

Componentes de (Co) varianza de la producción de leche, grasa, proteína e ingresos por venta de leche mediante MRA en vacas Holstein de Antioquia

Oscar David Múnera Bedoya. Zoot.

Director

Mario Fernando Cerón Muñoz

Maestría en Ciencias Animales

POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

MEDELLIN

2013

Componentes de (Co) varianza de la producción de leche, grasa, proteína e ingresos por venta de leche mediante MRA en vacas Holstein de Antioquia

Oscar David Múnera Bedoya. Zoot.

Informe Final del trabajo de Investigación

Tutor

Mario Fernando Cerón Muñoz. Zoot. PhD

Comité tutorial

Diana María Bolívar Vergara. Zoot. MSc. PhD.

Luis Fernando Galeano Vasco. Zoot. MSc, cPhD

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en
Ciencias Animales.**

**POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
MEDELLIN
2013**

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y la Corporación Antioquia Holstein, por su apoyo financiero y logístico, que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

A mi tutor, profesor Mario Fernando Cerón-Muñoz, por su valiosa orientación.

A los profesores Luis Fernando Galeano Vasco y Diana María Bolívar Vergara, integrantes del comité tutorial, por su disponibilidad y valiosas sugerencias que contribuyeron al mejoramiento de este trabajo.

Al profesor Luis Gabriel González Herrera de la UPT, a Samir Calvo Cardona y a Ana Cristina Herrera por su invaluable asesoría en del desarrollo del presente trabajo.

A los estudiantes de pregrado Sebastián Pineda, Luz Mery Molina Taborda, Leonardo Cardona Iglesias, José Fernando Villa Cardona, Sebastián Leal Serna, Camila Rodríguez Quintero, Jeanneth Mosquera Rendón, Luis Eduardo Lopera Lopera y al Joven Investigador Andrés Felipe Henao Velásquez por su ayuda en el trabajo de campo y depuración de bases de datos, gracias a su cooperación y colaboración se logró culminar este trabajo.

A mis compañeros de estudio Ana Cristina Herrera Ríos, Diana María Gutiérrez, Divier Agudelo Gómez, Samir Calvo Cardona y Luis Fernando Galeano Vasco, por su apoyo, comprensión y colaboración en las jornadas de trabajo y fuera de ellas.

A los profesores Carlos Humberto Tamayo Patiño, Henry Cardona Cadavid, Elkin Mauricio Arboleda Zapata, Alba Montoya, María Lila Barrios, por su colaboración durante el desarrollo del programa de maestría. Su apoyo me permitió fortalecer mi proceso de formación académica y personal.

A Ana Cristina Herrera Ríos, Luz Victoria Orozco, Natalia Zapata, Diana Gutiérrez, Divier Agudelo, Julián Ramírez, Paula Angel, Andrés Felipe Henao Velásquez, Carlos

Toro Gutiérrez, Alejandro Díaz, Verónica Montoya, con quienes tuve la oportunidad de compartir a nivel académico y personal.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron al desarrollo de trabajo con éxito; Carolina Mesa, Jeannie Cerlyn Sepulveda, Ángela María Agudelo Pérez, del grupo de trabajo del Centro de Investigación de Ciencias Agrarias.

Dedicatoria.

A mis padres Ramiro y Blanca Ruth. A mis hermanos Ligia Isabel, Héctor Javier, Juan Diego, Víctor Daniel y Sandra Patricia, por su acompañamiento, apoyo y fortaleza durante todo mi proceso de formación. Los amo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	11
RESUMEN	13
OBJETIVOS	16
General	16
Específicos	16
HIPÓTESIS	17
BACKGROUND	18
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
Producción de leche.	20
Sistema de pago al productor	21
Evaluaciones genéticas en ganado de leche en Antioquia	23
Modelos de Regresión Aleatoria aplicada a programas de Evaluación Genética.	25
Referencias bibliográficas	31
ARTÍCULO I	36
COMPONENTES DE (CO) VARIANZA Y PARÁMETROS GENÉTICOS PARA PRODUCCIÓN DE GRASA Y PROTEÍNA A TRAVÉS DE MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA EN HEMBRAS HOLSTEIN DE PRIMERA LACTANCIA.	36
Resumen	36
Introducción	38
Materiales y Métodos	40

	7
Resultados y discusión	43
Agradecimientos	52
Revisión Bibliográfica	52
ARTÍCULO II	56
COMPONENTES DE (CO) VARIANZA Y PARÁMETROS GENÉTICOS PARA PRODUCCIÓN DE LECHE E INGRESOS POR VENTA DE LECHE A TRAVÉS DE MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA EN HEMBRAS HOLSTEIN DE PRIMERA LACTANCIA.	56
Resumen	56
Introducción	58
Materiales y Métodos	60
Resultados y discusión	63
Conclusión	71
Agradecimientos	72
Referencias citadas.	75
CONCLUSIONES	79

LISTA DE TABLAS

Background

Table 1	Funciones polinomiales de Legendre	29
---------	------------------------------------	----

ARTÍCULO II

Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de leche e ingresos por venta de leche a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia

Table 1	Comparación de modelos con diferentes órdenes de polinomios de Legendre para Leche e Ingresos por venta de leche en vacas holstein de Antioquia	73
---------	---	----

LISTA DE FIGURAS

Background

Figura 1	Curvas de los polinomios de Legendre (hasta $m = 5$), donde m es el orden del polinomio de Legendre.	30
----------	---	----

