



EVALUACIÓN GENÉTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN DÍA DEL CONTROL



Universidad Francisco
de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

Naudin Alejandro Hurtado-Lugo
Donicer Eduardo Montes-Vergara
Francisco Ribeiro de Araujo-Neto

**EVALUACIÓN GENÉTICA
PARA LA PRODUCCIÓN
DE LECHE EN DÍA DEL
CONTROL**

NAUDIN ALEJANDRO HURTADO-LUGO
DONICER EDUARDO MONTES-VERGARA
FRANCISCO RIBEIRO DE ARAUJO-NETO

Hurtado-Lugo, Naudin Alejandro, autor

Evaluación genética para la producción de leche en día del control / Naudin Alejandro Hurtado-Lugo, Donicer Eduardo Montes-Vergara, Francisco Ribeiro de Araujo-Neto -- Primera edición -- Ocaña, Norte de Santander : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022.

72 páginas. -- (Genética y mejoramiento animal. Bovino cultura lechera evaluación genética)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo -- Texto en español con resúmenes en inglés.

ISBN 978-958-503-590-4 -- 978-958-503-591-1 (e-book)

1. Leche - Producción 2. Productividad ganadera I. Montes-Vergara, Donicer Eduardo, autor II. de Araujo Neto, Francisco Ribeiro, autor

CDD: 636.2142 ed. 23

CO-BoBN- a1112370



Área: Genética y mejoramiento animal

Subárea: Bovino cultura lechera evaluación genética



**Universidad Francisco
de Paula Santander**

Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

© Naudin Alejandro Hurtado-Lugo
© Donicer Eduardo Montes-Vergara
© Francisco Ribeiro De Araujo-Neto

© Universidad Francisco de Paula
Santander seccional Ocaña
Vía Acolsure, Sede el Algodonal
Ocaña, Norte de Santander - Colombia
Teléfono: 5690088

► Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63 C 32 - Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, diciembre del 2022

ISBN: 978-958-503-590-4
e-ISBN: 978-958-503-591-1

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Corrección de estilo: Paula Rueda
Diagramación: Nicol Pulido Casallas
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y digital
Carrera 69 H # 77 - 40

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su sabiduría.

A nuestras familias por su compañía y comprensión.

A la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña por sus esfuerzos en pro del desarrollo del conocimiento.

CONTENIDO

ABSTRACT	XIII
RESUMEN	XV
PRÓLOGO	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
Referencias	XXI
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL	1
Referencias	6
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN GENÉTICA EN BOVINOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE TOTAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL	11
2.1. Metodología para producción de leche en día del control en animales domésticos lecheros.....	13
2.1.1. Clasificación de los modelos PDC	16
2.2. Ventajas de la metodología PDC	24
2.3. Desventajas de los modelos PDC	27

2.3.1. Algunos factores a tener en cuenta en la metodología para la PDC.....	27
Referencias	31

CAPÍTULO 3. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL Y LA PRODUCCIÓN DE LECHE TOTAL.....	45
3.1. Heredabilidad	47
3.2. Correlaciones genéticas, fenotípicas y residuales para la producción de leche en el día del control y la producción de leche total	53
Referencias	62
CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN	67
EPÍLOGO.....	69
GLOSARIO	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producciones de leche en el día del control (PDC) en Kg en los diferentes meses de lactancia.....	18
Figura 2. Heredabilidad para la producción de leche en el día del control (PDC) y para la producción de leche a 305 días de lactancia.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estimaciones de la heredabilidad para las producciones de leche el día del control (PDC) y para la producción de leche total a 270 (PLT 270) y 305 (PLT 305) días de lactancia	49
Tabla 2.	Correlación genética (r_g) y fenotípica (r_p) en los diferentes controles entre la producción de leche en el día del control (PDC) y para la producción de leche total a 270 (PL T270) y 305 (PL T305) días de lactancia	55
Tabla 3.	Estimaciones de las correlaciones genéticas y fenotípicas para la producción de leche en días de prueba entre la primera y la segunda (I-II), la primera y la tercera (I-III) y la segunda y la tercera (II-III) lactancias a partir de un modelo de días de días de pruebas de regresión aleatoria de lactancia múltiple en vacas holstein friesian de Etiopía	59



ABSTRACT

At the international genetic evaluations for milk yield are used methodologies known as “Test-Day” or Milk yields in the Day of Control (PDC). By means of the use of this methodology, the environmental and genetic effects that influence the PDC can be considered in the genetic evaluations, allowing better estimative of heritability. On the other hand, the use of the PDC makes possible the evaluation of females that did not finish lactation, without the need those adjustment factors or projection of milk production and allows the evaluation in bulls, with greater reliability, since there will be a greater number of daughters in evaluation. The objective of this work is to present an interpretation of real data that facilitates the understanding of the PDC statistical methodology, presenting a specific vision of its use and implementation in genetic evaluations in dairy cattle.

Key words: *correlations, environmental factors, genetic improvement, heritability, genetic evaluation.*



RESUMEN

En evaluaciones genéticas internacionales para producción de leche se emplean metodologías conocidas como “*Test-Day*” o Producciones en el Día del Control (PDC). Mediante el empleo de esta metodología, los efectos ambientales y genéticos que influyen sobre la PDC, pueden ser considerados en las evaluaciones genéticas, permitiendo mejores estimativas de heredabilidad. Por otro lado, la utilización de la PDC permite evaluar hembras que no terminaron la lactancia, sin la necesidad del empleo de factores de ajuste o proyección de la producción de leche. También permite la evaluación de toros, con una mayor confiabilidad, ya que existiría un mayor número de hijas en evaluación. Este trabajo tiene como objetivo presentar una visión específica del uso de la metodología estadística y su implementación en las evaluaciones genéticas en ganado lechero.

Palabras clave: correlaciones, factores ambientales, heredabilidades, parámetros genéticos, evaluación genética.



PRÓLOGO



El análisis de las evaluaciones genéticas para animales domésticos lecheros y la aplicación de la metodología de la producción en día de control (PDC), permiten evaluar de forma consistente los procesos que ocurren al interior del sistema de producción lechero, por lo que hace que los estudios de dicho tema deban hacerse de manera intensiva.

La definición de la metodología de producción en el día de control fue desarrollada con fundamentos en procedimientos logísticos, operativos y bioestadísticos, considerando efectos sistemáticos y aleatorios específicos en cada control de leche, esto debido a que cada vaca se encuentra bajo los efectos temporales del ambiente y de manejo varía a lo largo de la lactancia.

Por consiguiente, estos efectos deben ser considerados en la selección de los futuros reproductores lecheros. En comparación a las metodologías tradicionales la PDC, permite incluir la lactancia de un animal cuando es corta o incompleta o en periodos específicos de la curva de la lactancia. En este sentido, la metodología de la PDC empleada en evaluaciones genéticas presenta un considerable número de ventajas, entre ellas, la disminución en costos económicos y operativos en los programas de control lechero.

INTRODUCCIÓN

Las informaciones zootécnicas colectadas en programas de control lechero han permitido realizar programas de mejora y seguimiento en cuanto a la productividad, alimentación, nutrición y condiciones de sanidad e infraestructura de los rebaños. Sin embargo, recolectar dicha información en programas de control lechero de las diferentes especies domésticas se ve afectada por el elevado costo que debe asumir por su parte los productores al hablar del diseño e implementación de estos programas. Por tal motivo, como alternativas a estas limitantes, toma importancia la búsqueda de fuentes de financiamiento mediante programas de apoyo gubernamental o por parte de asociaciones de criadores. En este sentido y considerando que la logística y colecta de informaciones diarias de productividad implican esfuerzos considerables en infraestructura y costos en hatos lecheros, han surgido metodologías que permiten la colecta de información parcial en diferentes tiempos de la lactancia y que han sido alternativas exitosas para las metodologías tradicionales de seguimiento en programa de control lechero y evaluaciones genéticas.

El gran desarrollo en el área de la genética animal ha sido posible gracias a los diferentes esfuerzos de los científicos, que financiados por entidades

gubernamentales y no gubernamentales (como asociaciones de criadores y productores), desarrollan nuevas metodologías estadísticas que permiten evaluar y seleccionar con una mayor confiabilidad al ganado bovino lechero. Estas investigaciones han permitido estudiar con una mayor profundidad las condiciones que afectan la producción de leche de una vaca durante la lactancia, entre las cuales se encuentran: la estación de parto, número de partos, periodo de parto, edad de la vaca y el estadio de la lactancia.

La metodología bioestadística tradicional más empleada para la selección de reproductores en bovinos lecheros es la producción de leche total de 270 o 305 días de lactancia. El cálculo de la producción de leche total a 270 o 305 días de lactancia es realizado mediante la sumatoria de las producciones de leche diarias y por medio de factores de ajuste, cuando un animal presenta una lactancia corta o incompleta. Sin embargo, el problema principal en el empleo de los factores de ajuste en la producción de leche total es que estos asumen que no existe una variabilidad a lo largo de la curva de la lactancia de los animales, por consiguiente, no se tienen en cuenta algunas variaciones genéticas y ambientales para la producción de leche.

En este sentido, en las evaluaciones genéticas de bovinos lecheros se han empleado, de forma generalizada, diversos modelos de factores que ajustan la información de la lactancia a un determinado tiempo, como es el caso de producciones de leche (PL) total a 240 días (PLT 240), 270 días (PLT 270) o 305 días (PLT305) de lactancia en bovinos lecheros. La metodología conocida como “*Test-day*” o “PDC”, ha sido empleada a nivel mundial en países como Costa Rica, Canadá, Finlandia, Alemania, Nueva Zelanda, Italia, Dinamarca, Estados Unidos y los Países Bajos de Europa, en la evaluación del ganado lechero para características de importancia económica como Producción de Leche (PL), Producción de Grasa (PG) y Producción de Proteína (PG), entre otras (Interbull, 2000; Gupta *et al.*, 2020; Schaeffer *et al.*, 2000; Méndez y Fraga, 2012; Swalve, 2000; Liseune *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2019; Vasconcelos *et al.*, 2004).

Referencias

- Gupta, R., Sahoo, S., Kaur, S., Dash, S., y Malhotra, P. (2020). Modeling lactation curve for test day milk yields in Holstein Friesian crossbred cattle. *International Journal of Livestock Research*, 10, 31-36.
- Interbull. (2000). National genetic programs for dairy production traits practiced in Interbull member countries. *Interbull Center*. N° 24.
- Liseune, A., Salamone, M., Van den Poel, D., Van Ranst, B., y Hostens, M. (2021). Predicting the milk yield curve of dairy cows in the subsequent lactation period using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*. 180 (105904).
- Méndez, M., y Fraga, L. (2012). Milk yield and fat percentage at the control day in river buffalo cows in the Granma province. *Archivos de Zootecnia*. 61(233), 11-18.
- Pereira, R. J., Ayres, D. R., Santana, M. L., Faro, L. E., Vercesi, A. E., y Albuquerque, L. G. D. (2019). Test-day or 305-day milk yield for genetic evaluation of Gir cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 54.
- Schaeffer L, Jamrozik J, Kistemaker J, Van Doormaal B. (2000). Experience with a Test-day model. *J. Dairy Sci.* 83: 1135-1144.
- Swalve H. (2000). Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluations methods. *J. Dairy Sci.* 83:1115-1124.
- Vasconcelos J, Martins A, Retim-Batista M, Colaco J, Blake W, Carvalheira J. (2004). Prediction of daily and lactation yields of milk, fat, and protein using autoregressive repeatability Test Day Model. *J Dairy Sci.* 87:2591-2598.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DE LA METODOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL

Las evaluaciones genéticas para bovinos lecheros pueden incluir la PL, PLT305, PGT305, PPT305 y producciones parciales PDC. El cálculo de la PLT305 es realizado mediante la sumatoria de las PL diarias y mediante el uso de factores de ajuste cuando la lactancia de un animal es corta o es interrumpida de forma abrupta. De acuerdo a Liu *et al.* (2004) y Singh *et al.* (2016) el empleo de la PLT305 indica desventajas para la evaluación genética de animales, entre ellas: altos costos en el servicio de control lechero a lo largo de la lactancia, escaso número de datos (controles lecheros) para hembras jóvenes de primer y segundo parto, empleo de factores de ajuste para lactancias en desarrollo, exclusión de lactancias cortas o incompletas (lo que puede generar errores en la evaluación de los animales, debido a una selección de los datos) y la dificultad al considerar los efectos ambientales que influyen sobre la producción de leche en determinados periodos de la lactancia de una hembra, así como un aumento del intervalo generacional, presentándose por consiguiente una menor ganancia genética para la producción de leche (la anterior situación permite que se comentan errores al momento de seleccionar los mejores animales para aumentar la productividad lechera de un hato). Según Ojango *et al.* (2019), los parámetros genéticos son fundamentales para el desarrollo de los sistemas de evaluación

genética y, por lo tanto, para el diseño de cualquier programa de selección para caracteres de importancia económica.

En el ganado lechero como lo es la raza lucerna, las decisiones de manejo y selección de bovinos se basa en función de la producción de leche durante un período de lactancia de 305 días, implementadas también para realizar las evaluaciones genéticas (López *et al.*, 2019). Sin embargo, el uso de la producción de leche a los 305 días de lactancia cuando se comparan animales, debe ajustarse para extender la lactancia a una duración de referencia de 305 días, y el uso de registros extendidos puede influir en la evaluación genética atribuida a la forma de las curvas de lactancia individuales, que se ven afectadas por el cambio e influencia temporal causados por factores ambientales, haciendo difícil adaptar las lactancias a métodos tradicionales de evaluación de características para la producción de leche. Es así como se ha propuesto utilizar la producción de leche en los días de control en lugar de la producción de leche a los 305 días como criterio de selección (Almeida *et al.*, 2015; Melo *et al.*, 2005; Elzo y Cerón, 2008; González *et al.*, 2008; Jakobsen *et al.*, 2002; González y Guerra 2007; Tonhati *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2019).

De acuerdo a Ferreira *et al.* (1999) y Singh *et al.* (2016) la metodología PDC es empleada para obtener una mayor precisión en los modelos de evaluaciones genéticas utilizadas en programas de selección, permite modelar efectos sistémicos específicos en el día en que fue realizado el control lechero donde son considerados los factores ambientales que influyen en los diferentes estados de la lactancia con el fin de predecir el valor genético de los animales para la producción de leche total o en diferentes puntos de la curva de la lactancia. Swalve (2000) aporta que otra ventaja de la PDC es que los registros no necesitan de factores de ajuste, de esta forma se modelan mejor los efectos que ocurren durante la lactancia. Desde este punto de vista la metodología para la PDC se han presentado mayores ventajas sobre modelos convencionales en cuanto a la recolección de datos en la PL y su relación con los factores de ajuste, PLT305, modelados mediante funciones de regresión, entre otros. Lógicamente estos métodos PDC, estadísticamente mejorados, pueden ser usados directamente sobre los datos (tal y cual como son registrados), permitiendo realizar una corrección para los efectos sistemáticos ambientales cuando estos presentan algún impacto sobre la PL, mediante el uso de la información disponible asociada con la PDC y

que influyen a lo largo de la lactancia (Singh *et al.*, 2016). Además, la PDC no requiere de ajustes previos en los datos de producción, evitando de esta forma el uso de factores de corrección, por consiguiente, se modela de una mejor forma los efectos ambientales que ocurren a lo largo de la lactancia de un animal (Swalve, 2000).

El empleo de la metodología PDC en programas de selección sirve como predictor temprano de mérito genético de los animales, permitiendo, por consiguiente, una reducción en el intervalo generacional en programas de mejoramiento genético (Nicholas y Smith, 1983; Singh *et al.*, 2016). En este sentido, determinar el tipo de características productivas y reproductivas a ser incluidas en las evaluaciones genéticas resulta complicado, ya que los caracteres genéticos son afectados por múltiples factores ambientales, climatológicos y geográficos, entre otros. La selección directa para características de importancia económica desde el punto de vista productivo y/o reproductivo podría ser ineficiente, debido a una inadecuada selección de los efectos sistemáticos aleatorios, *a priori*, a la selección del modelo y a los errores en la biomodelación, etc. Lo cual podría resultar en la baja estimación y predicción de los valores genéticos, especialmente para vacas y toros jóvenes, ocasionando que las decisiones de selección para estas características frecuentemente involucren considerables sesgos e incertidumbres (Jamrozik *et al.*, 2005; Sewalem *et al.*, 2010; Zambrano *et al.*, 2014). Así mismo, es necesario considerar la relación entre los caracteres a ser seleccionados y cuantificar su efecto de interacción, debido, principalmente, al efecto de segregación mendeliano poligénico en el modelo a ser empleado. En este sentido, varios estudios sugieren que para la selección de ganado lechero es importante tener en cuenta que las vacas con índices altos de fertilidad van a tener bajas producciones; por el contrario, lo que explica que vacas con altas producciones de leche presentan bajas eficiencias reproductiva (VanRaden *et al.*, 2004 y Camargo, 2012; Zambrano *et al.*, 2014; Portales *et al.*, 2007). El objetivo de este libro es presentar una visión específica sobre la metodología de la PDC, con la inclusión de ejemplos prácticos fundamentados en la evaluación genética en animales domésticos lecheros.

