lo menciona Ceballos et al (2012), que para calcular la producción de proteína es importante incluir la producción de leche diaria.

**Tabla 2.** Coeficiente de determinación ( $r^2$ ), coeficiente de correlación de concordancia (CCC), sesgo y AIC de cada una de las ecuaciones que mejor ajustaron el porcentaje de proteína diaria

(PPROT) utilizando datos de porcentaje de proteína parcial.

---

## Modelo Ecuación

---

P1  $PPROT = P_{AM}$

P2  $PPROT = P_{PM}$

P3  $PPROT = 0.14 + 0.95 * P_{AM}$

P4  $PPROT = 0.20 + 0.93 * P_{PM}$

---

\*  $P_{AM}$  =  
porcentaje  
de proteína  
na AM;  $P$

$P_{PM}$  =  
porcentaje  
de proteína  
na PM

Agnieszka et al (2015) recomiendan que para que la precisión del modelo y las ecuaciones sean mayor, el intervalo entre ordeños no debe ser menor a 8 horas ni mayor a 13 horas. Lo cual para el caso de este estudio, los rangos son coherentes. No obstante; Huth (1995) asegura que los intervalos amplios entre ordeños no alteran el contenido de proteína, como sí lo hace sobre el contenido de grasa.

Para el porcentaje de grasa en 24h (PGRASA) los mejores modelos teniendo en cuenta el menor valor de AIC, considerando el porcentaje de grasa parcial  $G_{AM}$  y  $G_{PM}$  fueron G2 y G5, respectivamente (Tabla 3). Utilizando el porcentaje de  $G_{AM}$  el máximo ajuste encontrado fue 0.85 en el modelo G3 y para el porcentaje de  $G_{PM}$ , el máximo ajuste fue 0.80 en el modelo G6. Como se mencionó anteriormente, el contenido de grasa es altamente susceptible al tiempo entre ordeños, principalmente cuando estos intervalos son cortos (Soyeurt et al 2006). Por otro lado, Rodríguez Neira et al (2013) encontraron un efecto significativo sobre los porcentajes de grasa AM-PM de los días en leche, número de parto y producción leche.

**Tabla 3.** Coeficiente de determinación ( $r^2$ ), coeficiente de correlación de concordancia (CCC), sesgo y AIC de cada una de las ecuaciones que mejor ajustaron el porcentaje de grasa diaria utilizando datos de GAM y GPM.

Modelo	Ecuación
G1	$PGRASA = 0.87 \cdot G_{AM} + 0.04 \cdot t_{AM}$
G2	$PGRASA = 0.59 + 0.87 \cdot G_{AM}$
G3	$PGRASA = 0.82 \cdot G_{AM} + 0.06 \cdot t_{AM} - 0.008 \cdot PL_{AM}$

$$G4 \quad PGRASA = 0.73 + 0.76 \cdot G_{PM}$$

$$G5 \quad PGRASA = 0.95 \cdot G_{PM}$$

$$G6 \quad PGRASA = 0.73 + 0.73 \cdot G_{PM} + 0.0005 \cdot DEL$$

---

**t:** tiempo  
transcurrido  
entre el  
ordeño de la  
mañana y de  
la tarde

La razón por la cual los resultados deben ser ajustados tanto para AM como para PM se debe a la acción biológica del ritmo circadiano de los animales y su producción, lo que quiere decir que en las horas de la mañana se espera que la producción de leche sea mayor que en las horas de la tarde. Se ha encontrado que la producción AM corresponde a más el 50% de la producción diaria de leche (DeLorenzo and Wiggans 1986; Jovanovac et al 2008; Gantner et al 2009; Plaut and Casey 2012).

Schaeffer et al (1975) aseguran que las producciones AM predicen de forma más precisa la producción diaria que los registros PM; más lo ideal es tener registros tanto AM como PM, debido a que cuando sólo se estima la producción total como dos veces la producción AM se subestima la producción, lo que no ocurre al alternar los registros de la mañana y de la tarde.

## Conclusión

- En este estudio, se presentan diferentes modelos para el cálculo de la producción de leche y porcentaje de grasa y proteína en 24 horas de vacas Holstein en pastoreo los cuales fueron evaluados comparando su desempeño con los criterios de comparación  $r^2$ , CCC, AIC y Sesgo. Los modelos seleccionados para producción de leche a partir de producciones AM o PM presentaron un  $r^2$  superior a 0.94 y CCC mayor a 0.92. Para producción de grasa, los modelos que mejor se ajustaron fueron G3 ( $r^2 = 0.85$ ) y G6 ( $r^2 = 0.80$ ), no obstante, tuvieron menor AIC el modelo G2 y G5; y finalmente para proteína los mejores modelos



---

fueron aquellos que incluyeron exclusivamente el contenido de proteína AM o PM.

- Los modelos presentados en este estudio, pueden ser utilizados de forma confiable para la predicción de la producción de leche, grasa y proteína de vacas bajo condiciones de pastoreo en 24 horas con buena precisión y bajo costo.