ARTÍCULO I

Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de grasa y proteína a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

Figura 1.	Varianzas genética aditiva directa (VGAD), fenotípica (VF), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para producción de grasa obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.	45
Figura 2.	Varianzas genética aditiva (DAVG), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para proteína obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.	46
Figura 3.	Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para producción de grasa.	47
Figura 4.	Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para producción de proteína láctea.	48
Figura 5	Correlaciones genéticas aditivas para producción de grasa en vacas holstein del departamento de Antioquia.	49
Figura 6.	Correlaciones fenotípicas para producción de grasa en vacas holstein de Antioquia.	50
Figura 7.	Correlaciones genéticas aditivas para producción de proteína láctea en vacas holstein del departamento de Antioquia.	50
Figura 8	Correlaciones fenotípicas para producción de proteína láctea	51

en vacas holstein de Antioquia.

ARTÍCULO II

Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de leche e ingresos por venta de leche a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

Figura 1	Varianzas genética aditiva (DAGV), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para producción de leche obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.	65
Figura 2.	Varianzas genética aditiva (DAGV), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para ingreso por venta de leche obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.	67
Figura 3	Heredabilidades (h^2) para producción de leche a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia.	67
Figura 4	Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para ingresos por venta de leche.	68
Figura 5	Correlaciones genéticas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para producción de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.	69
Figura 6	Correlaciones fenotípicas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para producción de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.	70
Figura 7	Correlaciones genéticas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para ingresos por venta de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.	70
Figura 8	Correlaciones fenotípicas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para ingresos por venta de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.	71

INTRODUCCIÓN GENERAL

En Colombia los sistemas de producción lechera en las altiplanicies han alcanzado un desarrollo tecnológico y social importante, lo que lo ha llevado a que sean reconocidos a nivel nacional como un sistema de producción especializado. Las zonas que se destacan son el Altiplano Túquerres-Ipiales en Nariño, la sabana Cundi-boyacense y los altiplanos Norte y Oriente Antioqueño. Este sistema es responsable del 40% de la producción total de leche del país con el 2% del hato bovino nacional. El sistema de producción se caracteriza por el uso masivo de material genético importado, razas con altos niveles de producción (holstein, jersey, ayrshire, normando y sus cruces); el acceso a tecnología y la mecanización de varios procesos productivos, el mejoramiento de praderas, la implementación de programas de suplementación y la puesta en marcha de sistemas de gestión de calidad, buenas prácticas ganadera y certificación de hatos, a lo que se suma el trabajo desarrollado por la industria y los productores por obtener un estatus sanitario más elevado que el del resto del país.

Los recientes cambios en el ámbito comercial internacional, la implementación de tratados comerciales con otros países y la falta de políticas agropecuarias acertadas a nivel nacional genera retos y oportunidades a los ganaderos para hacer más eficientes y sostenibles los sistemas de producción. El sector lácteo es susceptible a los cambios en la oferta y la demanda a nivel internacional y a las distorsiones del mercado producto de la especulación de precios, el contrabando, las importaciones de leches en polvo y lactosueros y el bajo consumo interno de lácteos. La incertidumbre entre los ganaderos del sector lácteo ofrece la oportunidad de optimizar los sistemas de producción actuales a través de la implementación de programas de evaluación y selección de animales basados en los requerimientos actuales del mercado, los cuales se enfocan en los niveles de producción de leche, grasa y proteína láctea.

Los programas de evaluación genética de característica de interés zootécnico en ganado lechero surgen como una alternativa que aporta información confiable para la toma de decisiones, ayudando a los productores del departamento a maximizar el beneficio económico. Optimizar los programas de selección de animales con alto mérito

genético permite aprovechar los recursos disponibles en las fincas, diluir los costos de producción, reducir el impacto ambiental, ofrecer productos de mejor calidad y mejorar los parámetros productivos y reproductivos de la región cuando son acompañados de programas nutricionales y de manejo que permitan la expresión del potencial genético de los animales.

Con el presente trabajo se pretende realizar un acercamiento al desarrollo de evaluaciones genéticas para características zootécnicas de importancia económica relacionadas con los ingresos generados por venta de leche en ganado holstein en Antioquia, según el sistema de pago al productor vigente en Colombia a través de Modelos de Regresión Aleatoria (MRA).

RESUMEN

El éxito de los sistemas de producción ganadera tecnificados se fundamenta en la optimización de los recursos de un modo sostenible y sustentable. La ganadería lechera afronta retos de competitividad dadas las características del mercado lácteo internacional. La subregión Norte del departamento de Antioquia con los municipios de San Pedro de los Milagros, Entrerriós, Belmira, Don Matías, Santa Rosa de Osos, Yarumal y San José de la Monatáña, y el Oriente con las localidades de Rionegro, El Carmen de Viboral, La Ceja y La Unión representan las dos cuencas lecheras más importantes del departamento, responsables de proveer la mayor parte de la leche que se procesa en la región. La ejecución de metodologías que permitan desarrollar programas de medición, evaluación y selección de animales genéticamente superiores y basados en las condiciones ambientales y económicas locales ofrece a los ganaderos una herramienta para la toma de decisiones en las empresas pecuarias permitiendo maximizar el beneficio económico.