La PDC se comprende como la sumatoria del peso de la leche de una vaca durante el ordeño de la mañana y tarde. Considera generalmente la producción diaria en un intervalo aproximado de 30 días. Para algunos modelos de PC, el control lechero puede tratarse como un rasgo separado

que es analizado usando modelos univariados o multivariados o como mediciones repetidas del mismo animal, analizadas, usando un modelo de repetibilidad (Schaeffer *et al.*, 2000; Lindauer *et al.*, 2003; Wilmink, 1987; Meyer *et al.*, 1989; Schaeffer y Jamrozik *et al.*, 1997; Palacios *et al.*, 2008).

En investigaciones realizadas en ganado lechero fue sugerido que el modelo del día de control es significativamente mejor en comparación con el modelo de lactancia (utilizando registros de lactancia completa y extendida de 305 días), con un aumento del 2 – 3 % en la precisión para los toros y del 6 – 8 % para las vacas en la producción de leche en la primera lactancia. Además, el modelo del día de prueba permite predecir el valor estimado de cría (VEB) para cada día de prueba, cada período particular o la lactancia completa (305 días) y la persistencia (Kistemaker, 1997; Jamrozik *et al.*, 1997; Li *et al.*, 2020; Garay *et al.*, 2016).

Evaluar las dinámicas de los procesos fisiológicos que están envueltos en la producción de leche es importante, debido a que la leche es una fuente esencial de la nutrición de los terneros y una materia prima para la elaboración de subproductos lácteos, que tienen una considerable influencia en la seguridad alimentaria, en la nutrición y la dieta humana. En la investigación realizada por Simo *et al.* (2016), fue determinado que la producción de leche cruda es materia prima básica para la producción de leche líquida y productos lácteos depende de la eficiencia y productividad a lo largo de la lactancia y del número de vacas en ordeño. En las investigaciones realizadas en la República Eslovaca durante el período 2007-2013 demostraron que existe un importante efecto de la productividad lechera a largo plazo en función del número de cabezas de ganado y especialmente del número de vacas. La reducción del número de vacas afectó a la producción de la leche cruda, con lo que se redujeron las ventas basadas en las relaciones de compra y venta y su posterior procesamiento. Como alternativas a esta problemática se buscaron alternativas en el estoque de los productos; por lo cual, las ventas directas en las granjas se incrementaron gracias al uso de máquinas expendedoras o dispensadores de leche. Por lo cual se evidenció la necesidad urgente de evaluar a los futuros reproductores y reemplazos de animales en productividad en animales jóvenes o no nacidos.

Según Martínez (2018); Vergara *et al.* (2009); Martínez *et al.* (2019); Herrera *et al.* (2008), estudiar los parámetros genéticos de las características

de producción de leche en diferentes razas, permite obtener un mejor conocimiento para implementar programas de mejoramiento genético, que se hace fundamental al aumentar la productividad animal y establecer sistemas productivos competitivos y sostenibles en zonas donde, por cuyas características ambientales, la raza tiende a prosperar. Por consiguiente, los controles que son usados como criterio para la selección, deberán tener en cuenta la heredabilidad de la producción lechera de cada control y la correlación genética estimada entre dicha producción y la producción lechera a los 305 días de lactancia. El período ideal de lactancia (305 días) favorece el proceso de selección de los PDC con producciones lecheras de mayor heredabilidad y correlación genética.

Referencias

- Almeida, M., Rorato, P. R. N., Breda, F. C., Bondan, C., da Gama, L. T. L., Cobuci, J. A., y Prestes, A. M. (2015). Genetic parameters for test day milk production of Holstein cows using factors and principal components analysis/Parametros geneticos para producao de leite no dia do controle de vacas da raza Holandesa utilizando modelos de analisis de fatores e componentes principais. *Ciência Rural*. 45(6), 1087-1093.
- Camargo, O. (2012). La vaca lechera: entre la eficiencia económica y la ineficiencia biológica. *Archivos de Zootecnia*. 61(237), 13-29.
- Elzo, M. A., y Cerón, M. (2008). *Modelación aplicada a las ciencias animales*. Universidad de Antioquia.
- Ferreira, G. B., MacNeil, M. D., y Van Vleck, L. D. (1999). Variance components and breeding values for growth traits from different statistical models. *Journal of Animal Science*. 77(10), 2641-2650.
- Garay, Ó., Ossa, G., Cabrera, J., Simanca, J., y Pérez, J. (2016). Heritabilities and genetic trends for reproductive traits in a population of Romosinuano cattle in Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 21(1), 5250-5257.
- González, L. A., Tolkamp, B. J., Coffey, M. P., Ferret, A., y Kyriazakis, I. (2008). Changes in feeding behavior as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows. *Journal of dairy science*, 91(3), 1017-1028.
- González-Peña, D., Guerra Iglesias, D., Espinoza Villavicencio, J. L., Palacios Espinosa, A., y De Luna de la Peña, R. (2007). Estimación de componentes de (co) varianza para la producción de leche del día del control en ganado siboney utilizando un modelo de regresión aleatoria. *Interciencia*, 32(10), 702-706.
- Gupta, R., Sahoo, S., Kaur, S., Dash, S., y Malhotra, P. (2020). Modeling lactation curve for test day milk yields in Holstein Friesian crossbred cattle. *International Journal of Livestock Research*, 10, 31-36.

- Herrera, L., El Faro, L., Albuquerque, L., Humberto, T., y Machado, C. (2008). Estimates of genetic parameters for milk yield and persistency of lactation of Gyr cows, applying random regression models. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1584-1594.
- Interbull. (2000). National genetic programs for dairy production traits practiced in Interbull member countries. *Interbull Center*. N° 24.
- Jakobsen, J. H., Madsen, P., Jensen, J., Pedersen, J., Christensen, L. G., y Sorensen, D. A. (2002). Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *Journal of Dairy Science*, 85(6), 1607-1616.
- Jamrozik, J., Fatehi, J., Kistemaker, G. J., y Schaeffer, L. R. (2005). Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *Journal of dairy science*, 88(6), 2199-2208.
- Jamrozik, J., Kistemaker, G. J., Dekkers, J. C. M., y Schaeffer, L. R. (1997). Comparison of possible covariates for use in a random regression model for analyses of test day yields. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2550-2556.
- Kistemaker, G. J. (1997). *The comparison of random regression test day models and a 305-day model for evaluation of milk yield in dairy cattle* [Doctoral dissertation]. University of Guelph.
- Li, J., Gao, H., Madsen, P., Li, R., Liu, W., Bao, P. y Su, G. (2020). Impact of the order of Legendre polynomials in random regression model on genetic evaluation for milk yield in dairy cattle population. *Frontiers in Genetics*, 11 (586155).
- Lindauer, M., Mäntysaari, E. A., y Strandém, I. (2003). Comparison of test-day models for genetic evaluation of production traits in dairy cattle. *Livestock Production Science*, 79, 73-86.
- Liseune, A., Salamone, M., Van den Poel, D., Van Ranst, B., y Hostens, M. (2021). Predicting the milk yield curve of dairy cows in the subsequent lactation period using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180 (105904).

- Liu, Z., Reinhardt, F., Bünger, A., y Reents, R. (2004). Derivation and calculation of approximate reliabilities and daughter yield-deviations of a random regression test-day model for genetic evaluation of dairy cattle. *Journal of dairy science*, 87(6), 1896-1907.
- López J.L., Quijano J.H. y González L.G. (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control y a los 305 días en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*. 31(179). <http://www.lrrd.org/lrrd31/11/luggo31179.html>
- Martínez, G. (2018). *Plan nacional de acción para la conservación, mejoramiento y utilización sostenible de los recursos genéticos animales de Colombia: informe final*.
- Martínez, J. L., Bernal, J. Q., y Herrera, L. G. (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control ya los 305 días en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*, 31(179).
- Melo, C., Packer, I., Costa, C. y Machado, P. (2005). Genetic parameters for test day and lactation milk yields of first lactation Holstein cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 796-806.
- Méndez, M., y Fraga, L. M. (2012). Milk yield and fat percentage at the control day in river buffalo cows in the Granma province. *Archivos de Zootecnia*, 61(233), 11-18.
- Meyer K., Graser H. U., y Hammond, K. (1989). Estimates of genetic parameters for first lactation test day production of Australian Black and White cows. *Livestock production science*, 21(3), 177 – 192.
- Nicholas F., Smith C. (1983). Increased rate of genetic change in dairy cattle by embryo-transfer and splitting. *Rev Anim. Prod*, 36:341-353.
- Ojango, J. M., Mrode, R., Rege, J. E. O., Mujibi, D., Strucken, E. M., Gibson, J., y Mwai, O. (2019). Genetic evaluation of test-day milk yields from smallholder dairy production systems in Kenya using genomic relationships. *Journal of dairy science*, 102(6), 5266-5278.

- Palacios-Espinosa, A., Espinoza-Villavicencio, J. L., González-Peña, D., Guerra-Iglesias, D., Mellado-Bosque, M., y Rodríguez-Almeida, F. (2008). Parámetros genéticos para la producción de leche del día del control en vacas mambí. *Agrociencia*, 42(2), 157-163.
- Pereira, R. J., Ayres, D. R., Santana, M. L., Faro, L. E., Vercesi, A. E., y Albuquerque, L. G. D. (2019). Test-day or 305-day milk yield for genetic evaluation of Gir cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54.
- Portales, A., González-Peña, D., Guerra, D., y Ortiz, J. (2007). Genetic parameters for first calving reproductive traits in the Siboney de Cuba genotype. *Ciencia y Tecnología Ganadera*. 3 (18).
- Schaeffer L, Jamrozik J, Kistemaker J, Van Doormaal B. (2000). Experience with a Test-day model. *J. Dairy Sci*, 83: 1135-1144.
- Schaeffer, L. R., y Jamrozik, J. (1996). Multiple-trait prediction of lactation yields for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 79(11), 2044-2055.
- Sewalem, A., Miglior, F., y Kistemaker, G. J. (2011). Genetic parameters of milking temperament and milking speed in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 512-516.
- Simo, D., Mura, L., y Buleca, J. (2016). Assessment of milk production competitiveness of the Slovak Republic within the EU-27 countries. *Agricultural Economics*, 62(10), 482-492.
- Singh, A., Singh, A., Singh, M., Prakash, V., Ambhore, G. S., Sahoo, S. K., y Dash, S. (2016). Estimation of genetic parameters for first lactation monthly test-day milk yields using random regression test day model in Karan fries cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(6), 775.
- Swalve H. (2000). Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluations methods. *J Dairy Sci*, 83:1115-1124.
- Tonhati, H., Cerón-Muñoz, M. F., Oliveira, J. A. D., El Faro, L., Lima, A. L. F., y Albuquerque, L. G. D. (2008). Test-day milk yield as a selection

- criterion for dairy buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Genetics and Molecular Biology*, 31, 674-679.
- VanRaden, P. M., Sanders, A. H., Tooker, M. E., Miller, R. H., Norman, H. D., Kuhn, M. T., y Wiggans, G. R. (2004). Development of a national genetic evaluation for cow fertility. *Journal of dairy science*, 87(7), 2285-2292.
- Vasconcelos, J., Martins, A., Retim-Batista, M., Colaco, J., Blake, W. y Carvalheira, J. (2004). Prediction of daily and lactation yields of milk, fat, and protein using autoregressive repeatability test day model. *J Dairy Sci*, 87: 2591-2598.
- Vergara, O. D., Elzo, M. A., y Cerón-Muñoz, M. F. (2009). Genetic parameters and genetic trends for age at first calving and calving interval in an Angus-Blanco Orejinegro-Zebu multibreed cattle population in Colombia. *Livestock Science*, 126(1-3), 318-322.
- Wilmink JM. (1987). Efficiency of selection for different cumulative milk, fat and protein yields in first lactation. *Livest Prod Sci*, 17(3):221-228.
- Zambrano, J. C., Rincón, J. C., y Echeverri, J. J. (2014). Genetic parameters for production and reproduction traits in Colombian Holstein and Jersey cattle. *Archivos de Zootecnia*, 63(243), 495-506.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN GENÉTICA EN BOVINOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE TOTAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL

La correcta estimación de la valoración y del parámetro genético de los animales consiste en el seguimiento y consideración de los factores que sean planteados y que puedan ser incorporados en los modelos de evaluación. Para el ganado lechero, la inclusión de las diferentes lactancias, como medida repetitiva de una misma característica, supone que la etapa de la lactancia está influenciada por el mismo conjunto de genes y efectos sistemáticos (Gebreyohannes, 2013; Hernández *et al.*, 2011; Meseret y Negussie, 2017).

Sin embargo, existen factores medio ambientales que afectan el desempeño genotípico de los animales en puntos específicos de la lactancia y de la vida del animal; se pueden presentar factores sistemáticos o situaciones específicas que no son considerados en los modelos tradicionales de evaluación genética para la producción de leche total. Por consiguiente, las diferentes metodologías de evaluación genética en animales domésticos lecheros buscan soluciones a problemáticas, como:

- Mayor confiabilidad en la estimación de los factores ambientales que afectan la PL en periodos parciales (controles lecheros) o específicos de vida del animal.

- Inclusión de hembras jóvenes en las evaluaciones genéticas, que no hayan terminado su lactancia, evitando el empleo de factores de ajuste o aproximaciones basadas en datos fenotípicos.
- Incluso datos fenotípicos reales y no estimados/ajustados de los mismos y que posteriormente puedan ser incluidos en las evaluaciones genéticas.
- Permitir la inclusión de lactancias incompletas o con pérdida de datos en las evaluaciones, entre otras.

La gestión para la toma de decisiones en el manejo del rebaño y la selección de reproductores en ganado lechero se ha basado en la selección de la PL para el cálculo de la producción de leche total (PLT305) realizado mediante la sumatoria de las PL diarias y por medio de factores de ajuste cuando la lactancia de un animal es corta o incompleta. Además, diversos estudios han sugerido que lactancias incompletas de una o varias hembras puedan ser extendidas mediante el uso de métodos de extrapolación/interpolación de datos de producción lechera, por medio de funciones de regresión, obteniendo de una forma aproximada la producción de leche total (PLT). Sin embargo, Congleton y Everett (1980) concluyeron que es improbable aplicar esta metodología en la evaluación genética de hembras en producción, debido a errores de predicción y estimación en las producciones ajustadas a los 240, 270 y 305 días de lactancia, principalmente en vacas con registros de informaciones con periodos menores a 150 días.

En este sentido, las metodologías tradicionales más empleadas en la evaluación genética en ganado lechero, presentan algunas limitantes y desventajas como altos costos en el servicio de control lechero, bajo número de datos para hembras jóvenes, problemas en la corrección en registros para los efectos sistemáticos y ambientales, antes de agregarlos en los cálculos de producción total, problemas de factores de ajuste para lactancias incompletas (Ptak y Schaeffer, 1993; Singh *et al.*, 2016; Jones y Goddard, 1990). Por otro lado, en las metodologías bioestadísticas para la descripción de la trayectoria de la curva de la lactancia en ganado lechero pueden ser empleadas funciones de regresiones lineales o no lineales, las cuales permiten cuantificar las variaciones de la productividad lechera en un determinado punto de la lactancia. Siendo que los parámetros que describen estas funciones pueden ser estimados para cada animal o un grupo de animales, además, la trayectoria

incompleta de una hembra puede ser extendida, mediante la extrapolación de los datos de producción, por medio de funciones de regresiones lineales o no lineales, ganando de forma aproximada la producción total.

Uno de los problemas en el empleo de los factores de ajuste, es que estos no consideran la variabilidad para la PL a lo largo de la curva de la lactancia de un animal o un grupo de animales, por consiguiente, no se tienen en cuenta algunas variaciones genéticas en la PL (Shahrbabak, 1997). En este sentido, Jones y Goddard (1990) emplearon factores de ajuste en datos de PL, antes de agregarlos a los cálculos de PLT305, presentando una disminución considerable en la varianza residual. Consecuentemente, reportaron la necesidad de emplear los factores de corrección en lactancias con registros de PL cortos o incompletos. Así mismo, Ptak y Schaeffer (1993) y Singh *et al.* (2016) reportaron desventajas en el empleo de la producción de leche total o en otras fases del cálculo total de la PLT240, PLT270, PLT305 para la evaluación genética de animales, entre ellas:

- Altos costos en el servicio de control lechero a lo largo de la lactancia.
- Escaso número de datos (controles lecheros) para hembras jóvenes.
- Exclusión de lactancias cortas o incompletas (lo cual puede causar errores en la evaluación de los animales, debido a la selección de los datos).
- Aumento del intervalo generacional y menor ganancia genética.
- Dificultad en la consideración de efectos ambientales que influyen sobre la PL en ciertos periodos de la lactancia
- Empleo de factores de ajuste para lactancias en desarrollo.

2.1. Metodología para producción de leche en día del control en animales domésticos lecheros

De forma general, existen numerosos procedimientos y metodologías para la colecta de información en los programas de control lechero, los cuales son definidos en estrategia conjunta entre el empresario y el profesional que gestionan el hato lechero. El cálculo de la PL requiere de numerosas funciones matemáticas de tipo lineal y polinomial, exponenciales negativos, y los no lineales, siendo estos últimos los que mejor ajuste presentan, que

permiten describir la trayectoria de la producción de un animal a través de la lactancia con diferentes grados de ajuste. La ecuación más ampliamente utilizada es la función gamma incompleta propuesta por Wood (1967). Sin embargo, han sido empleadas otras funciones no lineales en las cuales se han demostrado excelentes ajustes en la trayectoria de la producción en animales domésticos. Los modelos matemáticos aplicados en las curvas de lactancia muestran variación genética debido a las características de importancia económica, lo cual ha sido de interés para productores y profesionales del sector agropecuario. La cuantificación de esta variación genética permite realizar la selección de animales para estas características (Tekarli *et al.*, 2000; Rodríguez *et al.*, 2005; Cañas *et al.*, 2012). De acuerdo con Rennts (1996), los métodos PDC fueron definidos como procedimientos metodológicos y estadísticos que consideran efectos específicos en cada registro de control de leche, ya que cada animal se encuentra afectada por factores genéticos, ambientales y de manejo que varían a lo largo de la lactancia.