## Agradecimientos

Este artículo hace parte de los proyectos “Evaluación genética para calidad de leche y reproducción de bovinos Holstein y evaluación de animales cruzados holstein, jersey y BON en Antioquia” (MADR, FEDEGAN, UdeA y Corpoleche) y “Evaluación genético económico de bovinos holstein en sistemas de producción de leche en Antioquia” (Colciencias, Corpoleche y UdeA) . Se recibió el apoyo del Comité para el desarrollo de la investigación- CODI-UdeA (Estrategia para la Sostenibilidad 2016 ES84160119 grupo GaMMA).

## Referencias

- Agnieszka O M, Ptak E and S?oniewski K 2015** Estimation of daily milk yield based on morning and evening milking. Scientific Annals of Polish Society of Animal Production 11(2): 47-56.
- Averdunk G, Aumann J and Duda J 1998** Performance recording of animals, state of the art: Tendencies in AM/PM recording in Germany and non-conventional recording methods in the future. 139 in Proceedings of 31st Biennial Session of ICAR, pag. 139, Rotorua, New Zealand.
- Berry D P, Buckley F and Dillon P 2007** Body condition score and live-weight effects on milk production in Irish Holstein-Friesian dairy cows. The Animal Consortium,1(9): 1351–1359. Available from: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S1751731107000419>
- Cassandro M, Carnier P, Gallo L, Mantovani R, Bittante G and Jansen G B 1995** Bias and accuracy of single milking testing schemes to estimate daily and lactation milk yield. Journal of Dairy Science 78: 2884-2893.
- Cassandro M, Carnier P, Gallo L and Bittante G 2003** Adequacy of genetic evaluation of dairy cows for milk yield using different testing schemes. Italian Journal of Animal Science 2: 213-222.
- Ceballos C M, Correa L G y Echeverri J 2012** Predicción del porcentaje de proteína total a partir de muestreos parciales y ajuste de efectos medioambientales. Revista MVZ Córdoba 17(1):2884-2890.
- DeLorenzo M A and Wiggans G R 1986** Factors for estimating daily yield of milk, fat, and protein from a single milking for herds milked twice a day. Journal of Dairy Science 69:2386–2394.
- Everett R W and Wadell L H 1970** Sources of variation affecting the difference between morning and evening daily milk production. Journal of Dairy Science 53: 1424-1429.
- Gantner V, Jovanovac S, Klop?i? M, Cassandro M, Raguž N and Kuterovac K 2009** Methods for estimation of daily and lactation milk yields from alternative milk recording scheme in Holstein and Simmental cattle breeds. Italian Journal of Animal Science 8: 519-530

**Hargrove G L 1994** Bias in composite milk samples with unequal milking intervals. *Journal of Dairy Science*:. 77:1917-1921.

**Huth F W 1995** Die Laktation des Rindes – Analyse, Einfluss, Korektur. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. Sup. 289:295

**ICAR 2003** Guidelines approved by the General Assembly held in Interlaken, Switzerland, on 30 May 2002, Rome, p:19 – 39

**ICAR 2011** International agreement of recording practices. ICAR Guidelines, Rome, Italy

**ICAR 2016** International agreement on recording practices. Available from: <http://www.icar.org/wp-content/uploads/2016/03/Guidelines-Edition-2016.pdf>

**Jovanovac S, Gantner V, Kuterovac K, Klopčič M and Cassandro M 2008** Estimation of daily and lactation milk yield from alternative milk recording scheme. *STOŽARSTVO* 62: (2) 91-102.

**Lee C, Pollak E J, Everett R W and Mcculloch C E 1995** Multiplicative factors for estimation of daily milk component yields from single morning or afternoon tests. *Journal of Dairy Science*, 78: 221–235

**Lee D and Hongrip Min 2013** Estimation of Daily Milk Yields from AM/PM Milking Records. Journal of Animal Science and Technology 55(6):489-500.

**Liu Z, Reents R, Reinhardt F and Kuwan K 2000** Approaches to estimating daily yield from single testing schemes and use of a.m.-p.m. records in test-day model genetic evaluation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83:2672-2682.

**Plaut K and Casey T 2012** Does the circadian system regulate lactation? *Animal* 6:394–402.

**Rodríguez Neira J D, Correa Londoño G A and Echeverri Zuluaga J J 2013** Prediction Models for Total Milk Yield and Fat Percentage Using Partial Samples. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 66(1): 6909-6917

**Schaeffer L R and Rennie J C 1975** AM-PM testing for estimating lactation yields. Canadian Journal of Animal Science, 56: 9-15

**Schmidt M and Lipson H 2013** Eureka [Computer package], Version 0.99 beta. [www.nutonian.com](http://www.nutonian.com)

**Soyeurt H, Dardenne P, Gillon A, Croquet C, Vanderick S, Mayeres P, Bertozzi C and Gengler N 2006** Variation in fatty acid contents of milk and milk fat within and across breeds. *Journal of Dairy Science* 89(12): 4858-4865.

**Steichen T J and Cox N J 2002** A note on the concordance correlation coefficient. *Stata Journal* 2(2): 183–189.

**Wiggins G W 1981** Methods to estimate milk and fat yields from a.m./p.m. plans. *Journal of Dairy Science*, 64: 1621-1624