En Antioquia los productores en cabeza de la Corporación Antioquia Holstein, la industria privada, la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia, han implementado programas de monitoreo y evaluación genética para características de producción de leche aportando herramientas a los productores para el mejoramiento de los rendimientos productivos en los hatos. Recientemente, la utilización de tecnologías avanzadas y el aumento en la capacidad de los equipos de cómputo han posibilitado la ejecución de nuevas metodologías en los programas de evaluación genética. Los Modelos de Regresión Aleatoria (MRA) constituyen una metodología con amplio potencial para estimar parámetros genéticos y componentes de varianza en diferentes puntos de la lactancia, ya que considera la forma de la curva de producción de leche y el efecto particular para cada vaca en el día de control. El presente estudio tuvo como objetivo estimar componentes de varianza y parámetros genéticos para características zootécnicas de importancia económica como lo son el volumen de leche (L), grasa (G), proteína en kilogramos (P) e ingresos por venta de leche en pesos colombianos (IL) en animales holstein del departamento de Antioquia mediante

MRA. Se seleccionaron 30 hatos holstein del norte y oriente de Antioquia, los análisis incluyeron 9479 registros mensuales de L, G, P e IL pertenecientes a 1210 vacas de primera lactancia. Para cada característica se evaluaron MRA con diferentes órdenes de polinomio ortogonal de Legendre para estimar los coeficientes de la curva fija de la población, la predicción de los efectos genético aditivo directo y del ambiente permanente. También se consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases. Los modelos fueron comparados mediante el criterio de BIC. Los componentes de varianza fueron obtenidos por el método de máxima verosimilitud restringida mediante el programa estadístico WOMBAT.

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan a través de una revisión de literatura y dos artículos, los cuales son presentados a continuación:

Generalidades

Este capítulo corresponde a la revisión de literatura del proyecto. En él se analiza la importancia de los sistemas de producción lechera en Colombia, programas de mejoramiento genético en ganado de leche adelantados en la región y las características a evaluar en los programas de evaluación genética para ganado de leche en Antioquia.

Artículo 1: Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para producción de grasa y proteína láctea a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

El objetivo de este artículo fue comparar MRA con diferente orden de polinomio ortogonal de Legendre para estimar los coeficientes de la curva fija de la población, la predicción de los efectos genético aditivo directo y del ambiente permanente considerando varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases y estimar componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para G y P a través de MRA en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia. Para ambas características las varianzas genética aditiva directa, fenotípica, de ambiente permanente y residual

disminuyeron a medida que avanzaba la lactancia. Las heredabilidades encontradas para G y P fueron de medias a altas, siendo mayores al inicio de la lactancia.

Artículo 2. Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para producción de leche e ingresos por venta de leche a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

En éste capítulo se compararon MRA con diferente orden de polinomio ortogonal de Legendre para estimar los coeficientes de la curva fija de la población, la predicción de los efectos genético aditivo directo y del ambiente permanente. También se consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases. Además, se estimaron a través de MRA componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de leche (L) en kg y para ingresos por venta de leche (IL) pagada al productor en pesos colombiano de acuerdo al sistema de pago vigente en Colombia. Para L y para IL los mejores modelos consideraron varianzas residuales heterogéneas de 5 clases. Las heredabilidades observadas para ambas características fueron de medias a bajas, siendo más altas al inicio de la lactancia.

OBJETIVOS

General

- Estimar componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de leche, grasa proteína láctea e ingresos por venta de leche en animales holstein de primera lactancia del departamento de Antioquia

Específicos

- Estimar componentes de varianza por medio de Modelos de Regresión Aleatoria con polinomios de diferente orden para producción de leche en vacas holstein de primer parto en Antioquia.
- Estimar componentes de varianza por medio de Modelos de Regresión Aleatoria con polinomios de diferente orden para producción de grasa en vacas holstein de primer parto en Antioquia.
- Estimar componentes de varianza por medio de Modelos de Regresión Aleatoria con polinomios de diferente orden para producción de proteína en vacas holstein de primer parto en Antioquia.
- Estimar componentes de varianza por medio de Modelos de Regresión Aleatoria con polinomios de diferente orden para ingresos por venta de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.

HIPÓTESIS

Existe variabilidad genética en la población holstein de primer parto del departamento de Antioquia para las características producción de leche, grasa, proteína e ingresos por venta de leche.

Background ¹

RESUMEN

La ganadería de leche constituye una de las actividades económicas más importantes del departamento de Antioquia. Se reconocen las subregiones de los altiplanos Norte y Oriente del departamento como las principales cuencas lecheras por su alto potencial productivo gracias a las condiciones agroecológicas y los avances tecnológicos implementados. Los programas de evaluación genética realizados en el departamento ofrecen alternativas para mejorar los parámetros productivos en los hatos y maximizar el beneficio económico a partir del mejoramiento del valor genético de los animales. Importantes esfuerzos se han realizado gracias a la cooperación de la academia, la industria y las asociaciones de productores en desarrollar evaluaciones genéticas para características de interés zootécnico en ganado de leche en Antioquia. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la importancia de los programas de evaluación genética en sistemas de producción de leche en el departamento de Antioquia. Se describen las características que poseen importancia zootécnica en Colombia basado en el sistema de pago de leche al productor según la normatividad vigente como una alternativa para iniciar el proceso de evaluación genética.

Palabras clave: Evaluación genética, Ganado de leche, Mejoramiento Genético, Pago de leche.