La metodología para la PDC no requiere realizar trabajos adicionales para la toma de los registros del control lechero y/o registro genealógico, por consiguiente, permiten una mayor flexibilidad en la recolección y gestión de los datos zootécnicos y fenotípicos cuando es comparada con la metodología para la producción de leche total y PLT305.

De acuerdo con Firat *et al.* (1997) y Pander *et al.* (1992) la metodología PDC es definida como la sumatoria de los registros de la PL de un individuo comprendida en un periodo de 24 horas. En este sentido: en las explotaciones lecheras, las hembras son ordeñadas una, dos o tres veces al día, en función del nivel de manejo establecido para el hato lechero. Cuando esto no sucede, la PL es ajustada a dos ordeños, de tal forma que todos los animales posean una misma base de comparación para la futura selección de los reproductores (Wilmink, 1987; Firat *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 2019; Tonhati, 2002; Hurtado-Lugo *et al.*, 2006; Gutiérrez-Valencia *et al.*, 2006). Además, es importante definir el número de controles a lo largo de la lactancia, los cuales son realizados en base a intervalos de días existentes entre un control y el siguiente y, así este intervalo sirve para modelar de la forma más exacta la curva de lactancia de una hembra en producción (Ali y Schaeffer, 1987).

Diferentes investigadores presentaron propuestas de clasificación para definir el número de días entre los controles de PL. En este sentido, Kachman

y Everett (1989); Wilmink (1987); Martínez *et al.* (2019) sugirieron intervalos aproximados de 30 días entre controles. Mientras, Pander *et al.* (1992) consideraron que el primer control de los pesajes de leche fuera realizado del 4 al 15 día postparto y para controles consecutivos (desde el 2 mes hasta el 10 mes de la lactancia) con intervalos de 20 a 50 días. Alternativas similares fueron empleadas por Jamrozik y Scheaffer (1997); El Faro (2002) y Jamrozik *et al.* (2004) trabajando con intervalos aproximados entre controles de 20, 15 y 10 días, respectivamente. Sin embargo, uno de los problemas para los análisis de los datos fue la gran cantidad de intervalos de días a ser considerados. Melo *et al.* (2005) reportó que los pesajes realizados en el primer intervalo fueron considerados como el primer control; en el segundo intervalo, como el segundo control. Así sucesivamente, hasta el décimo control. Este autor consideró clases con intervalos iguales a 30 días entre controles, realizado con el fin de obtener una mayor uniformidad en los controles de producción de leche (PL). Se trabajó con los controles de pesajes hasta el décimo control, argumentando estudiar únicamente los diez primeros controles durante la lactancia y la PL hasta 305 días. Además, los controles posteriores al décimo control fueron eliminados, justificando que el objetivo del trabajo era estudiar los diez primeros controles y PLT305 en primeras lactancias de vacas Holstein.

Sin embargo, es necesario considerar que en los tipos de análisis a ser realizados en los modelos de la PDC pueden ser ajustados conforme la equidistancia o no equidistantes de los registros de producción entre controles. En este sentido, Swalve (1995a y 1995b) concluyeron que, con intervalos fijos de 30 días en modelos de repetibilidad, ocurre una significativa reducción en la estimativa del componente de varianza residual. Así mismo, Gupta *et al.* (2020) reportaron que intervalos equidistantes entre días de control, permiten una disminución en la varianza residual, presentando por consiguiente un aumento en la varianza genética, cuando son comparados con intervalos no equidistantes. Además, esta forma de agrupar los controles de PL (equidistantemente), proporcionó una reducción de la varianza total y, por consiguiente, un aumento en la estimativa de heredabilidad. En este sentido, Yamazaki *et al.* (2016) dentro de su investigación estudiaron los efectos de la etapa de la gestación sobre las estimativas de los componentes variación genética y fenotípica de la producción diaria de leche y la PLT305, durante las tres primeras lactancias de las vacas Holstein, usando un modelo PDC de regresión aleatoria en modelos univariantes.

Una de las desventajas de la metodología PDC en comparación a las metodologías tradicionales es que requiere de un mayor tiempo y capacidad computacional para la realización de los análisis de la información. Sin embargo, Wiggans y Goddard (1997) propusieron métodos estadísticos alternativos, con el fin de disminuir la demanda y requerimiento computacional en las evaluaciones genéticas para la PDC para análisis uni o multivariantes, fijando controles mensuales (desde el primer hasta el décimo control), con intervalos fijos de 30 días, donde a partir del quinto día en el postparto. Los autores sugirieron que informaciones repetidas de un mismo animal y/o cuando se hallen dos o más datos en un mismo intervalo de días (cada 30 días); uno de estos registros debería ser transferido al siguiente intervalo de días con el fin de evitar este tipo de problemas en la transferencia de datos entre un intervalo de días y el siguiente, consecuentemente el intervalo entre controles fue disminuido a 20 días.

2.1.1. Clasificación de los modelos PDC

Las metodologías PDC han sido estudiadas en diferentes aspectos bioestadísticos, siendo clasificados como PDC ordinarios (PDCO) o de dimensión finita y de dimensión infinita (PDCI), o más conocidos como modelos de regresión aleatoria (MRA).

En la metodología estadística para la PDC se puede implementar el uso de regresiones fijas y aleatorias, conforme a la necesidad y uso de los valores de cría en los hatos. En este sentido, dentro de los modelos PDCI pueden ser empleado los coeficientes de regresión aleatoria para modelar de una mejor forma la trayectoria de la producción. Estos coeficientes fueron propuestos inicialmente por Henderson (1982) y Henderson (1984). La inclusión de estos coeficientes de regresión dentro de los modelos de evaluación genética, que evalúan la trayectoria de la producción, permiten obtener valores genéticos para un determinado punto (control) en la curva de la lactancia de una hembra.

Diferentes estudios realizados en bovinos lecheros, han sugerido que las funciones de covarianza (FC) y los MRA han sido propuestos como alternativa para modelar características que se repiten o tienen medidas repetidas en el tiempo, ya que se pueden predecir valores de cría para un

punto determinado o para la totalidad de la curva de lactancia (Morales *et al.*, 2012; Corrales, Ramírez y Cerón, 2016).

2.1.1.1. Modelos PDC ordinarios o de dimensión finita

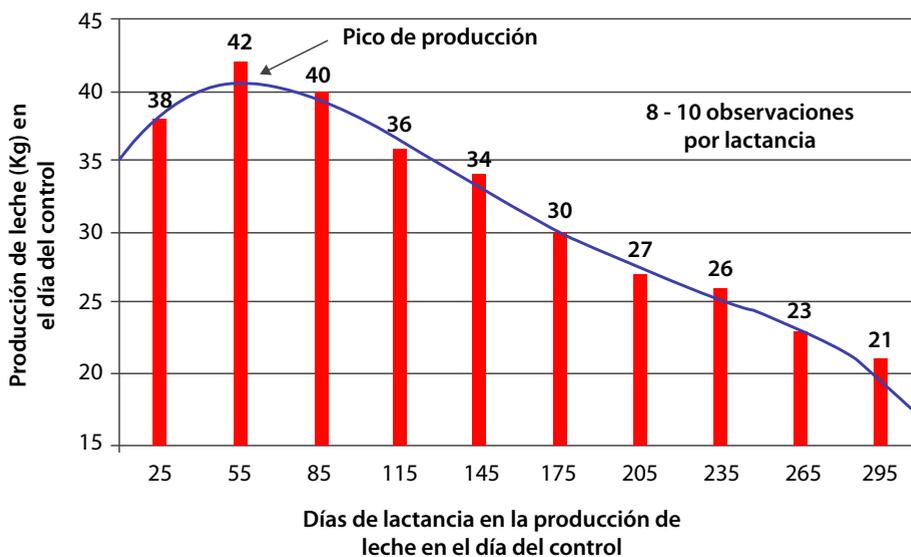
Los modelos PDC ordinarios (PDCO), también denominados ‘modelos de repetibilidad’, consideran a cada control lechero como una observación separada e independiente a lo largo de la lactancia de una hembra y, posteriormente, la inclusión de estas informaciones fenotípicas para la realización de su evaluación genética. Estos modelos PDCO, emplean medidas repetidas (control lechero) de la lactancia de un mismo animal, asumiendo estructuras unicaracterísticas, con varianzas homogéneas a lo largo de la trayectoria de la producción de leche y correlaciones genéticas y fenotípicas altas y positivas entre controles (El Faro, 2002). Además, la PDCO permite acelerar el proceso y gestión logística y económica de la evaluación genética en ganado lechero, de manera que se hace innecesario esperar a que termine la lactancia de una hembra para que esta sea incluida en las evaluaciones. Este hecho permite disminuir los errores en la estimación de los componentes de (co)varianza y por consiguiente los valores genéticos predichos de los animales dentro de la evaluación genética presentarán una mayor confiabilidad (Powell y Norman, 1981; Singh *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2004; Swalve, 1995a). Así mismo Jamrozik y Scheaffer (1997) reportaron algunos problemas con modelos PDCO, entre ellos: la cantidad y disponibilidad de características de importancia económica a ser consideradas en análisis multicaracterísticos, el tiempo computacional requerido para la estimación de los componentes de (co)varianza, igualmente no se tiene en cuenta la trayectoria de la curva de lactación.

Por otro lado, los modelos PDCO, como herramienta de gestión dentro de los hatos y de los programas de control lechero, permiten realizar un seguimiento continuo y preciso en los registros zootécnicos de producción, ya que el conocimiento del número de controles lecheros permite observar el desempeño de la PL en un determinado periodo y/o intervalo de tiempo, de esta forma se tiene en cuenta la persistencia de una hembra. En este sentido, varios investigadores han reportado que los indicadores de persistencia se dividen en tres grupos: medidas fenotípicas expresadas como intervalos de producción de leche; medidas fenotípicas obtenidas de cambios en la producción del día del pesaje; y parámetros estimados con base en modelos

matemáticos, para medir el fenotipo de lactancia (Condo *et al.*, 2021; Elahi, *et al.* 2018).

La persistencia en animales lecheros es considerada una de las características que definen la forma de la curva de la lactancia y que se encuentra altamente correlacionada con la PL al inicio de la lactancia, además de ser un indicador proporcional a la rentabilidad y retorno económico de un animal con respecto a sus contemporáneas. La hembra que es más persistente se encuentra sometida a un menor estrés, presentando una mejor condición corporal, en comparación con una hembra que tienen altas producciones al momento del pico de producción. Esto quiere decir que animales con una mayor persistencia en las primeras lactancias no alcanzan volúmenes de producción óptimos en el pico de producción (Figura 1), pero mantienen una producción más pareja a largo de la lactancia.

Figura 1. Producciones de leche en el día del control (PDC) en Kg en los diferentes meses de lactancia



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la persistencia en la PL indica a los empresarios y profesionales del sector, la necesidad de hacer cambios en el plan de manejo en función de su edad y grupo de manejo, alimentación y condiciones generales de bienestar animal.

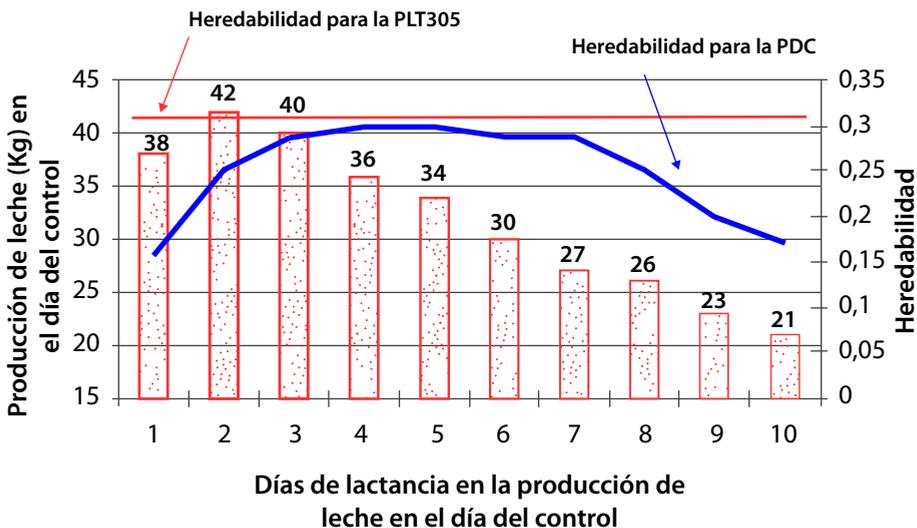
Jakobsen *et al.* (2002) y Corrales *et al.* (2016) consideraron que la trayectoria de la lactancia que presenta una producción más constante sería lo deseable desde el punto de vista económico y, además, desde el punto de vista fisiológico ayuda a mantener la salud de las vacas lecheras. Autores como Strabel y Misztal (1999), López *et al.* (2009), Herrera *et al.* (2011), Herrera *et al.* (2013), Jakobsen *et al.* (2002), Cobuci *et al.* (2004) y Corrales *et al.* (2016) han definido la persistencia como la pendiente de la curva de lactancia después del rendimiento de leche al pico y esto depende especialmente de la variación fenotípica y la producción hasta el último tercio de lactancia.

Se ha sugerido que las vacas lecheras, que presentan mayores niveles de persistencia, presentan bajos niveles de estrés fisiológico, reduciendo así los problemas reproductivos y enfermedades metabólicas, lo cual atribuye a una menor necesidad/ingesta de alimento concentrado durante el período de lactancia para producir una determinada cantidad de leche, por lo tanto, se espera que animales persistentes generen mayores tasas de retorno económico (Méndez *et al.* 2019; Muir *et al.* 2004; Appuhamy *et al.* 2007; Condo *et al.* 2021; Weller *et al.* 2006; Elahi *et al.* 2018). Ahora bien, Pereira *et al.* (2019) sugiere que la persistencia puede ser definida como una medida de rendimiento y sustentabilidad en hatos, cuya ventaja es cuantificar el rendimiento lechero en sistemas de producción basados en pastos. Por consiguiente, la persistencia de la producción de leche es aún más importante que el máximo rendimiento de la leche, ya que se encuentra limitado por factores nutricionales y alimenticios. Algunas observaciones en campo realizadas por Santos *et al.* (2013) pudieron sugerir que el rendimiento máximo es aproximadamente 14 kg leche/día para vacas alimentadas con forrajes tropicales y de 30 kg leche/día para las vacas, los cuales reciben suplementos concentrados y pastos tropicales de manejo intensivo. Es posible alcanzar niveles de producción más altos, pero para ello es necesario retirar a los animales de los pastos y utilizar un sistema de cebaderos, al menos durante cierto periodo de lactancia, lo que aumentaría de forma considerable los costos de producción. Consecuentemente, estos autores concluyeron que, para aumentar el rendimiento lechero acumulado sin necesidad de sacar a los animales de los potreros, es necesario aumentar la persistencia, lo cual llevaría a realizar una evaluación genética y posterior selección de animales que presenten una adecuada trayectoria de la producción conforme a la necesidad real de los sistemas de producción en que se encuentran.

2.1.1.2. Modelos PDC infinitos o de dimensión infinita.

Los modelos PDC infinitos (PDCI), también llamados modelos de Regresión Aleatoria (MRA) o (RRM), consideran la forma de la curva de lactancia y analizan los controles por medio de una estructura uni o multicaracterística (Aspilcueta-Borquis *et al.* 2013). Permiten la contabilización más precisa de los efectos genéticos y ambientales en las diferentes etapas de la lactancia, lo que da lugar a una evaluación genética más viable y posibilita, la estimación de parámetros genéticos en determinados puntos de la curva de la lactancia (Figura 2), por medio de interpolaciones de datos de control lechero para la estimación de funciones económicas como la persistencia y la producción de leche total (Schaeffer y Dekkers, 1994; Jamrozik *et al.* 1997b; Schaeffer *et al.* 2000; Jensen, 2001; Schaeffer, 2004; Li *et al.* 2020).

Figura 2. Heredabilidad para la producción de leche en el día del control (PDC) y para la producción de leche a 305 días de lactancia



Fuente: elaboración propia.

Los MRA permiten ajustar los efectos ambientales de los registros de PDC simultáneamente a la modelización de las curvas de lactancia para cada animal, expresados como desvíos de una curva media de la población o de un grupo de individuos y son ajustados en función del periodo de lactancia, lo que permite realizar evaluaciones genéticas más precisas en comparación con la producción acumulada en 305 días e implica un alto número de

parámetros que deben ser estimados mediante polinomios ordinarios, funciones lineales, modelo de Woods, la función de Wilmink, la función de Spline, la función de polinomio de Legendre (LP) y modelaciones para la media poblacional (regresiones fijas) y para cada animal (regresiones aleatorias) demostrando el comportamiento de las PL en los días de prueba para elegir el orden óptimo de los PDC en el modelo. La elección del orden de ajuste depende en gran medida de las estructuras de datos y las poblaciones prácticas (Wood, 1967; Wilmink, 1987; White *et al.* 1999; Kirkpatrick *et al.* 1990; Reinhardt *et al.* 2002; Mrode *et al.* 2003; Li *et al.* 2020).