Abstract

The dairy farming is one of the most important economic activities of the Antioquia department. The northern and eastern subregions of the department are considered as the main dairy sectors for its high production potential, due to the agro-ecological conditions and the technological advances implemented. The genetic evaluation

¹ Artículo derivado del proyecto: "Evaluación genéticoeconómica de bovinos Holstein en sistemas de producción de leche en Antioquia" financiado por Colciencias, la Universidad de Antioquia y la Corporación Antioquia Holstein.

programs conducted in the Antioquia department offers alternatives to improve the different productive parameters in the herd maximizing the economic benefit due to the animal genetic-enhancement. Important efforts have been made through the cooperation of the industry, the academia, and the producers associations to make genetic evaluations for productive characteristics of the dairy cattle in Antioquia. The aim of this paper is to analyze the importance of the genetic evaluation programs in dairy production systems in the Antioquia department. This paper describes the characteristics of economic importance in the Colombia dairy segment, based on the current regulations of the milk payment system, as starting point for the process of genetic evaluation.

INTRODUCCIÓN

La raza Holstein es la más difundida en el mundo por su amplio potencial de producción de leche, el cual varía a lo largo de la lactancia causando cambios en la concentración de metabolitos lácteos como proteína, grasa y sólidos totales. Se hace necesario determinar los niveles de producción en los diferentes puntos de la curva de lactancia y establecer componentes de varianza y parámetros genéticos para las características de calidad de leche que son económicamente rentables para el productor en las empresas ganaderas locales, con el fin de identificar y evaluar los programas de selección genética de animales superiores y la toma de decisiones para aumentar la eficiencia y rentabilidad de los hatos.

En la última década, diversos países han realizado acciones para desarrollar programas de selección de animales con alto potencial genético, con el objetivo de aprovechar las técnicas de inseminación artificial, superovulación y transferencia de embriones, así como el procesamiento electrónico de la información de parentesco, información productiva y reproductiva, con el fin de identificar y diseminar en los rebaños los individuos probados como superiores en las características de mayor importancia económica (ICAR, 2002) en especial producción de leche, grasa y proteína. En Colombia la selección de reproductores generalmente se basa en características fenotípico-morfológicas, que buscan un ideal racial. Sin embargo, este tipo de

procedimiento puede retardar la obtención de individuos con patrones productivos óptimos en función de las bajas correlaciones existentes entre las características de conformación y producción (Lynch y Walsh, 1998). Por consiguiente, se debe priorizar en aspectos productivos, sin abandonar el juzgamiento racial, ya que algunas características como aplomos y tipo de ubre son importantes en el momento de la monta, facilitando los cuidados en el ordeño y en la prevención de enfermedades de la ubre. Por otro lado, algunos aspectos como el tipo y la conformación, se encuentran positivamente relacionados con la longevidad productiva de los animales (Lynch y Walsh, 1998). En cuanto a calidad de leche, Herrera et al. (2012), encontraron que los índices porcentuales promedios de las vacas holstein del departamento de Antioquia están por debajo de las concentraciones normales de la raza para los metabolitos lácteos grasa y proteína al analizar 3158 lactancias correspondientes a 1897 vacas controladas mensualmente entre septiembre de 2008 y mayo de 2010 en el norte y oriente antioqueño en lecherías holstein, al ser contrastadas con los estándares de la raza reportados por la literatura en diferentes regiones.

Producción de leche.

La Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas FAO (2011) estimó una producción mundial de leche de 750.1 millones de toneladas de leche en polvo para 2012, siendo esta mayor en 2.7% frente a 2011. De acuerdo con la dinámica alcista de precios en 2012 y a pesar del impacto de la crisis económica mundial, la demanda de la leche y sus derivados seguirá en aumento, jalonada por los crecimientos económicos y demográficos de los mercados emergentes, en los que se resalta el grupo de los BRIC -Brasil, Rusia, India y China (FAO, 2011).

Colombia posee un amplio potencial para la ganadería, el cual se encuentra representado en un área disponible de 31 millones de hectáreas en pastos (FEDEGAN, 2008) y con una gran variedad de grupos raciales adaptados a las diferentes zonas agroecológicas. Aunque se tiene un gran potencial, la ganadería colombiana solo posee cerca de 23 millones de bovinos, de los cuales menos del 15% corresponde a Bos Taurus (conocidas como razas europeas). Gracias al trabajo desarrollado por los

ganaderos y los gremios, el país ha logrado un importante avance en el desarrollo de programas de mejoramiento ganadero a través de la introducción de material genético, es el caso de los animales holstein, los cuales vienen dominando los sistemas de producción de leche especializada prosperando extraordinariamente en Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia, Nariño, Boyacá, Quindío, Risaralda y Cauca (UNAGA, 2002).

Estimativos con base en el acopio formal de leche en país, muestran de una dinámica creciente en el mediano plazo con niveles promedio del 2.5% anual (FEDEGAN, 2008), aunque con tendencia a estabilizarse. Colombia se ha posicionado como el cuarto productor de leche con un volumen aproximado de 6.500 millones de toneladas por año, superado sólo por Brasil, México y Argentina. A nivel mundial, el país ocupa una posición privilegiada al ubicarse en el lugar número 151 dentro del ranking total de productores (PROEXPORT, 2011), aunque las condiciones cambiantes de comercio exterior obligan a los productores a ser más competitivos y producir leches de alta calidad composicional e higiénica.