Así mismo, cuando se dispone de pocos registros por animal, incluso en poblaciones con una alta frecuencia de rebaños pequeños, pueden aparecer problemas de estimación de parámetros. Para reducir al mínimo estos efectos, en varios estudios se ha adoptado un mínimo de cinco registros de PDC por animal, lo que implica la utilización de información sobre pérdidas para las evaluaciones genéticas. Además, los PDCI consideran la estructura de covarianzas para los efectos genéticos aditivos, de ambiente permanente y estructuras de heterogeneidad para las varianzas genéticas, de ambiente permanente y residuales (Oliveira *et al.* 2019; Padilha *et al.* 2016; Schaeffer *et al.* 2000; Scheaffer, 1996; Meyer, 2005; Misztal, 2006; Konstantinov, Nieuwhof y Hancock, 2015; Siquiera *et al.* 2017; Silva *et al.* 2020). A su vez, Li *et al.* (2020) investigó el impacto de la orden de los LP sobre la estimación de los parámetros genéticos y la predicción de los valores de cría para características de rendimiento lechero en poblaciones de ganado numéricamente pequeñas, con el fin de encontrar ordenes adecuadas de LP. Sugirieron que el ajuste aumentó con el aumento del orden del LP, al usar modelos con orden de LP superior a tres y que los modelos PDC de RRM, que utilizan LP3 o LP4, parecen ser los modelos apropiados para la aplicación de la evaluación genética en diferentes poblaciones chinas de Holstein. Sin embargo, es necesario considerar las implicaciones en el incremento de las ordenes de los LP, debido a que el incremento del orden de estos derivarían en incrementos de los parámetros de los modelos considerados y, por consiguiente, una gran cantidad de parámetros en los RRM podrían generar confusión en los resultados debido a una inadecuada interpretación biológica de los parámetros y modelos empleados.

Por otro lado, los modelos MRA asumen que la estructura de (co)varianza entre las medidas repetidas es estructurada y no constante. Por consiguiente,

las estructuras de (co)varianzas fenotípicas, genéticas y residuales entre las diferentes medidas pueden ser consideradas mediante una función de (co)varianzas. Además, la estructura de (co)varianzas genéticas y fenotípicas son necesarias para predecir los valores genéticos de la cría y así realizar selección de los futuros reproductores en programas de mejoramiento sobre características de interés productivo (Hofer, 1998; Hansen, 2000; Toledo *et al.* 2014). En este sentido, los MRA permiten medir fácilmente la persistencia, siendo un indicador de eficacia para los estudios genéticos de los rasgos productivos de diversas razas lecheras. Incrementan la precisión de las predicciones del valor de cría y estudian los cambios en los registros de la producción de leche en el día del control a lo largo del tiempo, permitiendo una comprensión genética de la trayectoria de la curva de la lactancia (Pereira *et al.* 2019; Damane *et al.* 2016; Meseret y Negussie, 2017). Así mismo, posibilitan la estimación de parámetros genéticos en determinados puntos de la curva de la lactancia, por medio de interpolaciones de datos de producción para funciones económicas (persistencia y PLT), basados en la sumatoria de valores fenotípicos y/o genéticos diarios o por medio de integrales de la función de la regresión empleada, calculada sobre la curva de la lactancia (Scheaffer, 1996).

El uso de coeficientes de regresión aleatoria en la metodología de MRA fue propuesto inicialmente por Henderson (1950) y Henderson (1984). La inclusión de estos coeficientes de regresión dentro de los modelos de evaluación genética permite obtener valores genéticos precisos para un determinado punto (control) en la curva de la lactancia de una hembra.

Sin embargo, se debe de tener cuidado al emplear MRA, ya que los valores de la variable dependiente que se encuentran en los puntos extremos de la curva pueden presentar grandes influencias sobre los regresores, afectando de esta forma las estimativas de los parámetros de las funciones de (co)varianza y de las varianzas residuales en esos puntos (Meyer, 1998). Por consiguiente, los resultados obtenidos para los MRA son dependientes de las diferentes funciones de regresión empleadas de las clases de controles lecheros (formados por clases de días) y de las estructuras de (co)varianza para los efectos genéticos, de ambiente permanente, temporal y residual. En este sentido, Jamrozik y Schaeffer (1997) emplearon la función exponencial de Wilmink (1987a) con el fin de modelar la curva media de la población y las curvas aleatorias referentes a las varianzas genéticas aditiva y de ambiente

permanente. Estos autores estimaron heredabilidades que variaron desde 0,38 en el inicio de la lactancia hasta 0,40 en el día 250 y 0,39 posterior a este día. Sugiriendo algunas alteraciones de los componentes de (co)variancia en el inicio y final de la lactancia.

De forma general, la implementación de las metodologías MRA para la evaluación genética de características de importancia económica, permite eliminar las consideraciones de factores de ajuste para prolongar las lactancias parciales o incompletas, considerar factores específicos para cada día de control lechero, como los grupos de contemporáneos y de manejo dentro de un rebaño, cuantificar más adecuadamente los efectos ambientales, calcular los valores de cría para la persistencia en función de los días en lactancia y permite incrementar la precisión de las evaluaciones genéticas debido a la incorporación de mayor cantidad de información e inclusión de lactancias incompletas (Meyer, 2005; Jamrozik *et al.*, 2004; Boligon *et al.*, 2010a; Boligon *et al.*, 2010b; Santos *et al.*, 2013, Pereira *et al.*, 2019).

2.1.1.3. Modelos Autorregresivos AR.

Los modelos autorregresivos asumen correlaciones genéticas aditivas iguales a uno y particiones del ambiente permanente en dos términos (a largo plazo entre lactaciones y corto dentro de los efectos sistemáticos de la lactancia) al considerar una estructura de (co)varianza de modelo autorregresivo. Así, tiene en cuenta las correlaciones no genéticas debidas al rendimiento del efecto de la repetitividad del evento a lo largo de la lactancia en cada una las vacas. En este sentido, el modelo autorregresivo explica los efectos aleatorios correlacionados de los registros en el día del control, que pueden ser repetidos con menos parámetros en comparación con los modelos de rasgos múltiples o RRM (Carvalho *et al.* 2002; Sawalha *et al.* 2005; Silva *et al.* 2019; Silva *et al.* 2020).

Silva *et al.* (2020) compararon los modelos autoregresión y RRM para múltiples registros en el día del control a lo largo de la lactancia para la producción de leche y recuento de células somáticas en el ganado Holstein, en que determinaron que ante el modelo autorregresivo como el RRM de múltiples características funcionaron y se ajustaron bien a las necesidades de los rebaños, sugiriendo, además, que para las evaluaciones genéticas de producción de leche y el recuento de células somáticas fueran consideradas

múltiples lactaciones comparadas con lactancias únicas. Aunque el modelo autorregresivo presenta ser más parsimonioso, el RRM para múltiples registros asume una correlación genética diferente de la unidad dentro y a través de las lactancias. Por lo tanto, cuando estas correlaciones son relativamente altas, estos modelos tienden a dar lugar a predicciones similares, de lo contrario, diferirán más y el RRM para múltiples registros sería teóricamente más sólido.

2.2. Ventajas de la metodología PDC

Existen considerables ventajas en el empleo de la metodología PDC en comparación con metodologías tradicionales, incluido el cálculo de la PLT y PL305 (Meyer, 1998; Ptak y Schaeffer, 1993; Singh *et al.* 2016), presentándose mayores ventajas para la PDC (Liu *et al.* 2004; Rodríguez *et al.* 2005; Bilal y Khan 2009; López *et al.* 2019), entre las cuales se destacan:

- No sería necesario el empleo de metodologías estadísticas (ajustes) para el cálculo de la PLT 305 y el uso de factores de ajuste.
- Hembras con tres controles lecheros como mínimo, donde podrían ser incluidas en las evaluaciones genéticas, además del uso de registros de animales con lactancias en curso.
- Existe una mayor precisión en la biomodelación para los efectos que interfieren en la PL, tales como: grupo de manejo, número de ordeños, año de parto, edad al parto y condiciones específicas de rebaño que afectan en un punto específico la trayectoria de producción, aparte de incrementar la exactitud de las predicciones o confiabilidad de los resultados de las evaluaciones genéticas.
- Las estimaciones de componentes de (co)variancia y de heredabilidad para las PDC serían iguales o poco menores que para PLT305, presentándose altas correlaciones genéticas, entre ellas Tabla 1 y 2. Se estiman también menores errores estándar, presentándose una mayor intensidad de selección y reducción del intervalo generacional.
- Los costos operativos y logísticos del control lechero en programas de mejora genética son menores.

Además de las anteriores ventajas de la metodología PDC y aunado con los programas de control lechero, se puede realizar seguimiento y control

a factores específicos o sistemáticos que puedan afectar la productividad lechera y de los animales dentro del hato lechero. Para seguir se describen algunos factores:

- **Número de ordeños:** de acuerdo con Damane *et al.* (2016) se dedujo que la frecuencia de ordeño en animales lecheros por día en un sistema de producción lechero puede verse afectada por el número de ordeño por día, en vacas lecheras, demostrando que la producción aumentará entre un 6 y 25 % por lactancia cuando la frecuencia de ordeño aumenta de 2 a 3 veces por día, mientras que el recuento de células somáticas disminuye.
- **Grupo de manejo:** es un factor que determina los grupos representativos para evaluar y comparar el nivel de competitividad de individuos agrupados de forma homogénea. De igual manera, identifica las fortalezas y debilidades de cada clase o estrato y facilita el implementar políticas en pro del desarrollo, dirigidas a diferentes grupos acorde a sus necesidades específicas (Mariscal-Aguayo *et al.* 2016).
- **Año de parto:** Guerra *et al.* (2019) y Contreras *et al.* (2002) reportan en sus estudios que el año de parto afectó significativamente ($P < 0,05$), tanto la PLT como en los primeros días de lactancia. Así mismo Grajales *et al.* (2006) han reportado dicha afectación en vacas mestizas de las razas holstein, pardo suizo y criollo limonero, y que está relacionada con cambios ambientales, tanto en zonas de vida tropical húmedo como seco tropical como a la alimentación y manejo que ocurren de una estación a otra o de un año a otro.
- **Edad al parto:** es definido como el tiempo que tarda un animal en alcanzar la madurez sexual y en reproducirse por primera vez. Refleja la tasa de crecimiento de una hembra y la edad en que llega a la pubertad. El inicio tardío de la pubertad reduce el valor comercial y económico del animal, al disminuir el número potencial de crías y las lactancias que pueda producir en su vida útil. De acuerdo con diferentes estudios realizados, la edad de parto presenta diferencias significativas entre los estratos según la época de nacimiento, el número de lactancias de la madre, la zona ecológica, el año de nacimiento, el tipo de parto de la madre y el coeficiente de endogamia de la vaca (Grajales *et al.* 2006; Hare y Norman, 2006; Salazar *et al.* 2013).

- **La época del año:** definida como el periodo o época seca y de lluvias, la cual es la suma de sucesos meteorológicos y climatológicos que se expresan en tiempos específicos a lo largo del año. De acuerdo con los estudios realizados por Cañas *et al.* (2009), García (2005) y López *et al.* (2006) bajo condiciones tropicales, se encontró que que la época del año influye en la cantidad de leche obtenida por día; la diferencia de 1,0 kg a favor en época seca se atribuyó a que en dicha época se presenta un ambiente fresco con temperaturas cercanas a 21°C y precipitaciones moderadas que favorecieron un confort metabólico y bienestar apropiado para que el animal incrementará la PL.
- **Rebaño:** animales de diferentes razas, ya sean puras o mestizas que conforman un hato lechero (encargados de la producción de leche) (Contexto Ganadero, 2020). Morales *et al.* (2015) en su estudio, evalúan el efecto del tamaño del rebaño en sistemas intensivos referente al bienestar de las vacas lecheras en la región central de Chile, además concluyeron que la CG del BA de las vacas lecheras en sistema intensivo en la región central de Chile no alcanza condiciones de excelencia. En este sentido, el principio de buena alimentación presentó una mejor evaluación respecto al principio de buena relación hombre-animal. Así mismo, afirman que el tamaño del rebaño no afecta el BA del hato lechero en rebaños medianos y pequeños.
- **Factores de ajuste:** según Cerón *et al.* (2005) los efectos ambientales más significativos controlados por factores de ajuste para la producción de leche por lactancia se refieren a rasgos de desempeño de la vaca, como lo son: duración del período seco antes del parto, duración del período de concepción al parto, número de días de lactancia, entre otros. También, se realizan factores de ajuste causados por los efectos en el manejo de la granja o del nivel de producción (número de ordeños por día, sistema de alimentación, sistema de ordeño entre otro) y factores de ajuste debido a los efectos derivados del ciclo de vida de los animales, como la edad y el número de partos. El ajuste de estos efectos disminuye la varianza ambiental, lo que permite realizar comparaciones confiables entre individuos afectados por diferentes condiciones ambientales.

2.3. Desventajas de los modelos PDC

Una de las principales desventajas de la metodología PDC es que requiere de un mayor tiempo y capacidad computacional para la realización de los análisis para la estimación de los componentes de covarianza (Jamrozik y Schaeffer, 1997). Sin embargo, Wiggans y Goddard (1997) propusieron métodos estadísticos con el fin de disminuir la demanda computacional en las evaluaciones genéticas para la PDC, fijando controles mensuales (desde el primer hasta el décimo control) con intervalos fijos de 30 días, a partir del quinto día postparto.

2.3.1. Algunos factores a tener en cuenta en la metodología para la PDC

De acuerdo con lo expresado por Jamrozik y Schaeffer (1997), la PDC puede estar afectada por factores específicos como: manejo del hato, región del país, grupo de manejo dentro del hato, día del año (incluyendo en este las condiciones ambientales), número de lactancias, edad al parto, mes de parto, días en leche, estado de preñez, número de ordeños por día y tratamientos médicos. Sin embargo, entre los factores de mayor importancia que afectan a la PDC se describen a continuación los de mayor relevancia.

2.3.1.1. Efectos ambientales

Leclerc *et al.* (2008) y Yamazaki *et al.* (2016) consideran que los efectos ambientales pueden incorporarse a las estimaciones de los rasgos de producción mediante la inclusión del efecto en un modelo de evaluación genética o mediante el ajuste previo de los registros de los efectos. Danell, (1990) reporta que los efectos ambientales que afectan la PDC no son diferentes de los que afectan a la PLT305. Por consiguiente, Ferreira *et al.* (2002) asegura que los modelos matemáticos para la PDC fueron definidos a partir de los empleados para la PLT 305. Por otro lado, Ptak y Schaeffer, (1993) concluyeron que las diferencias primordiales entre ambos modelos (PLT305 y PDC) se encontraron en la inclusión y la forma como son tratados los efectos asociados a cada control de PL (estado de lactancia, edad de la vaca, estado de preñez, entre otros).

Los factores climáticos como la temperatura, humedad y precipitación, afectan negativamente el comportamiento productivo de las vacas lecheras, generando bajas en la producción y condicionando el manejo de los animales, limitando así la expresión del potencial genético, por lo cual deben de ser considerados en los modelos de evaluación genética (Carvajal *et al.* 2002; Castillo *et al.* 2019).

2.3.1.2. Estadio de lactación

La cantidad de leche que produce una vaca depende del estado de lactación, el cual es determinado por el número de días en producción (NDP). El efecto del NDP se debe de tener en cuenta, ya que estos determinan la forma de la curva de lactación (Ali y Schaeffer, 1987; Jamrozik *et al.* 1997). Estudios realizados en ganaderías lecheras sugirieron que el NDP se puede dividir en clases y considerarse como un efecto fijo en el modelo estadístico para el análisis de la PDC (Keown *et al.* 1986; Schutz *et al.* 1990; Truz y Buttazoni, 1990; Carvalheira *et al.* 1998).

Así mismo, de acuerdo con Kachman y Everett (1989), las mayores fuentes de variación fenotípica en hatos lecheros están dados por efectos como la edad y estadio de lactación. Desde este punto de vista Everett *et al.* (1994) reportaron que el porcentaje de variación total removida en un modelo PDC considerando como efectos la edad y el estadio de lactación fue del 60 % del total de la PL. Además, Meyer *et al.* (1989) y Liu *et al.* (2004) emplearon el NDP como covariables para modelos PDC, lo que permitió disminución de la varianza residual a lo largo de la lactancia.

2.3.1.3 Edad de la vaca

Diferentes investigadores incluyeron el efecto de la edad de la vaca al parto en modelos para el análisis de la PLT305 y en modelos para la PDC (Meyer *et al.* 1989; Ptak y Schaeffer, 1993; Swalve, 1994; Reents *et al.* 1995; Gupta *et al.* 2020). Por otro lado, Meyer *et al.* (1989), Stanton *et al.* (1992) y Strabel y Szwaczkowski (1997) incluyeron el efecto de la edad de la vaca en el día del control (EDPDC) en sustitución de la edad de la vaca al parto (EP), siendo que la inclusión de la EDPDC presentó mayores desventajas con relación a la inclusión de la EP, debido a que esta última solamente es calculada una vez durante la lactancia, en comparación con la EDPDC, la cual es calculada para

cada control lechero. Por consiguiente, la inclusión de la EDPDC requiere de un mayor tiempo y requerimiento computacional para la realización de los análisis estadísticos (Stanton *et al.* 1992).

2.3.1.4 Hato, año y época de parto

La influencia de los efectos del rebaño, año y época de parto y sus interacciones son los principales efectos ambientales que afectan la PL. Sin embargo, es de gran importancia considerar sus interacciones, ya que, mediante la interacción de estos efectos, se definen los grupos contemporáneos como el hato, año, época de parto y cuál es su efecto sobre la PL a lo largo de la lactancia (Ferreira *et al.* 2002). De forma similar que, en la PLT305, se debe considerar el efecto del hato, año, época de parto, como efectos independientes en los modelos para la PDC (Ptak y Schaeffer, 1993; Rekaya *et al.* 1995; Swalve, 1995a y Melo *et al.* 2005).

La formación e inclusión de grupos hato, año, control en sustitución de grupos hato, año, época de parto, permite comparaciones más precisas entre hembras contemporáneas, además se observó una reducción en la varianza residual y un aumento en la varianza genética, presentándose un aumento en la estimativa de heredabilidad para la PL (Swalve, 1995a; Meyer *et al.* 1989; Van Tassel *et al.* 1992; Swalve, 1995a y Ptak y Schaeffer, 1993).

2.3.1.5. Número de ordeños

En ganado lechero especializado el intervalo de ordeño debe realizarse por lo menos dos veces al día de 10-14 h y 12-14 h, mientras que al hacerlo una vez al día o saltarse el ordeño puede incrementar problemas de salubridad, como el aumento en recuento de las células somáticas y por consiguiente la mala salud de la ubre (Erdman y Varner 1995; Damane *et al.* 2016).

2.3.1.6 Manejo de hato

En vacas especializadas de la raza holstein, considerando la producción de la primera lactancia (PPL) y en sistemas intensivos con manejo especializado, los animales produjeron 213,9 kg más de leche en su primera lactancia que en las vacas con una crianza promedio media, y 1132,7 kg más que las de sistemas de manejo general y no especializado. En la raza jersey fue observada una tendencia similar, considerando que las terneras procedentes

de sistemas de crianza más eficiente y especializado presentaron 2503 kg de leche, más que las criadas en sistemas deficientes y no especializado. Castillo *et al.* (2019) concluyeron que los procesos de manejo e infraestructura al interior de los sistemas de producción pueden ser caracterizados como factores modificables (prácticas de salud, alimentación y características del alojamiento), y que influyeron directamente sobre el desempeño de la PPL. Por consiguiente, las informaciones disponibles de variables zootécnicas permiten realizar cambios de forma rápida en la modelación y metodologías de evaluación genética, para corregir errores y evitar impactos negativos sobre el desempeño productivo de las vacas lecheras y de esta forma incrementar la eficiencia de los sistemas lecheros.

En conclusión, de forma general en los modelos PDC para evaluaciones genéticas, pueden ser considerados efectos inherentes a cada control, durante la lactancia de un animal. Por consiguiente, para una mayor precisión en la evaluación genética es de vital importancia registrar todos los eventos zootécnicos (productivos y reproductivos) ocurridos a lo largo de la vida de un animal y de una hembra durante la lactancia. Así, con informaciones disponibles sobre los animales en un determinado día, estas informaciones pueden ser incluidas en la modelación para la PDC (Ferreira *et al.* 2002). Diferentes investigadores incluyeron otras variables zootécnicas, con el fin de observar su impacto sobre la productividad de los individuos, entre ellos: Van Tassel *et al.* (1992) realizaron ajustes en los controles mensuales de PL basados en el número de días en gestación. Por otro lado, Truz y Buttazoni (1990) emplearon el estado de preñez (preñado y no preñada) en controles lecheros mediante una regresión sobre días en gestación. Danell (1990) incluyó dentro del modelo de PDC, el efecto de la época de edad al servicio. Finalmente, Reents *et al.* (1995) incluyeron el orden de parto como efecto fijo dentro de modelos PDC, en donde fueron consideradas varias lactancias de un mismo animal.

Referencias

- Ali T. y Schaeffer L. (1987). Accounting for (Co) variances among test day milk yields in dairy cows. *Can J Anim*, 67 (3): 637 – 642.
- Appuhamy, J., Cassell, B. G., Dechow, C. D., y Cole, J. B. (2007). Phenotypic relationships of common health disorders in dairy cows to lactation persistency estimated from daily milk weights. *Journal of dairy Science*, 90(9), 4424–4434.
- Aspilcueta-Borquis, R., Araujo, F., Baldi, N. Hurtado-Lugo, G., de Camargo, M. Muñoz-Berrocal, H. (2013). Multiple-trait random regression models for the estimation of genetic parameters for milk, fat, and protein yield in buffaloes. *J. Dairy Sci.*, 96;5923-5932. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6023>.
- Bilal G. y Khan M. (2009). Use of test-day milk yield for genetic evaluation in dairy cattle: A review. *Pakistan Veterinary Journal*, 29(1): 35-41. http://pvj.com.pk/pdf-files/29_1/35-41.pdf
- Boligon A., Albuquerque L. G. (2010a). Study of relations among age at first calving, average weight gains and weights from weaning to maturity in Nellore cattle. *Rev Bras Zootec*, 39, 746-751.
- Boligon A., Silva J., Sesana R., Sesana J., Junqueira J., Albuquerque L. (2010b). Estimation of genetic parameters for body weights, scrotal circumference, and testicular volume measured at different ages in Nellore cattle. *J Anim Sci*, 88, 1215-1219
- Cañas J. A, Cerón-Muñoz M, Corrales J. A. (2012). Modelación y parámetros genéticos de curvas de lactancia en bovinos Holstein en Colombia. *Revista Mvz Córdoba*, 17(2). <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v17n2/v17n2a07.pdf>
- Cañas, J. J., Restrepo, L. F., Ochoa, J., Echeverri, A., y Cerón-Muñoz, M. (2009). Estimación de las curvas de lactancia en ganado Holstein y BON x Holstein en trópico alto colombiano. *Revista lasallista de investigación*, 6(1), 35-42.

- Carvajal-Hernández, M, Valencia-Heredia, E. y Segura, J. (2002). Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el Estado de Yucatán, México. *Revista biomédica*, 13.
- Carvalho J., Blake R. W., Pollak E. J., Quass R. L. y Duran-Castro C. V. (1998) Application of an autoregressive process to estimate genetic parameters and breeding values for daily milk yield in a tropical herd of Lucerna Cattle and in United States Holstein herds. *J Dairy Sci*, 81:2738-2744
- Carvalho, J., Pollak, E. J., Quaas, R. L., y Blake, R. W. (2002). An autoregressive repeatability animal model for test-day records in multiple lactations. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 2040-2045.
- Castillo, G., Vargas B., Hueckmann, F. y Romero, J. (2019). Factores que afectan la producción en primera lactancia de vacas lecheras de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 30. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33430>
- Cerón, M., Tonhati, H., Costa C., Solarte, C., y Benavides. O. (2005). Factores de ajuste para producción de leche en bovinos Holstein colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 26-32. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295026121004.pdf>
- Cobuci J. Á., Euclides, R. F., Costa, C. N., Lopes P. S., Torres, R. D. A., y Pereira, C. S. (2004). Análises da persistência na lactação de vacas da raça Holandesa, usando produção no dia do controle e modelo de regressão aleatória. *Revista Brasileira Zootecnia*, 33, 546-554.
- Condo-Plaza, L. A., Reyes-Silva, F. D., Chávez-Cossío, J. F., y Marini, P. R. (2021). Persistencia de la lactancia en vacas Holstein mestizas en la sierra ecuatoriana. *Dominio de las Ciencias*, 7(6), 988-1003.
- Congleton WR, Everett RA (1980). Applications of the incomplete gamma function to predict cumulative milk production. *J. Dairy Sci*, 63: 109-119
- Contreras, G., Zambrano, S., Pirela, M. F., Abreu, O. y Cañas, H. (2002). Factores que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero x Holstein. *Revista Científica, FCV-LUZ*, XII(1), 15-18. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14815>

- ¿Conoce cuáles son los factores que influyen en la producción de leche? (2020). *Contexto ganadero*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conoce-cuales-son-los-factores-que-influyen-en-la-produccion-de-leche>
- Corrales-Álvarez J. D., Ramírez-Arias J. P. y Cerón-Muñoz M. F. (2016): Caracterización genética de la curva de lactancia a partir de un modelo de regresión aleatoria en bovinos Holstein de Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 28(74). <http://www.lrrd.org/lrrd28/5/cero28074.html>
- Damane, M., M., Fozi, M., A. y Mehrgardi, A. (2016). Influence of milking frequency on genetic parameters associated with the milk production in the first and second lactations of Iranian Holstein dairy cows using random regression test day models. *Revista de ciencia y tecnología animal*, 58(5). <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0087-3>
- Danell, B. (1990). Genetic aspects of different parts of lactation. Proc. 4th World Congress. *Genet*, XIII, 114-117.
- El faro, L. (2002). *Estimação de componentes de (Co) variância para produção de leite no dia do controle de primeiras lactações de vacas Caracu, aplicando-se “test-day models” de dimensão finita e modelos de regressão aleatória*. [Tese doutorado em Zootecnia]. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Elahi, M., y Hosseinpour, M. (2018). Estudio de la persistencia del rendimiento de la leche utilizando las metodologías de predicción y regresión aleatoria en vacas lecheras Holstein iraníes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(2), 127-139. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802018000200127&lng=es&tylng=es
- Erdman, R. A., y Varner, M. (1995). Fixed yield responses to increased milking frequency. *Journal of dairy science*, 78(5), 1199-1203.
- Everett, R., Schmitz, F., y Wadell, L. (1994). A test-day model for monitoring management and genetics in dairy cattle. *J. Dairy Sci*, 77(1), 267.

- Ferreira, W. J., Teixeira, N. M., Torres, R. A., y Silva, M. V. G. B. (2002). Utilização da produção de leite no dia do controle na avaliação genética em gado de leite-Uma revisão. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 10, 46-53.
- First, M., Theobald, CM. y Thompson, R. (1997). Univariate analysis of test day milk yields of British Holstein-Friesian Heifers using gibbs sampling. *Acra Agric. Scand*, 47(4): 213-220.
- García C., R. 2005. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Gebreyohannes, G., Koonawootrittriron, S., Elzo, M. y Suwanasopee, T. (2013). Fitness of lactation curve functions to daily and monthly test-day milk data in an Ethiopian multi-breed dairy cattle population. *Kasetsart Journal - Natural Science*. 47(1): 60-73.
- Grajales, H., Hernández, A. y Prieto, E. (2006). Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 18 (10). <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/graj18139.htm>
- Guerra, R., Menéndez, A., y Hernández, A. (2019). Influencia de factores ambientales en la producción de leche de dos rebaños holstein en la cuenca lechera de Chiriquí, *Investigaciones agropecuaria*. 2. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/222/222973002/222973002.pdf>
- Gupta, R., Sahoo, S., Kaur, S., Dash, S., y Malhotra, P. (2020). Modeling lactation curve for test day milk yields in Holstein Friesian crossbred cattle. *International Journal of Livestock Research*, 10, 31-36.
- Gutiérrez-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. *Rev Livestock Research for Rural Development*, 18. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/4/guti18050.htm>

- Hansen, L.B. (2000). Consequences of Selection for Milk yield from a geneticist's viewpoint. *J Dairy Sci*, 83:1145-1150.
- Hare, E., Norman, H., y Wright, J. (2006). Trends in calving age and calving intervals for Dairy cattle breeds in the United States. *J. Dairy Sci.* 89(1):365-370.
- Henderson, C. (1982). Analysis of covariance in the mixed model: higher-level, nonhomogeneous, and random regressions. *Biometrics*, 38(3), 623-640. doi:10.2307/2530044
- Henderson, C.R. (1950). *Estimation of genetic parameters*. In *Biometrics*. 6(2), 186 – 187).
- Henderson, C.R. (1984). *Applications of linear models in animal breeding*.
- Hernández, A., Ponce de León, R., Guerra, D., y García, S. M. (2011). Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en lactancias de vacas Mambí de Cuba. *Archivos de zootecnia*, 60(232), 851-858.
- Herrera A. C., Múnera O. D, and Cerón-Muñoz M. F. (2013). Variance components and genetic parameters for milk production of Holstein cattle in Antioquia (Colombia) using random regression models. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26(2):90–97. <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/848>
- Herrera A. C., Múnera O. D., Molina L. M., y Cerón-Muñoz M. F. (2011). Componentes de varianza para producción de leche, grasa y proteína en el día de control en vacas Holstein del departamento de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64: S1-89:26-30.
- Hofer A. (1998) Variance component estimation in animal breeding: a review. *J Anim Breed Genet*, 115:247-265.
- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz M., y Gutiérrez-Valencia, A. (2006). Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día del control en búfalos de la Costa Atlántica Colombiana. *Rev. Livestock Research for Rural Development*, 18(3), 1-6. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/3/hurt18039.htm>

- Jakobsen, J. H., Madsen, J., Jensen, J., Pedersen, L. G. y Sorensen, A. (2002). Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *J. Dairy Sci.* 85: 1607–1616.
- Jamrozik J., y Schaeffer, L. R. (1997). Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yields traits of first lactation Holsteins. *J Dairy Sci*, 80:762-770.
- Jamrozik J., Strandén I., y Scheaffer L. R. (2004). Random regression Test-Day models with residuals following a student's-t distribution. *J Dairy Sci*, 87:699-705.
- Jamrozik, J., Kistemaker, G. J., Dekkers, J. y Schaeffer, L. R. (1997). Comparison of possible covariates for use in a random regression model for analyses of test day yields. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2550-2556.
- Jamrozik, J., Kistemaker, G. J., Dekkers, J. C. M., y Schaeffer, L. R. (1997b). Comparison of possible covariates for use in a random regression model for analyses of test day yields. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2550-2556.
- Jensen J. (2001). Genetic Evaluation of Dairy cattle using test-day models. *J. Dairy Sci.*, 84: 2803-2812.
- Jones, L. y Goddard, M. (1990). Five years experience with the animal model for dairy evaluations in Australia. Proc 4th World Congress. *Genet. Appl. Livest. Prod*, XIII:832
- Kachman, S. y Everett, RW. (1989). Test day model with individual herd correction factors. *J Dairy Sci*, 72 (1), 60.
- Kennedy, B. y Sorensen, D. (1988). Propierties of mixed models methods for prediction of genetic merit under different genetic models in selected and unselected populations. En: Weir, B., Goodman, M. y Namkoong, G. *Second international conference on quantitative genetics*, Raleigh.
- Keown J. F., Everett, R., Empet N. y Wadell, H. (1986). Lactation curves. *J. Dairy Sci.* 69(3):769.

- Kirkpatrick, M., Lofsvold, D., y Bulmer, M. (1990). Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics*, 124(4), 979-993.
- Konstantinov, K. (2015). Implementation of multiple traits multi lactation random regression test day model for production traits in Australia. *Interbull Bulletin*, (49).
- Leclerc, E., Mailhot, Y., Mingelbier, M., y Bernatchez, L. (2008). The landscape genetics of yellow perch (*Perca flavescens*) in a large fluvial ecosystem. *Molecular ecology*, 17(7), 1702-1717.
- Li, J., Gao, H., Madsen, P., Li, R., Liu, W., Bao, P. y Su, G. (2020). Impact of the order of Legendre polynomials in random regression model on genetic evaluation for milk yield in dairy cattle population. *Frontiers in Genetics*, 11, 586155.
- Liu, Z., Reinhardt, F., Bünger, A., y Reents, R. (2004). Derivation and calculation of approximate reliabilities and daughter yield-deviations of a random regression test-day model for genetic evaluation of dairy cattle. *Journal of dairy science*, 87(6), 1896-1907.
- López Martínez J L, Quijano Bernal J H y González Herrera L G (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control y a los 305 días en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*. 31(179). <http://www.lrrd.org/lrrd31/11/luggo31179.html>
- Lopez, R., Thomas, M. G., Hallford, D. M., Keisler, D. H., Silver, G. A., Obeidat, B. S. y Krehbiel, C. R. (2006). Metabolic hormone profiles and evaluation of associations of metabolic hormones with body fat and reproductive characteristics of Angus, Brangus, and Brahman heifers. *The Professional Animal Scientist*, 22(3), 273-282.
- López-Ordaz, R., Vite-Cristóbal, C., García-Muñiz, J.G., y Martínez-Hernández, P.A. (2009). Reproducción y producción de leche de vacas con distinta proporción de genes *Bos taurus*. *Archivos de Zootecnia*, 58(224), 683-694. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922009000400006&lng=es&tylng=es.

- Mariscal-Aguayo, V., Pacheco-Cervantes, A., Estrella-Quintero, H., Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R. y Núñez-Domínguez, R. (2016). Indicadores reproductivos de vacas lecheras en agroempresas con diferente nivel tecnológico en Los Altos de Jalisco. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3), 493-507. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722016000300493&lng=es&tylng=es.
- Martínez, J. L., Bernal, J. Q., y Herrera, L. G. (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control ya los 305 días en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*, 31, 179.
- Melo, CMRD, Packer, IU, Costa, CN y Machado, PF (2005). Parámetros genéticos para la producción de leche en el día de control y primera lactancia de vacas Holstein. *Revista Brasileña de Ciencia Animal*, 34, 796-806.
- Méndez, M., de León, R. P., García, Y., Rodríguez, Y., García, D., y Mora, M. (2019). Persistence of milk production of Alpine goats in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1).
- Meseret, S. y Negussie, E... (2017). Genetic parameters for test-day milk yield in tropical Holstein Friesian cattle fitting a multiple-lactation random regression animal model. *Revista Sudafricana de Ciencia Animal*, 47 (3), 352-361. <https://dx.doi.org/10.4314/sajas.v47i3.12>
- Meyer K. (1998). Estimating covariance functions for longitudinal data using a random regression model. *Genetics Selection Evolution*, 30(3), 221-240.
- Meyer K., Graser H. U., y Hammond, K. (1989). Estimates of genetic parameters for first lactation test day production of Australian Black and White cows. *Livestock production science*, 21(3), 177 – 192.
- Meyer, K. (2005). Random regression analyses using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. *Genet. Sel. Evol.* 37: 473-500
- Misztal, I. (2006). Properties of random regression models using linear splines. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123(2), 74-80.