Sistema de pago al productor

En Colombia, se observan iniciativas para una mayor remuneración económica en leches que presentan una alta calidad higiénica y un mayor contenido de componentes lácteos. Sin embargo, según estadísticas del mercado lácteo colombiano (MADR, 2007) en el departamento de Antioquia se presenta la mayor comercialización de leche cruda y a nivel económico, los costos de producción siguen siendo altos debido a la dependencia de materias primas e insumos externos, sumado a estos efectos, la oferta de leches importadas a bajo costo.

Según la resolución 000017 de 2012 del MADR (2012), el precio pagado al ganadero por litro de leche debe estar directamente relacionado con la evaluación que se realice por calidad composicional e higiénica, se establece que la valoración para el pago al productor se realizará de acuerdo al contenido en términos de cantidad de gramos para sólidos totales o proteína y grasa que presente la leche. Para la región 1, el valor del

gramo de grasa y proteína en pesos para el pago será a razón de \$ 18.27 y \$ 6.09, mientras que para la región dos será de \$16.48 y 5.49 respectivamente, de ahí la necesidad de promover programas de evaluación y mejoramiento genético encaminados a aumentar los niveles de producción de sólidos lácteos en el departamento. Para tal efecto, esta resolución da la liquidación del precio del litro de leche al productor por gramos de grasa y proteína láctea, para lo cual se zonificó el país agrupando los departamentos según sus características productivas, de este modo se creó la región 1 conformada por Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Quindío, Risaralda, Caldas, Nariño, Cauca y Valle del Cauca, y la Región 2 compuesta por Cesar, Guajira, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Choco, Magdalena, Norte de (MADR, 2012)

Del mismo modo, se dispuso una serie de bonificaciones y/o descuentos por concepto de calidad higiénica, sanitaria, bonificaciones voluntarias y costos de transporte. La calidad higiénica, representada en estándares de recuento total de bacteria o Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ml) para cada región es de 175000 a 200000 UFC/mL y 210000 a 300000 UFC/mL en la región 1 y 2, respectivamente. Al proveedor le serán reconocidas bonificaciones obligatorias y/o descuentos derivados de los rangos de calidad higiénica y uso de frío establecidos para cada una de las regiones, estos valores se liquidarán en pesos colombianos (\$) de acuerdo con las tablas y rangos definidos que se encuentran en el anexo metodológico de la resolución 000017 de 2012 del MADR. Para calidad sanitaria, el estándar exige la presentación del registro único de vacunación contra fiebre aftosa y brucelosis. Al productor de leche le serán reconocidas las bonificaciones obligatorias por calidad sanitaria, para lo cual se exige la presentación del certificado expedido por el ICA como hatos libres de brucelosis y/o tuberculosis o de ambas enfermedades, la bonificación por hatos libres de una enfermedad corresponde a \$ 10 por litro y por las dos enfermedades \$ 20 por litro. A partir del 1° de marzo de 2012, se estableció una bonificación de \$ 10 por litro de leche para hatos que presenten al agente comprador el certificado de Buenas Prácticas Ganadera BPG expedido por el ICA (MPS, 2006).

Evaluaciones genéticas en ganado de leche en Antioquia

Según FEDEGAN (2008), el apuntalamiento de los programas genéticos para nuestro país debe conciliar la adaptabilidad con el componente de productividad, de acuerdo con las expresiones del potencial genético de los individuos de cada raza. En general los cruzamientos selectivos o la preferencia por una u otra raza pura deben obedecer más a las exigencias de los mercados, que a la tradición u otras consideraciones. Es necesario que la ganadería de leche a nivel nacional se enfoque en los patrones de consumo de los principales mercados internacionales (producción de grasa y proteína) y se especialice en la implementación de sistemas productivos sostenibles que potencialicen el componente genético disponible. Dentro de este esquema, las razas puras conservan su enorme importancia estratégica como base genética para la producción láctea de acuerdo con las preferencias de los mercados (FEDEGAN, 2008). La ganadería nacional debe democratizar la genética para hacerla asequible a los medianos y pequeños ganaderos, mediante programas de evaluación genética en condiciones medioambientales propias de los sistemas locales.

Es importante conocer los niveles de producción de los sólidos a lo largo de la lactancia, como herramienta para generar niveles óptimos de producción en los hatos lecheros del departamento y hacerlos más productivos. El éxito de todo programa de mejoramiento genético radica en la exactitud con la cual se realizan las evaluaciones de los animales. Éste depende de la estructura de la base de datos, modelo y los métodos con que se realice la evaluación (Fernández et al., 2011). En Colombia, existen pocos estudios relacionados con la estimación de componentes de varianza y parámetros genéticos para la producción de leche y los constituyentes grasos y proteicos en todos los puntos de la curva a lo largo de la lactancia. Su determinación permite la selección de animales genéticamente superiores para niveles de producción de leche y sólidos lácteos de acuerdo a las necesidades de los productores y el mercado, las cuales unidas a sistemas de manejo de información, generarán programas de suplementación y manejo, y facilitará la toma de decisiones, mejorando el margen de utilidad en el sector.