- Morales Medina, Y., Guerra Iglesias, D., González-Peña, D., Rodríguez Castro, M., y Suárez Tronco, M. A. (2012). Componentes de covarianza del crecimiento posdestete en novillas Santa Gertrudis mediante Modelos de Regresión Aleatoria. *Zootecnia Tropical*, 30(2), 197-203.
- Morales, M, Castro M, Kobrich, C. (2015). *Evaluación del efecto del tamaño de rebaño sobre el bienestar de vacas lecheras en sistemas intensivos de la zona central de Chile*. XXXVIII Congreso Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA)
- Mrode, R. A., Swanson, G., y Paget, M. F. (2003). Implementation of a test day model for production traits in the UK. *Interbull Bulletin*, (31), 193-193.
- Muir, B. L., Fatehi J., y Schaeffer, L.R. (2004). Genetic relationships between persistency and reproductive performance in first-lactation Canadian Holsteins. *Journal Dairy Science*, 87(9):3029–3037.
- Oliveira, H., Cant, J., Brito, L., Feitosa, F., Chud, T., Fonseca, P. y Schenkel, F. (2019). Asociación de todo el genoma para los rasgos de producción de leche y la puntuación de células somáticas en diferentes etapas de lactancia de ganado lechero Ayrshire, Holstein y Jersey. *Journal of dairy science*, 102(9), 8159-8174.
- Padilha, A. H., Cobuci, J. A., Costa, C. N., y Neto, J. B. (2016). Random regression models are suitable to substitute the traditional 305-day lactation model in genetic evaluations of Holstein cattle in Brazil. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(6), 759-767.
- Pander, B. L., Hill, W. G., y Thompson, R. (1992). Genetic parameters of test day records of British Holstein-Friesian heifers. *Animal Science*, 55(1), 11-21.
- Patterson, H. y Thompson, R. (1971). Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika, London*, 58:545-554.
- Pereira, Rodrigo Junqueira, Ayres, Denise Rocha, Santana Junior, Mário Luiz, Faro, Lenira El, Vercesi Filho, Aníbal Eugênio, y Albuquerque, Lucia Galvão de. (2019). Test-day or 305-day milk yield for genetic evaluation

- of Gir cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54: e00325. <https://dx.doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00325>
- Powell, R. L., Norman, H. D., y Elliott, R. M. (1981). Different lactations for estimating genetic merit of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 64(2), 321-330.
- Ptak E., y Schaeffer, L. R. (1993) Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Rev. Livest. Prod- Sci*, 34 (1-2):23-34.
- Reents R, Dekkers JC, Schaeffer R. (1995). Genetic evaluation for somatic cell score with a test day model for multiple lactations. *J. Dairy Sci.* 78(12):2858-2866.
- Reents, R. (1996). The use of test day models in genetic evaluation. In: International Workshop on genetic improvement of unctional traits in cattle. *Belgium, Proced*; 234-243.
- Reinhardt, F., Liu, Z., Bünger, A., Dopp, L., y Reents, R. (2002). Impact of application of a random regression test day model to production trait genetic evaluations in dairy cattle. *Interbull Bulletin*, (29), 103-103.
- Rekaya R, Bejar F, Carabaño M, Alenda R. (1995). Genetic parameters for test day measurements in Spanish Holstein-Friesian. *Interbull Bulletin*, (11).
- Rodríguez, L., Ara, M., Huamán, H., Echevarría, L. (2005). Modelos de ajuste para curvas de lactación de vacas en crianza intensiva en la cuenca de Lima. *Revista de Investigaciones Veterianrias del Perú*, 16(1):01-12.
- Salazar-Carranza, Mauren, Castillo-Badilla, Gloriana, Murillo-Herrera, Jaime, Hueckmann-Voss, Frank, y Romero-Zúñiga, Juan José. (2013). Edad al primer parto en vacas holstein de lechería Especializada en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 233-243. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200001&lng=en&tlng=es.
- Santos, D., Peixoto, M., Borquis, R., Verneque, R., Panetto, J. y Tonhati, H. (2013). Genetic parameters for test-day milk yield, 305-day milk yield, and lactation length in Guzerat cows. *Livestock Science*, 152(2-3), 114-119

- Sawalha, R. M., Keown, J. F., Kachman, S. D., y Van Vleck, L. D. (2005). Genetic evaluation of dairy cattle with test-day models with autoregressive covariance structures and with a 305-d model. *Journal of dairy science*, 88(9), 3346-3353.
- Schaeffer L, Jamrozik J, Kistemaker J, Van Doormaal B. (2000). Experience with a Test-day model. *J. Dairy Sci*, 83: 1135-1144.
- Schaeffer, L. R. (1994). Multiple-country comparison of dairy sires. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2671-2678.
- Schaeffer, L. R., y Dekkers J. (1994). Random regressions in animal models for test-day production in dairy cattle. Proc. 5th World Congr. *Genet. Appl. Livest. Prod.*, Guelph, XVIII: 443.
- Schaeffer L. R. (1996). Tópicos avançados em melhoramento animal: random regression models. *Joboticabal Universidade Estadual Paulista*, 25-33.
- Schutz M., Hansen L. B., Steuernagel G. (1990). Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. *J. Dairy Sci*, 73(29):484- 492.
- Shahrbabak, M.M. (1997). Feasibility of random regression models for iranian holstein test day records. [Thesis (Ph.D)]. University of Guelph.
- Silva, D. A., Costa, C. N., da Silva, A. A., e Silva, F. F., Lopes, P. S., dos Santos, G. G. y Carvalheira, J. (2019). Unknown parent and contemporary groups for genetic evaluation of Brazilian Holstein using autoregressive test-day models. *Livestock Science*, 220, 1-7.
- Silva, D. A., Costa, C. N., Silva, A. A., Silva, H. T., Lopes, P. S., Silva, F. F. y Carvalheira, J. (2020). Autoregressive and random regression test-day models for multiple lactations in genetic evaluation of Brazilian Holstein cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 137(3), 305-315.
- Singh, A., Singh, A., Singh, M., Prakash, V., Ambhore, G. S., Sahoo, S. K., y Dash, S. (2016). Estimation of genetic parameters for first lactation monthly test-day milk yields using random regression test day model in Karan fries cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(6), 775.

- Siqueira, O., Mota, R., Oliveira, H., Duarte, D., Glória, L., Rodrigues, M., y Silva, F. (2017). Evaluación genética de la persistencia de la lactancia y la producción total de leche en cabras lecheras. *Livest. Rural Res. Dev*, 29, 142.
- Stanton, T., Jones, L., Everett, R. y Kachman, S. (1992). Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. *Journal of dairy science*, 75(6), 1691-1700.
- Strabel T. y Szwaczkowski T. (1997). Additive genetic and permanent environmental variance components for test day milk traits in Black-White cattle. *Livest Prod Sci*, 48(2):91-99.
- Strabel T., y Misztal I. (1999). Genetic parameters for first and second lactation milk yields of Polish black and white cattle with random regression test-day models. *Journal of Dairy Science*, 82:2805-10.
- Swalve H.H. (1995a). The effect of test day models on the estimation of genetics parameters and breedin values for dairy yields traits. *J Dairy Sci*, 78 (4): 929 – 935.
- Swalve H.H. (1995b). Test-day models in the analysis of dairy production data - A review. *Arch. Tierz. Dummerst*, 38(6):59-71.
- Swalve H.H. (1998). *Use of test day records for genetic evaluation*. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. XXIII: 295-302.
- Swalve, H. H. (1994). Genetic relationships between testday milk production and persistency in dairy cattle performance records. *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 5: 467-470.
- Tekerli M, Akinci Z, Dogan I, Akcan A. (2000). Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *Journal Dairy Science*, 83:1381-1386.
- Tonhati, H. (2002). Critérios de seleção para produção total de leite em bubalinos criados no estado de São Paulo, Brasil. [Teses, Livre Docência, Faculdade de Ciências Pecuárias], Universidade Estadual Paulista.

- Truz, D. y Buttazoni L. G. (1990). A multiple trait approach to modelling the lactation curve. *World Cong. Genet. Appl. to livest. prod*, 13:492 – 501.
- Van Tassel C, Quass R, Everett R. (1992). Parameter estimates for 305-day ME records and 305-day test day residual records. *J. Dairy Sci*, 75 (1): 251.
- Vargas, B, Perez, E. y Van Arendonk, J. (1998). Analysis of test day yield data of Costa Rican dairy cattle. *J. Dairy Sci*, 81(1):225-231.
- Weller, J. I., Ezra, E., y Leitner, G. (2006). Genetic analysis of persistency in the Israeli Holstein population by the multitrait animal model. *Journal dairy science*, 89(7):2738–2746.
- White, I. M. S., Thompson, R., y Brotherstone, S. (1999). Genetic and environmental smoothing of lactation curves with cubic splines. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 632-638.
- Wiggans, G. R., y Goddard, M. E. (1997). A computationally feasible test day model for genetic evaluation of yield traits in the United States. *Journal of Dairy Science*, 80(8), 1795-1800.
- Wilmink, J.M. (1987). Efficiency of selection for different cumulative milk, fat and protein yields in first lactation. *Livest Prod Sci*, 17(3):221-228.
- Wilmink, J.M. (1987^a) Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Liv Prod Sci*, 16: 335-348.
- Wood, P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*; 216:164-165.
- Yamazaki, T., Hagiya, K., Takeda, H., Osawa, T., Yamaguchi, S. y Nagamine, Y. (2016). Effects of stage of pregnancy on variance components, daily milk yields and 305-day milk yield in Holstein cows, as estimated by using a test-day model. *Animal*, 10 (8), 1263-1270. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26906742/>

CAPÍTULO 3

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL DÍA DEL CONTROL Y LA PRODUCCIÓN DE LECHE TOTAL

La aplicabilidad de la metodología PDC se encuentra asociada con el número de parámetros a estimar, la incorporación de lactancias múltiples y de las correlaciones generadas por las repeticiones de datos en la lactancia de una vaca (producciones controladas basadas en estrictos seguimientos a las bases de datos a analizar). El objetivo de la metodología PDC en la estimación de componentes de (co)varianza y parámetros fenotípicos, ambientales, genéticos, de ambiente permanente y residuales en el mejoramiento animal, cuantificar los efectos sistemáticos y aleatorios para cada uno de los componentes del sistema de ecuaciones propuestas para la evaluación genética en animales domésticos.

Así mismo, es necesario tener en cuenta la alta demanda y requerimiento computacional que presentan los modelos PDC para realizar los análisis estadísticos, especialmente en modelos multicaracterísticos (PDC infinitos). En este sentido, en animales domésticos para el estudio de la producción lechera, se han aplicado metodologías matemáticas y estadísticas como modelos multicaracter, de repetibilidad y MRA con el objetivo de estimar componente de variancia, parámetros genéticos y heredabilidades, que

buscan seleccionar los futuros reproductores para la próxima generación basada en la información genética y fenotípica disponible.

Damane *et al.* (2016) sugieren en su estudio aplicar la metodología PDC en bovinos lecheros a través de un MRA de una característica, con el objetivo de estimar los parámetros genéticos de la producción de leche en la primera y segunda lactancias, ajustando los efectos fijos de la fecha del control del rebaño, la edad de parto y el número de días en la leche. De igual forma, los efectos genéticos aditivos y los efectos ambientales permanentes de los animales se agregaron al análisis del modelo como efectos aleatorios.

Por otro lado, López *et al.* (2019) y Macciotta *et al.* (2002), estimaron parámetros genéticos para la producción de leche en el día de control, con el fin de comprobar si esta puede ser usada como criterio de selección en la producción de lactancia a los 305 días en ganado de la raza lucerna. El análisis se llevó a cabo mediante un modelo bicaracterístico, donde para las estimaciones de parámetros genéticos se calculó la media de todas las estimativas bicarácter para cada característica estudiada. Los efectos aleatorios genéticos aditivos y residuales, los efectos fijos de grupos contemporáneos fueron estudiados como efectos lineales y cuadráticos, la edad de la vaca al parto y los días en lactancia fueron estudiados como efectos lineales y (co)variables. Para la producción de leche a los 305 días utilizaron el mismo modelo, exceptuando los días de lactancia, la edad de la vaca al primer parto fue estudiada como un modelo (co)variable de efecto lineal y cuadrático.

Para comprender con profundidad la ventaja de aplicar la metodología para la producción de leche en el día del control en evaluaciones genéticas. A continuación, se presenta una relación de resultados de procesos de investigaciones, los cuales reflejan la importancia de estudiar aspectos de estimación de componentes de (co)varianza en bovinos lecheros.

3.1 Heredabilidad

Según Vergara *et al.* (2008), la heredabilidad determina la eficiencia reproductiva del hato y representa una gran importancia económica en cuanto a la producción, ya que determina la rentabilidad del hato lechero.

En este sentido Strabel y Szwaczkowski (1997) estimaron heredabilidades con sus respectivos errores estándar para la PLT305 y para la PDC, desde $0,16 \pm 0,0040$ hasta $0,27 \pm 0,0003$. Sugieren que las diferencias en las estimativas de heredabilidad para la PDC y PLT305 pueden ser causadas por diversos factores, entre ellos los modelos y métodos empleados para el cálculo de la PLT305 y los efectos específicos para cada control de PL en un determinado día. Así mismo, concluyen que las altas heredabilidades obtenidas para la PDC permitieron una mayor eficiencia en la selección de reproductores cuando se emplea esta metodología.

A su vez, Lamb y McGilliard (1967), sugirieron que la selección de animales basados en el valor genético de la vaca (único control comprendido entre el sexto y décimo control), producía un progreso genético similar o igual al obtenido con PLT305. Por otro lado, Tijani *et al.* (1999) estimaron valores de heredabilidad entre 0,16 hasta 0,22, mostrando mayores estimaciones de heredabilidad para controles de lactancia medias y tardías. Machado (1997) reportó una estimativa de heredabilidad para la PDC de 0,28 en el quinto control y enfatizó que usar solo este control resultó en intervalos generacionales más cortos.

Además, Van Vleck y Henderson (1961) estimaron heredabilidades para controles mensuales de PL, los cuales, entre el primer y el quinto control, aumentaron con el estadio de la lactancia y fueron estimados valores de heredabilidad desde 0,11 hasta 0,23. Los valores entre el sexto y el octavo control permanecieron constantes (0,21), aumentando en el noveno y el décimo control (0,23). De igual forma se concluye que las variaciones temporales del medio ambiente afectan la PL en los primeros y los últimos meses de la lactancia y los controles de la mitad de la lactancia, además fueron más influenciadas por las diferencias genéticas y permanentes del medio ambiente existente entre animales.

Si bien los valores de heredabilidad estimados por López *et al.* (2019) para el quinto (0,21) y séptimo control (0,25) fueron mayores en comparación con los demás controles, que presentaron estimativas de menor valor, las cuales se encuentran por debajo (0,09 a 0,17) para la producción de leche a los 305 días de lactancia (0,23). Por lo tanto, recomiendan implementar el programa utilizando las producciones en el día de control cinco y siete como criterios de selección.

En los estudios realizados por Toledo *et al.* (2014) encontraron que las heredabilidades fueron bajas a moderadas para la primera lactancia ($0,17 \pm 0,009$ a $0,49 \pm 0,019$) y para las primeras cinco lactancias ($0,16 \pm 0,006$ a $0,41 \pm 0,004$). Las repetibilidades para PL5 y PL5std tuvieron un rango de $0,32 \pm 0,002$ a $0,41 \pm 0,004$; para obtener estos valores se utilizaron los componentes de varianza y parámetros genéticos para producción de leche total a la primera lactancia (PL1), producción de leche ajustada a 305 días y equivalente adulto de la primera lactancia (PL1std), producción de leche total de las cinco primeras lactancias (PL5) y producción de leche ajustada a 305 días equivalente a adulto de las primeras 5 lactancias (PL5std), además, fueron estimados utilizando un modelo animal simple para PL1 y PL1std y un modelo animal de repetibilidad para PL5 y PL5std.

Wilmink (1987) reportó que la heredabilidad en modelos PDC aumentó desde el primer hasta el quinto control desde $0,16 \pm 0,044$ hasta $0,30 \pm 0,002$, mientras en el octavo control descendió hasta $0,25 \pm 0,0049$. Las mayores heredabilidades fueron estimadas entre el tercer y el séptimo control (Tabla 1). Este autor estimó que las diferencias genéticas entre vacas, para producciones mensuales de leche, fueron mayores en la mitad de la lactancia que en otros estadios. Otras investigaciones reportaron tendencias similares para la estimación de los valores de heredabilidad mediante el empleo de modelos PDC (Meyer *et al.*, 1989; Pander *et al.*, 1992).