En tal sentido, importantes avances se han dado en los programas de evaluaciones genéticas para características productivas en ganado de leche en el departamento. En

los últimos años, se han implementado estudios a través de la metodología denominada día del control o “test day”, donde se considera la producción de leche en cada control lechero como una característica distinta a lo largo de la lactancia de una hembra. Este tipo de evaluación se ha realizado en varios países porque permite acelerar el proceso de evaluación genética, ya que no es necesario esperar la finalización de la lactancia de una hembra para que ésta sea incluida en las evaluaciones (Herrera et al., 2012), además se tiene una mayor precisión en la modelación para los efectos ambientales que interfieren en la expresión de las características, tales como: grupo de manejo, número de ordeños, mes y año de parto, edad al parto y rebaño, entre otros (Jamrozik y Schaeffer, 1997). Alrededor de esta metodología se han desarrollado una serie de trabajos dirigidos al mejoramiento del ganado holstein en el departamento. El grupo de Genética, Mejoramiento y Modelación Animales –GaMMA- de la Universidad de Antioquia cuenta con una base de datos completa para características de producción de leche, grasa, proteína e ingresos por venta de leche de controles mensuales de hembras holstein del departamento de Antioquia, además de la experiencia en el desarrollo de evaluaciones genéticas basadas en la metodología test day (Ceron-Muñoz, et al., 2011), producto de las cuales se han publicado 3 catálogos en los que se evalúa el desempeño de toros nacionales e importados y sus vacas en las condiciones antioqueñas de producción, con el objetivo de saber cuáles son los mejores animales que pueden ser utilizados como reproductores para el mejoramiento zootécnico de los rebaños del departamento para producción de leche, grasa y proteína láctea (Cerón-Muñoz et al., 2009; Cerón-Muñoz et al., 2010; Cerón-Muñoz et al., 2011) y un cuarto catálogo en el año 2012 en el cual se incluye información para producción de leche e ingresos por venta de leche con la misma metodología (Cerón-Muñoz et al., 2012)

Quijano-Bernal et al. (2011), en el estudio desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, el MADR y la industria privada presentaron una evaluación genética de toros holstein en el departamento de Antioquia que incluyó las características producción de leche por lactancia, porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, puntaje de células somáticas e intervalo entre partos, reportando heredabilidades de 0.19, 0.37, 0.34 y 0.08 respectivamente.

Con el fin de dar continuidad a éste proyecto de región, los ganaderos, gremios y los grupos de investigación sienten la necesidad de seguir implementando sistemas de evaluación genética basados en modelos que permitan estimaciones más precisas, confiables y que respondan a los retos y necesidades de los ganaderos, y que además, incluyan el desempeño productivo de los animales en el medio local, obteniendo parámetros para cada punto de interés dentro de la curva de lactancia, lo cual es posible obtener a partir de la aplicación de MRA al ya conocido Modelo Test Day. Partiendo de la información del programa de Control Lechero de la Universidad de Antioquia y la Corporación Antioquia holstein Herrera et al. (2013), estimaron parámetros genéticos para producción de leche en bovinos holstein de primer parto del departamento de Antioquia a través de un MRA como herramienta para los programas de evaluación genética desarrollado hasta el momento.

Modelos de Regresión Aleatoria aplicada a programas de Evaluación Genética.

En bovinos de leche las características de producción y calidad de leche pueden ser obtenidas en un mismo animal repetidas veces a lo largo de su vida o de un período determinado de tiempo, por lo cual son llamados datos longitudinales (Zampar, 2012). Tradicionalmente esas características son analizadas ajustándose a determinada edad o periodo de tiempo, y son explicadas por la acción de diferentes genes que se pueden expresar en distintas proporciones en diversas edades del animal, causando alteraciones fisiológicas que impactan en el desempeño de los animales a lo largo del tiempo (Schaeffer, 2000)

Diferentes metodologías para el análisis de los datos longitudinales se han empleado (Oliveira, 2009). Entre ellas, están incluidos los Modelos de Repetibilidad que presumen correlaciones genéticas entre todos los registros de un mismo animal, y son considerados como una expresión de una misma característica. Los Modelos Multicarácter, presumen diferentes correlaciones genéticas entre los registros, asumiendo que cada registro es considerado como una característica diferente. Los MRA, asumen que todos los registros de un mismo animal se refieren a una misma característica, pero presume diferentes correlaciones genéticas entre ellos,

considerando que una característica puede estar cambiando continuamente a través del tiempo (Kirkpatrick et al., 1994). Inicialmente los MRA propuestos por Henderson en 1982, consideraron los cambios ocurridos a lo largo de la vida del animal y permitieron la estimación de los componentes de varianza y parámetros genéticos en cualquier punto de la lactancia, además de permitir identificar la fase en que se presenta mayor variabilidad genética (Zampar, 2012). Las funciones de covarianzas y los modelos de regresión aleatoria (MRA) se han propuesto como alternativas para modelar rasgos que son medidos repetidamente en la vida del animal (Kirkpatrick et al., 1990; Meyer, 2001), autores como Ptak y Shaeffer (1993) y Swalve (1995) han sugerido los MRA para evaluaciones genéticas de datos longitudinales, como la producción de leche en el día de control.