Tabla 1. Estimaciones de la heredabilidad para las producciones de leche el día del control (PDC) y para la producción de leche total a 270 (PLT 270) y 305 (PLT 305) días de lactancia

Autor	Método	Especie	Raza	PDC 1	PDC 2	PDC 3	PDC 4	PDC 5	PDC 6	PDC 7	PDC 8	PDC 9	PDC 10	270*	305*
Wilmink (1987)	MT	Va	b-n	0,16	0,25	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29	0,25	0,26	-	-	0,31
Meyer <i>et al.</i> (1989)	MT	Va	b-n	0,20	0,22	0,25	0,27	0,24	0,25	0,24	0,24	0,21	0,27	-	-
Pander <i>et al.</i> (1992)	MT	Va	Ho	0,27	0,33	0,34	0,36	0,35	0,38	0,39	0,43	-	-	-	0,49
Reents <i>et al.</i> (1994)	MA	Va	Ho	0,10	0,14	0,21	0,30	0,32	0,37	0,35	0,31	0,30	-	-	-
Rekaya <i>et al.</i> (1995)	MA	Va	Ho	0,17	0,19	0,20	0,22	0,22	0,23	0,23	0,25	0,25	0,26	-	0,29
Salwe (1995a)	MA-MC	---	---	0,18	0,24	0,28	0,33	0,33	0,36	0,31	0,26	-	-	-	0,39
Firat <i>et al.</i> (1997)	MT	Va	Ho	0,27	0,28	0,27	0,32	0,36	0,37	0,36	0,40	0,39	0,31	-	0,49
Gadini (1997)	MA-MC	Va	Ho	0,10	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,12	-	0,19

Autor	Método	Especie	Raza	PDC 1	PDC 2	PDC 3	PDC 4	PDC 5	PDC 6	PDC 7	PDC 8	PDC 9	PDC 10	270*	305*
Kettunet <i>et al.</i> (1998)	MA-RR	Va	Ayr	0,23	0,26	0,29	0,32	0,34	0,34	0,33	0,28	0,26	0,25	-	-
Machado <i>et al.</i> (1997)	MT-MC	Va	Ho	0,16	0,20	0,20	0,16	0,28	0,20	0,20	0,12	0,12	0,04	-	0,32
Vargas <i>et al.</i> (1998)	MA	Va	Ho; Je; Gu; Br;Bo ta;Bo in	0,23	0,15	0,20	0,21	0,17	0,15	0,20	0,23	0,19	0,23	-	-
Tijani <i>et al.</i> (1999)	MA	Va	Ho	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	-	-
Jamrozik y Schaeffer (1997)	RR	Va	Ho	0,59	0,40	0,40	0,41	0,44	0,45	0,45	0,45	0,43	0,42	-	0,48
Tonhati (2002)	MA	Bu	Mur	0,23	0,29	0,30	0,26	0,25	0,25	0,19	0,17	0,12	0,13	0,14	-
Hurtado-Lugo <i>et al.</i> (2006)	MA	Bu	crúz	0,04	0,10	0,04	0,07	0,20	0,16	0,17	0,14	0,01	-	0,16	-

Autor	Método	Especie	Raza	PDC 1	PDC 2	PDC 3	PDC 4	PDC 5	PDC 6	PDC 7	PDC 8	PDC 9	PDC 10	270*	305*
Zumbach et al. (2008)	MA	Ca	Bre Ge; Whi Togg; Thü; An	0,32	0,30	0,30	0,28	0,25	0,21	0,18	0,19	-	-	-	-
Mucha et al. (2014)	MA	Ca	Al; Saa; Togg	0,34	0,38	0,41	0,43	0,44	0,44	0,44	0,43	0,42	0,39	0,28	-

Nota: PDC= Control de leche, MT= Modelo Toro, MA= Modelo Animal, MC= Multicaracterístico, Va= Vaca, Bu= Búfalo, Ca= Cabra, Ho= Holsten, Je= Jersey, Gu= Guernsey, Br= Brown Swiss, Bo ta Bo in=, Mur= Murrah, Cruz= Cruzado, Bre Ge= Breeds German, Whi= White, Togg= Toggenburg, Thi= Thuringerwald, An= Anglo nubian, Al= Alpina, Saa= Saanen. La tabla muestra los promedios de las diferentes heredabilidades en los diferentes PDC de las producciones de leche en días de lactancia.

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, Tonhati (2002) estimó valores de heredabilidad desde 0,12 hasta 0,30 para la PL en búfalos brasileños. Este autor concluyó que los mayores valores fueron encontrados en el inicio de la lactancia, entre el segundo (0,29) y tercer (0,30) control, los cuales disminuyeron hacia el final de la lactancia (Tabla 1). De igual forma, Hurtado *et al.* (2006) concluyen que los mayores valores de heredabilidad fueron encontrados en la mitad de la lactancia (Tabla 1). Reportan valores de heredabilidad desde 0,01 hasta 0,20 en búfalos colombianos.

De igual forma Buaban *et al.* (2020) estimaron heredabilidades diarias promedio para la leche, grasa y proteínas variaron de 0,36 a 0,48, 0,33 a 0,44, de 0,37 a 0,48, respectivamente, fueron mayores en la tercera lactancia para todos los rasgos. En dicho estudio se utilizaron los componentes de la covarianza estimados mediante métodos bayesianos, muestreo de Gibbs para obtener distribuciones posteriores. El modelo incluyó rebaño, año, mes de prueba, grupo de raza-temporada de parto-mes en el grupo de leche probado, edad lineal y cuadrática al parto como efectos fijos y coeficientes de regresión aleatoria para efectos ambientales permanentes y genéticos aditivos, coeficientes de Legendre constantes (lineales, cuadráticos, cúbicos y cuárticos modificados), describen eficazmente la evolución de la producción de leche durante la lactancia completa de las vacas lecheras en diferentes condiciones de manejo.

Las estimaciones de heredabilidad para la producción de leche en los días de prueba a partir del análisis de RRM de lactancia múltiple fueron apreciadas para la primera (0,20 y 0,26), segunda (0,15 y 0,27) y tercera lactancia (0,17 y 0,28), donde las heredabilidades entre las lactancias difieren ligeramente desde la mitad hasta el final de la lactancia. La herencia de la tercera lactancia fue mayor que la de la primera y segunda lactancia en este periodo, mientras que no se observaron diferencias significativas en las estimaciones de herencia entre la primera y la segunda lactancia (Meseret y Negussie, 2017).

Olori *et al.* (1999) utilizaron polinomios ortogonales de Legendre en MRA, en donde los órdenes de los modelos, variaron desde cuadráticos hasta cuárticos para los efectos genético aditivo y de ambiente permanente. Las heredabilidades halladas para modelos cuadráticos, cúbicos y cuárticos variaron de 0,22 a 0,50, de 0,31 a 0,51 y de 0,29 a 0,52, respectivamente. Las estimativas de heredabilidad para todos los modelos mostraron patrones

similares, con excepción en el inicio de la lactancia, en donde el modelo cuartico proporcionó una mayor heredabilidad en la cuarta semana. De forma general, para todos los modelos, estos autores concluyeron que la mayor heredabilidad fue encontrada hacia el final de la lactancia. A su vez, Brotherstone *et al.* (2000) estimaron heredabilidades desde 0,06 hasta 0,32 a lo largo de la lactancia, cuando fueron empleados polinomios ortogonales de Legendre en MRA. Los valores de heredabilidad presentaron una alta influencia en el modelo de regresión usado para los efectos fijos y aleatorios. Por otro lado, Ptak y Scheaffer (1993) estimaron correlaciones genéticas (rg) para la PL, entre la PDC y la PLT305, las cuales variaron desde 0,87 a 0,97. Diferentes investigaciones sobre MRA reportaron valores similares, en donde la (rg) para la PDC y PLT 305, varió desde 0,55 hasta 0,97 (Ptak y Scheaffer, 1993; Olori *et al.*, 1999; Jamrozik *et al.*, 1997).

3.2. Correlaciones genéticas, fenotípicas y residuales para la producción de leche en el día del control y la producción de leche total

Países como Costa Rica, Canadá, Finlandia, Alemania, Nueva Zelanda, Italia, Dinamarca, Portugal, Estados Unidos y los países bajos de Europa vienen realizando evaluaciones genéticas para características de producción en ganado bovino lechero, basados en modelos PDC, mostrando excelentes resultados (Interbull, 2000; Vargas *et al.*, 1998; Gupta *et al.*, 2020; Schaeffer *et al.*, 2000; Méndez y Fraga, 2012; Swalve, 2000; Liseune *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2019; Vasconcelos *et al.*, 2004). Sin embargo, la aplicabilidad de este método se encuentra asociado con el número de parámetros a estimar, incorporación de lactancias múltiples y de correlaciones generadas por las repeticiones de datos en la lactancia de una vaca (producciones controladas basadas en estrictos seguimientos a las bases de datos a analizar).

Keown y Van Vleck (1971) sugieren que mayores correlaciones genéticas (rg) y fenotípicas (rp), en controles mensuales de producción y PLT 305, se estiman (rg) desde 0,77 hasta 0,99, encontradas entre el tercer y cuarto control con valores de 0,97 a 0,99 y de 0,89 a 0,90, respectivamente. Igualmente, Wilmink (1987) estimó que las (rg) para la PDC y PLT305, entre el primer y noveno control, variaron desde 0,61 hasta 0,99 (Tabla 2). Estos resultados indican que en controles mensuales de producción y PLT305, la heredabilidad y las

correlaciones genéticas con el rendimiento de 305 días, son influenciadas por la máxima verosimilitud restringida. De igual modo, Brotherstone *et al.* (2000) encontraron que las (r_g) estimadas para polinomios ortogonales de Legendre (con órdenes que variaron desde cuadráticos hasta cuárticos), fueron próximos a uno entre controles contiguos y de 0,30 entre controles del inicio y final de la lactancia. Mientras que Ali y Scheaffer (1987) al emplear funciones paramétricas estimaron (r_g) negativas, hallando valores errantes en la magnitud y dirección, entre los valores de los controles del inicio de la lactancia y valores de los demás controles. Por su lado, Gadini *et al.* (1997) y Martínez *et al.* (2019), en sus estudios, reportaron que las producciones del primer y décimo control son menos estables para la PL, presentando una mayor variación, hecho que se relaciona con el ambiente, razón por la cual estos controles (primero y decimo) en programas de mejoramiento genético, deben tener menos peso al momento de seleccionar los reproductores.

Además, Gadini *et al.* (1997) sugirieron que existe una alta r_g entre las PL de cada control con las respectivas PLT305, presentando r_g próximas a uno en la mitad de la lactancia (Tabla 2). En el primer control fue estimada la r_g más baja 0,72, presentando en los diferentes controles errores estándar menores a 0,02. Las r_p variaron desde 0,59 hasta 0,82, con errores estándar menores a 0,008 (Tabla 2). Los autores sugirieron que las PL en la mitad de la lactancia pueden ser empleadas como criterio de selección para bovinos lecheros. Machado (1997) estimó r_g entre PL mensuales y PLT305, los cuales variaron desde 0,78 hasta 1,0. En el primer y en el último control las r_g fueron iguales a 1,0 (Tabla 2). El autor sugirió que este hecho era debido al poco número de datos en esos controles.

Tabla 2. Correlación genética (rg) y fenotípica (rp) en los diferentes controles entre la producción de leche en el día del control (PDC) y para la producción de leche total a 270 (PL T270) y 305 (PL T305) días de lactancia

			PDC	PDC										
Autor	Método	Correlación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Wilmink (1987)	MT	rg	0,61	0,88	0,94	0,95	0,99	0,99	0,99	0,95	0,89	0,80	-	
		rp	0,66	0,83	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89	0,87	0,84	0,78	-	
Pander <i>et al.</i> (1992)	MT	rg	0,87	0,89	0,97	0,98	0,99	0,99	0,97	0,98	0,97	-	-	
		rp	0,66	0,77	0,81	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	-	-	
Rekaya <i>et al.</i> (1995)	MA	rg	0,89	0,76	0,72	0,74	0,78	0,78	0,74	0,70	0,72	0,68	0,72	
		rp	0,65	0,70	0,69	0,70	0,71	0,70	0,70	0,72	0,73	0,72	0,63	
Gadini (1997)	MA-MC	rg	0,72	0,87	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,93	0,88	
		rp	0,59	0,71	0,77	0,79	0,81	0,82	0,82	0,82	0,81	0,79	0,73	
Machado <i>et al.</i> (1997)	MT-MC	rg	1,00	0,80	0,92	0,96	0,89	0,95	1,00	1,00	0,93	0,78	1,00	
		rp	0,56	0,64	0,97	0,7	0,76	0,78	0,95	0,95	0,91	0,74	0,73	
Vargas <i>et al.</i> (1998)	MA	rg	0,81	0,96	0,88	0,92	0,90	0,99	0,96	0,97	0,96	0,97	0,97	

Autor	Método	Correlación	PDC 1	PDC 2	PDC 3	PDC 4	PDC 5	PDC 6	PDC 7	PDC 8	PDC 9	PDC 10
		rp	0,82	0,89	0,89	0,90	0,96	0,90	0,90	0,90	0,89	0,87
Tonhati (2002)	MA	rg	0,94	0,98	0,99	1,00	0,96	1,00	0,95	0,93	0,96	0,82
Hurtado-Lugo et al. (2006)	MA	rg	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,87	0,94	0,92	0,95	-
		rp	0,83	0,84	0,73	0,70	0,71	0,69	0,67	0,64	0,60	-
Zumbach et al. (2008)	MA	rg	0,61	0,60	0,60	0,62	0,64	0,65	0,71	0,80	-	-
		rg	0,90	0,95	0,95	0,95	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
Mucha et al. (2014)	MA	rp	0,71	0,72	0,77	0,78	0,80	0,80	0,81	0,80	0,79	0,80

Nota: PDC= Control de leche, MC=Multi Característico, MA=Modelo Animal, MT= Modelo toro. La tabla muestra de manera general las correlaciones genéticas y fenotípicas de los diferentes controles de la producción de leche para los días de lactancia.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la PL se debe tener en cuenta la persistencia, ya que además de ser una de las características que define la forma de la curva de la lactancia, se encuentra altamente correlacionada con la PL al inicio de la lactancia (El faro, 2002). En este sentido Tonhati (2002) estimó que entre controles cercanos se presentaron mayores r_g , mientras que controles más alejados entre sí presentan r_g más bajas. Las r_g halladas entre la PLT y la PDC1 variaron de 0,61 hasta 1,0, y esta variación es debida a los efectos temporales del medio ambiente (Tabla 2).

Las correlaciones genéticas entre producciones mensuales y producciones a 305 días de 0,78 a 1,0, respectivamente en el primer y en el último control los valores fueron iguales a 1,0. Este hecho es debido al poco número de datos en esos controles. Las r_g reportadas por medio de la metodología PDC, entre controles mensuales de PL y PLT305, fueron altas y positivas, reportando que la metodología PDC puede ser empleada en sustitución de la PLT305 en evaluaciones genéticas para reproductores bovinos lecheros (Machado, 1997).

Hurtado *et al.* (2006) reportaron que la selección para producciones parciales en búfalos colombianos confiere una ventaja genética para la PLT270, basada principalmente en el quinto control (PDC5), con una ganancia genética de 0,42 kg. Además, si solo se selecciona la PLT270 en los análisis unicaracterísticos la ganancia sería de 65,70 kg, mientras que en análisis bicaracterísticos con PDC5 la ganancia genética sería de 100,58 kg por generación. Enfatizaron que en PLT270 puede generarse una mayor ganancia a través de la selección indirecta, si la intensidad de selección fuera mayor, ya que se tendría disponible más información de toros jóvenes gracias a los controles individuales. Por otro lado, realizar una selección basada en controles parciales da como resultado intervalos generacionales más cortos, aumentando la ganancia genética de las PL.

Meseret y Negussie (2017) reportaron correlaciones genéticas y fenotípicas que fueron calculadas en base a 305 días. Para las correlaciones genéticas se obtuvieron valores de 0,88, 0,70 y 0,83 entre la primera y la segunda lactancia, la primera y la tercera lactancia y la segunda y la tercera lactancia, respectivamente (Tabla 3). Mientras que, para las correlaciones fenotípicas entre la primera y la segunda lactancia, la primera y la tercera lactancia y la segunda y la tercera lactancia fueron 0,56, 0,51 y 0,61, respectivamente

(Tabla 3). Concluyendo que las correlaciones genéticas entre las lactancias adyacentes, como la primera y la segunda o la segunda y la tercera, fueron mayores que las existentes entre la primera y la tercera lactancia. De igual modo, las correlaciones fenotípicas entre los rendimientos de leche del día de prueba en el DIM, en las tres lactancias, fueron todas positivas y mayores dentro de las lactancias consecutivas, que entre la primera y la tercera lactancia.

Tabla 3. Estimaciones de las correlaciones genéticas y fenotípicas para la producción de leche en días de prueba entre la primera y la segunda (I-II), la primera y la tercera (I-III) y la segunda y la tercera (II-III) lactancias a partir de un modelo de días de días de pruebas de regresión aleatoria de lactancia múltiple en vacas holstein frisian de Etiopía

	I-II	I-III	II-III
	Correlaciones genéticas		
5	0,47	0,36	0,54
35	0,53	0,44	0,69
65	0,62	0,50	0,78
95	0,71	0,54	0,77
125	0,78	0,56	0,73
155	0,83	0,58	0,70
185	0,87	0,62	0,70
215	0,90	0,67	0,72
245	0,90	0,73	0,76
275	0,86	0,77	0,79
305	0,78	0,75	0,77

	I-II	I-III	II-III
	Correlaciones fenotípicas		
5	0,30	0,17	0,37
35	0,37	0,28	0,43
65	0,42	0,36	0,47
95	0,45	0,41	0,49
125	0,47	0,43	0,50
155	0,49	0,43	0,51
185	0,50	0,44	0,52
215	0,52	0,45	0,52
245	0,52	0,46	0,51
275	0,49	0,47	0,47
305	0,42	0,46	0,38

Nota: la tabla muestra las estimaciones de las correlaciones genéticas y fenotípicas a partir del modelo de pruebas de regresión aleatoria de lactancia múltiple para la producción de leche por días de pruebas (I-II), (I-III), (II-III), en vacas holstein frisian de Etiopía.
Fuente: elaboración propia, adaptada de Gebreyohannes *et al.* (2016)

Mientras que, Olori *et al.* (1999) estimaron correlaciones fenotípicas (r_p) y (r_g) positivas, siendo las (r_g) mayores que las (r_p). Sin embargo, observaron que con el aumento en días entre controles ambas correlaciones (r_g y r_p) disminuyeron, significativamente. Por otro lado, Kettunen *et al.* (2000) mostraron que las (r_p) y las correlaciones de ambiente permanente (r_{ap}) entre controles fueron menores que las (r_g), mientras que las (r_{ap}) para controles más próximos fueran mayores que las (r_g). Por otro lado, al ser empleado un modelo polinómico ortogonal cúbico en MRA, las (r_{ap}) disminuyeron cuando los controles lecheros presentaron mayores distancias en días.

Referencias

- Ali, T. y Schaeffer, L. (1987). Accounting for (Co) variances among test day milk yields in dairy cows. *Can J Anim*, 67 (3): 637 – 642.
- Brotherstone, S., White, I. y Meyer, K. (2000). Genetic modelling of daily milk yield using orthogonal polynomials and parametric curves. *Animal Science*, 70(3), 407-415.
- Buaban, S., Puangdee, S., Duangjinda, M. y Boonkum, W. (2020). Estimation of genetic parameters and trends for production traits of dairy cattle in Thailand using a multiple-trait multiple-lactation test day model. *Revista Asian-Australasian de ciencias animales*, 33 (9), 1387-1399. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0141>
- Damane, M., Fozi, M. y Mehrgardi, A. (2016). Influence of milking frequency on genetic parameters associated with the milk production in the first and second lactations of Iranian Holstein dairy cows using random regression test day models. *Revista de ciencia y tecnología animal*, 58:5. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0087-3>
- El faro, L. (2002). *Estimação de componentes de (Co) variância para produção de leite no dia do controle de primeiras lactações de vacas Caracu, aplicando-se “test-day models” de dimensão finita e modelos de regressão aleatória*. [Tese doutorado em Zootecnia]. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Gadini, C., Keown, J. y Van Vleck, L. (1997). Correlações entre produções no dia do controle e em 305 dias de lactação de vacas da raça Holandesa. *34 Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia*, 44-46
- Gebreyohannes, G., Koonawootrittriron, S., Elzo, M. A., y Suwanasopee, T. (2016). Estimation of genetic parameters using a random regression monthly test-day model in an Ethiopian dairy cattle population. *Agriculture and Natural Resources*, 50(1), 64-70.
- Gupta, R., Sahoo, S., Kaur, S., Dash, S., y Malhotra, P. (2020). Modeling lactation curve for test day milk yields in Holstein Friesian crossbred cattle. *International Journal of Livestock Research*, 10, 31-36.

- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz M., y Gutiérrez-Valencia, A. (2006). Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día del control en búfalos de la Costa Atlántica Colombiana. *Rev Livestock Research for Rural Development*, 18(3), 1-6. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/3/hurt18039.htm>
- Interbull. (2000). National genetic programs for dairy production traits practiced in Interbull member countries. *Bulletin*, 24.
- Jamrozik, J., Kistemaker, G. J., Dekkers, J. C. M., y Schaeffer, L. R. (1997). Comparison of possible covariates for use in a random regression model for analyses of test day yields. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2550-2556.
- Kennedy, B and Sorensen, D. (1988). Propierties of mixed models methods for prediction of genetic merit under different genetic models in selected and unselected populations. En: Weir, B., Goodman, M. y Namkoong, G. *Second International conference on Quantitative genetics, Raleigh*.
- Keown, J. F., y Van Vleck, L. D. (1971). Selection on test-day fat percentage and milk production. *Journal of Dairy Science*, 54(2), 199-203.
- Kettunen A, Mantysaari E, Poso J. (2000). Estimation of genetic parameters for daily milk yield of primiparous Ayrshire cows by random regression test-day models. *Livestock Production Science*, 66(3), 251-261.
- Kettunen, A., Mäntysaari, E. A., Strandén, I., Pösö, J., y Lidauer, M. (1998). Estimation of genetic parameters for first lactation test day milk production using random regression models. *World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*, (6):307-310.
- Lamb R, McGilliard L. (1997). Usefulness of part records to estimate the breeding values of dairy cattle. *J Dairy Sci*, 50 (9):1459 – 1468.
- Liseune, A., Salamone, M., Van den Poel, D., Van Ranst, B., y Hostens, M. (2021). Predicting the milk yield curve of dairy cows in the subsequent lactation period using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105904.
- López, J., Quijano, J., y González, L. (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control y a los 305 días

- en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*, 31(179). <http://www.lrrd.org/lrrd31/11/luggo31179.html>
- Macciotta, N., Vicario D., Pulina, G. y Cappio-Borlino, A. (2002). Test-day and lactation yield predictions in Italian Simmental cows by ARMA methods. *J Dairy Sci*, 85: 3107- 3114.
- Machado, S. G. (1997). *Parâmetros genéticos e de ambiente da produção de leite no dia do controle da primeira lactação de vacas da raça Holandesa*. [Dissertação Mestrado em Zootecnia]. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Martínez, J. L., Bernal, J. Q., y Herrera, L. G. (2019). Estimación de parámetros genéticos para producción de leche en el día de control ya los 305 días en primeras lactancias de vacas Lucerna. *Livestock Research for Rural Development*, 31, 179.
- Méndez, M., y Fraga, L. M. (2012). Milk yield and fat percentage at the control day in river buffalo cows in the Granma province. *Archivos de Zootecnia*, 61(233), 11-18.
- Meseret, S. y Negussie, E. (2017). Genetic parameters for test-day milk yield in tropical Holstein Friesian cattle fitting a multiple-lactation random regression animal model. *Revista Sudafricana de Ciencia Animal*, 47 (3), 352-361. <https://dx.doi.org/10.4314/sajas.v47i3.12>
- Meyer, K., Graser H. U., y Hammond, K. (1989). Estimates of genetic parameters for first lactation test day production of australian black and white cows. *Livestock production science*, 21(3), 177 – 192.
- Mucha, S., Mrode, R., Coffey, M., y Conington, J. (2014). Estimation of genetic parameters for milk yield across lactations in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2455-2461.
- Olori, V. E., Hill, W. G., McGuirk, B. J., y Brotherstone, S. (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.

- Pander, B. L., Hill, W. G., y Thompson, R. (1992). Genetic parameters of test day records of British Holstein-Friesian heifers. *Animal Science*, 55(1), 11-21.
- Pereira, R. J., Ayres, D. R., Santana, M. L., Faro, L. E., Vercesi, A. E., y Albuquerque, L. G. D. (2019). Test-day or 305-day milk yield for genetic evaluation of Gir cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54.
- Ptak, E., y Schaeffer, L. R. (1993) Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Rev. Livest. Prod- Sci*, 34 (1-2):23-34.
- Schaeffer, L., Jamrozik, J., Kistemaker, J. y Van Doormaal, B. (2000). Experience with a Test-day model. *J. Dairy Sci*, 83: 1135-1144.
- Strabel, T. y Szwaczkowski, T. (1997). Additive genetic and permanent environmental variance components for test day milk traits in Black-White cattle. *Livest Prod Sci*, 48(2):91-99.
- Swalve, H.H. (1995a). The effect of test day models on the estimation of genetics parameters and breedin values for dairy yields traits. *J. Dairy Sci*, 78 (4): 929 – 935.
- Swalve, H.H. (2000). Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluations methods. *J. Dairy Sci*, 83:1115-1124.
- Tijani, A., Wiggans, G., Van Tassell, C., Philpot, J. y Gengler, N. (1999). Use of (Co) variance functions to describe (Co) variances for test day yield. *J. Dairy Sci*, 82 (1):226 – 229.
- Toledo, H., Ruiz, F., Vásquez, C., Berruecos, J. y Elzo, M. (2014). Parámetros genéticos para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(4), 443-457. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242014000400005&lng=es&esytlng=es.
- Tonhati, H. (2002). *Critérios de seleção para produção total de leite em bubalinos criados no estado de São Paulo, Brasil*. [Teses, Livre Docência, Faculdade de Ciências Pecuárias]. Universidade Estadual Paulista.

- Van Vleck, L., y Henderson, C. (1961). Estimates of genetic parameters of some functions of part lactation milk records. *Journal of Dairy Science*, 44(6), 1073-1084.
- Vargas, B., Perez, E., y Van Arendonk, J. A. M. (1998). Analysis of test day yield data of Costa Rican dairy cattle. *Journal of dairy science*, 81(1), 255-263.
- Vasconcelos, J., Martins, A., Retim-Batista, M., Colaco, J. y Blake, W., Carvalheira, J. (2004). Prediction of daily and lactation yields of milk, fat, and protein using autoregressive repeatability Test Day Model. *J Dairy Sci*, 87: 2591-2598.
- Vergara, O., Cerón, M., Hurtado, N., Arboleda, E., Granada, J., y Rúa, C. (2008). Estimación de la heredabilidad del intervalo de partos en bovinos cruzados. *Revista MVZ Córdoba*, 13(1), 1192-1196.
- Wilmink, J. (1987). Efficiency of selection for different cumulative milk, fat and protein yields in first lactation. *Livestock Production Science*, 17, 211-224.
- Zumbach, B., Tsuruta, S., Misztal, I., y Peters, K. J. (2008). Use of a test day model for dairy goat milk yield across lactations in Germany. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 125(3), 160-167.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

La selección genética en ganado lechero basada en las metodologías PDC, presenta mayor eficiencia en comparación a las metodologías tradicionales (PLT305, PLT270, PLT240), en cuanto a la elección de individuos, cuyas características genéticas y debido a la gestión para la toma de decisiones y manejo en el rebaño y a la selección de reproductores que sean seleccionados siempre y cuando se consideren los factores sistemáticos y aleatorios para el control lechero empleado en la selección de los animales, varían a lo largo de la lactancia acorde a las heredabilidades para la PL. Por otro lado, el empleo de la PDC permite modelar los efectos específicos del día en que se realizó el control, además de considerar los factores ambientales que influyen en los diferentes estados de la lactancia, prediciendo valores genéticos de los animales en diferentes puntos de las curvas de lactancia.

En este sentido, diferentes factores ambientales, además de otras variables, pueden ser incluidos en los modelos PDC, con el fin de modelar de la mejor forma posible la curva de la lactancia de hembras en producción; esta inclusión de efectos permite una disminución en la varianza total y residual, llevando a realizar una mejor estimativa de la varianza genética y, por consiguiente, aumentado el valor genético de los animales de esta forma serán seleccionados con mayor confiabilidad los mejores individuos

genéticamente como futuros reproductores. En los modelos PDC pueden ser estimados los parámetros genéticos como heredabilidades, varianzas y (co)varianzas en diferentes puntos o en cualquier punto de la curva de la lactancia.

La metodología de la producción de leche en el día del control presenta mayores ventajas comparadas con las metodologías convencionales, especialmente en la predicción del valor genético de hembras que se encuentran en producción. Igualmente, esta metodología permite una disminución de los costos en programas de control lechero. La selección de reproductores basados en metodologías PDC presenta mayor eficiencia que la producción de leche hasta 305 días de lactancia, siempre y cuando se tenga en cuenta el control empleado para la selección de reproductores, debido a que las heredabilidades para la PL cambian a lo largo de la lactancia.

Por otro lado, el empleo de la PDC permite modelar los efectos ambientales específicos del día en que se realizó el control, además de considerar los factores ambientales que influyen en los diferentes estados de la lactancia, prediciendo los valores genéticos de los animales en diferentes puntos de las curvas de lactancia.

A pesar de la alta demanda computacional que presentan los modelos PDC, en la actualidad esta metodología viene aplicándose en evaluaciones genéticas internacionales de reproductores bovinos lecheros. Los requerimientos computacionales y el número de ecuaciones para resolver aumentan a medida que la función que explica la curva de la lactancia aumenta sus parámetros. Además, los efectos ambientales pueden ser modelados de una mejor forma mediante la inclusión de regresores aleatorios dentro de los modelos de evaluación genética, aumentando la confiabilidad en la estimación de los valores genéticos de los animales evaluados.



EPÍLOGO

Las evaluaciones genéticas para el estudio de la producción en Día del Control (PDC) permiten, a través de un proceso bioestadístico y lógico, identificar los intervalos específicos de la curva de lactancia, por medio de la colecta de información productiva obtenida de forma individual. La implementación de metodología PDC en ganado lechero consideran informaciones faltantes, lactancias cortas o incompletas, resaltando en la importancia de incorporar esta información al momento de utilizar modelos bioestadísticos que permiten realizar proyecciones de producción, optimizando la productividad de un hato, debido al seguimiento y mejoramiento de los programas de alimentación y nutrición, buenas prácticas pecuarias y mejora de las condiciones de sanidad e infraestructura de los rebaños. El empleo de metodologías PDC se fundamenta en la colecta de informaciones zootécnicas individuales y del rebaño; así mismo, la metodología de PDC considera no solo la producción diaria de las hembras en lactancia, sino también analiza los diferentes efectos ambientales y genéticos que permite realizar una evaluación genética de los individuos, con la finalidad de identificar y seleccionar de forma anticipada aquellos individuos con alto mérito genético para características de importancia económica, afianzando las bases para realizar una reducción en el intervalo generacional en programas de mejoramiento genético en rebaños lecheros.

GLOSARIO

- PLT305: producción de leche total a 305 días de lactancia
- Producciones en el Día del Control (PDC): los métodos PDC fueron definidos como procedimientos estadísticos que consideran efectos específicos en cada control de leche, ya que cada vaca se encuentra afectada por factores ambientales y de manejo que varían a lo largo de la lactancia (Reents, 1996).
- PDCO: producciones en el día del control ordinario.
- FC: funciones de covarianza.
- Modelos de regresión aleatorio (MRA): los modelos de regresión aleatoria han sido propuestos como alternativa para modelar características que tienen medidas repetidas en el tiempo, ya que proveen valores de cría para la totalidad de la curva de lactancia (Morales *et al.*, 2012; Corrales *et al.*, 2016).
- Variación fenotípica.
- Los modelos PDC infinitos (PDCI) o también llamados Modelos de Regresión Aleatoria (MRA) consideran la forma de la curva de

lactancia y analizan los (n) controles por medio de una estructura unicaracterística.

- Número de días en producción (NDP): el efecto del NDP se debe de tener muy en cuenta, ya que estos determinan la forma de la curva de lactación (Ali y Schaeffer, 1987).

EVALUACIÓN GENÉTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN DÍA DEL CONTROL

Las evaluaciones genéticas para el estudio de la producción en Día del Control (PDC), permiten identificar los intervalos específicos de la curva de lactancia en ganado lechero por medio de la colecta de información individual; a través de procesos bioestadísticos se consideran lactancias incompletas, se realizan proyecciones de producción y se optimiza la productividad gracias al seguimiento y mejoramiento de los programas lecheros.

El libro presenta la importancia del empleo de metodologías PDC en la selección genética de ganado lechero: modela los efectos ambientales específicos del día en que se realizó el control, clasifica los modelos PDC, presenta mayores ventajas comparadas con las metodologías convencionales, estima parámetros genéticos como la heredabilidad, evalúa hembras que no terminaron la lactancia sin la necesidad del empleo de factores de ajuste.

Dirigido a estudiantes de pregrado y profesionales en Zootecnia, Ingeniería Agropecuaria, Administración de Empresas Agropecuarias, Ingeniería Agronómica, Agronomía, Biología, y áreas vinculadas a la producción agropecuaria.

Incluye

- ▶ Los temas de genética y el mejoramiento desde una perspectiva aplicada a los sistemas de producción pecuaria.
- ▶ Una guía práctica de los pasos y principios que se deben tener al aplicar un plan de mejoramiento animal.
- ▶ Conceptos teóricos y prácticos, así como los principios y normas que rigen un programa de mejora genética animal.

Naudin Alejandro Hurtado-Lugo

Posdoctor en Zootecnia y en Genética y Mejoramiento Animal de la Universidad Estadual Paulista Brasil. Doctor en Zootecnia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias de la Universidad Estadual Paulista Brasil. Magíster en Mejoramiento Genético Animal. Zootecnista de la Universidad de Antioquia.

Donicer Eduardo Montes-Vergara

Doctor en Genética y Mejoramiento Animal de la Universidad Estadual Paulista Brasil. Magíster en Genética de la Universidad Simón Bolívar. Zootecnista de la Universidad de Sucre.

Francisco Ribeiro De Araujo-Neto

Doctor en Genética y Mejora Animal por la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho. Máster en Genética y Mejora Animal de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho. Licenciado en Zootecnia por la Universidad de Río Verde.



Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación



e-ISBN 978-958-503-591-1