Los MRA estiman los valores genéticos en cualquier punto de la curva de producción, en contraste con los modelos multivariados que estiman sólo los puntos donde se ha medido el carácter (Espinoza-Villavicencio et al., 2011). Además, los MRA permiten la predicción de valores genéticos para la curva de lactancia como un todo, para cualquier punto deseado en una escala de tiempo utilizada y para funciones de la curva (Galvão, 2004). La principal implicación práctica de los MRA es la posibilidad de cambiar la forma de la curva de producción a través de la selección, también se pueden estimar componentes de (co)varianza y valores genéticos en cualquier día de lactancia o función de esta, aún sin tener datos de producción de los animales (Espinoza-Villavicencio et al., 2011). Así mismo, permiten modelar con muchos datos dentro de una misma lactancia, por lo cual es posible obtener correlaciones entre los efectos, principalmente aquellos que son afectados por cambios a lo largo de la lactancia. Otra ventaja es que las lactancias no precisan ser ajustas, extendidas o prorrogadas, lo que facilita la inclusión de animales que no han terminado la fase de producción (Zampar, 2012). En relación con los otros modelos, los MRA no requieren un número mínimo de mediciones por animal, pues consideran el parentesco entre los individuos, lo que no ocurre con las funciones que describen las curvas de lactancia, no hay necesidad de la creación de clases para el caso de los día de lactancia, permiten la estimación de componentes de varianza entre medidas permitiendo predecir los valores genéticos de

los animales en cualquier punto del periodo en la misma lactancia en que fueron realizadas las mediciones (El Faro, 2003)

Según Galvão (2004), los MRA ajustan los datos a una curva de regresión fija para tener en cuenta la tendencia promedio de la población, y por lo menos dos ecuaciones de regresión más para los efectos aleatorios genético directo del animal y del ambiente permanente una vez existen medidas repetidas. La curva de cada animal se predice genéticamente como un desvío de la curva media de la población. Así, en lugar de obtener valores genéticos de los puntos determinados de la curva (edades normales), se consiguen valores de cría para el coeficiente de regresión genética. Además, a partir de los coeficientes de regresión aleatoria, se puede describir la curva genética del animal (Galvão, 2004). El modelo de regresión aleatoria empleado se representa de la siguiente forma matricial:

$$y = X\beta + Za + Wc + e$$

Donde

y = es el vector de N observaciones, medido en N_d registros por vaca.

β = vector de efectos fijos de grupo contemporáneo (finca, año, época de parto) y de los coeficientes de regresión de la curva fija de la población.

a = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios genético aditivos

c = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios del ambiente permanente

X , Z y W = son las matrices de incidencia de los efectos fijos, genético aditivos y de ambiente permanente, respectivamente.

e = es el vector de residuos independientemente distribuido, modelado con homogeneidad de varianzas o modelado en clases de varianzas heterogéneas.

Asumiendo que los componentes del modelo presentaron esperanzas (E) y varianzas fueron:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, V_a = K_a \otimes A, V_c = K_c \otimes I_{N_d} \text{ y } V_e = R$$

Donde K_a es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria genético aditivo, K_c es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria de ambiente permanente. A es la matriz que relaciones genéticas aditivas, I_{N_d} es una matriz identidad de dimensión N_d y R es una matriz diagonal que contiene las varianzas residuales.

Los días en leche (t_i) y (t_j) fueron estandarizados en el intervalo -1 a 1. Las covarianzas genética (G) y de ambiente permanente (C) entre días en leche fueron estimadas por:

$$G = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_a \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \text{ y}$$

$$C = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_c \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

Dentro de los MRA, los polinomios ortogonales de Legendre son las funciones más comúnmente utilizadas en ganado de leche (González-Peña, et al., 2011; Hurtado-Lugo, et al., 2006; Hurtado-Lugo, et al., 2009; Costa et al., 2005) las expresiones utilizadas son las funciones polinomiales de Legendre (Tabla 5), para $t \in [-1;1]$, estandarizados para la ecuación:

$$t = \frac{2 * (del - t_{min})}{(t_{max} - t_{min})} - 1$$

donde, t_{min} y t_{max} son, respectivamente, el primero y el día 305 de lactancia y *del* corresponde a los días de lactancia en que la vaca se encontraba (Zampar, 2012)

Tabla 1. Funciones polinomiales de Legendre

m	$P_m(x)$
0	1
1	X
2	$1/2(3x^2-1)$
3	$1/2(5x^3-3x)$
4	$1/8(35x^4-30x^2+3)$
5	$1/8(63x^5-70x^3+15x)$
6	$1/16(231x^6-315x^4+105x^2-5)$
7	$1/16(429x^7-693x^5-315x^3+35x)$
8	$1/128(6435x^8-12012x^6+6930x^4-1260x^2+35)$
9	$1/128(12155x^9-25740x^7+18018x^5-4620x^3+315x)$
10	$1/256(46189x^{10}-109395x^8+90090x^6-30030x^4+3465x^2-63)$

Zampar, (2012).

Las funciones polinomiales de Legendre son representadas gráficamente en la la Figura 1.

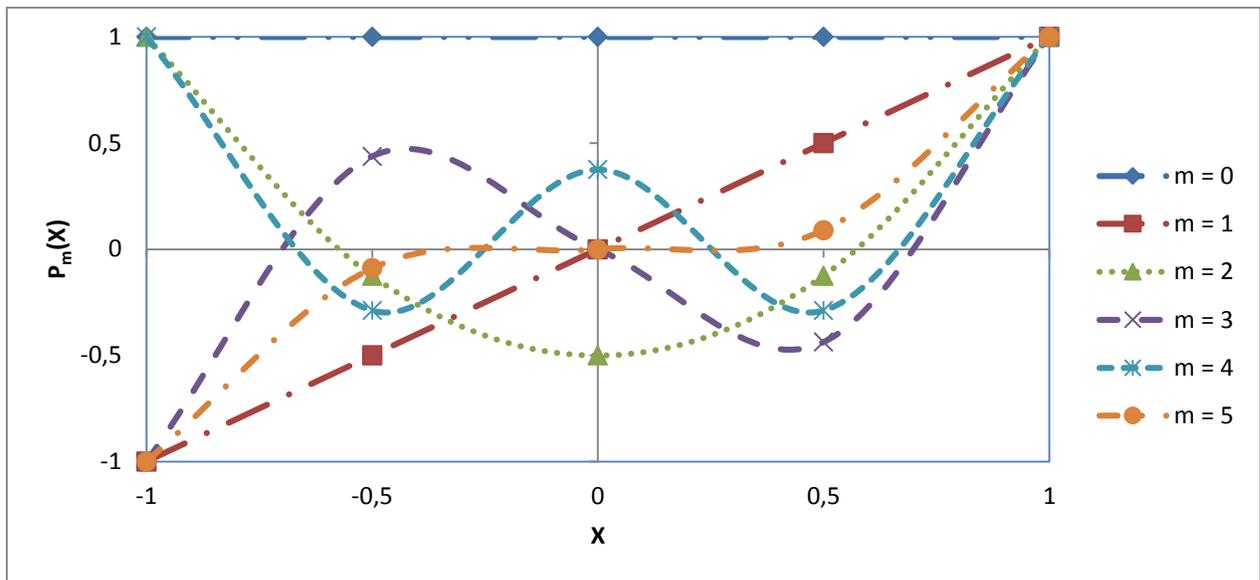


Figura 1. Curvas de los polinomios de Legendre (hasta $m = 5$), donde m es el orden del polinomio de Legendre.

Recientemente, las funciones polinomiales ortogonales de Legendre de diferente orden han sido empleados en MRA, debido a su habilidad para detectar patrones de variación genética a lo largo de la curva de la lactancia. Kirckpatrick et al., (1990) y Brotherstone et al., (2000) describen que la ventaja de emplear este tipo de polinomios en MRA, es que los registros de producción de leche perdidos u omitidos pueden ser estimados con mayor confiabilidad.

Son varios los autores que han empleado los MRA para el desarrollo de evaluaciones genéticas para características de producción de carne (Domínguez-Viveros, et al., 2011; Espinoza-Villavicencio, et al., 2011) y para características de producción de leche y modelación de curvas de lactancia (Fernández et al., 2011; González-Peña et al., 2011; Hurtado-Lugo et al., 2006; Hurtado-Lugo, et al., 2009).

Conclusión

Con la implementación de programas de evaluación genética, el productor podrá seleccionar animales de alto valor genético para producción de leche de alta calidad en su hato, realizar ajustes necesarios desde el punto de vista nutricional, direccionar los

programas de cruzamiento buscando mejorar su nivel productivo. A través del uso de MRA en las evaluaciones genéticas se optimizará el uso de la información disponible con el fin de que el productor obtenga beneficios en el mejoramiento genético de los animales, del sistema de producción y una mejor comercialización de la leche.

Referencias bibliográficas

- Brotherstone, S.; White, I.M.S.; Meyer, K. 2000. Genetic modeling of daily milk yield using orthogonal polynomials and parametric curves. *Journal of Animal Science*, v., 70, p. 417. 2000
- Cerón-Muñoz, M.F.; Herrera-Ríos, A.C.; Múnera-Bedoya, O.D.; Henao-Velasquez, A.F. 2012. Evaluación genética párrafo Producción de leche e Ingresos Por calidad composicional de Animales Holstein adscritos al Programa de Control de Lechero de la Corporación Antioquia Holstein: impresión semestre 2012. <http://geneticaholstein2012.webnode.es/>
- Cerón-Muñoz, M.F.; Herrera-Ríos, A.C.; Múnera-Bedoya, O.D. 2011. Evaluación genética párrafo leche, Grasa y Proteína en Bovinos Holstein, adscritos al Programa de Control de Lechero de la Corporación Antioquia Holstein: impresión semestre de 2011. <http://geneticaholstein2011.webnode.es/>
- Cerón-Muñoz, M.F.; Herrera-Ríos, A.C.; Múnera-Bedoya, O.D. 2010. Evaluación genética párrafo leche, Grasa y Proteína en Bovinos Holstein, adscritos al Programa de Control de Lechero de la Corporación Antioquia Holstein: Segundo semestre de 2010. <http://geneticaholstein2010.webnode.es/>
- Cerón-Muñoz, M.F.; Cañas-Alvarez, J.J.; Herrera-Ríos, A.C.; Corrales-Alvarez, J.D.; 2009. Evaluación genética párrafo leche, Grasa y Proteína en Bovinos Holstein, adscritos al Programa de Control de Lechero de la Corporación Antioquia Holstein: Segundo semestre de 2010. <http://geneticaholstein2010.webnode.es/>
- Costa, C.N.; Melo, C.M.R. de; Machado, C.H.C.; Freitas, A.F.; Packer, I.U.; Cobuci, J.A. 2005. Parâmetros genéticos para a produção de leite de controles individuais de

vacas da raça Gir estimados com modelo de repetibilidade e regressão aleatória. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 34, n.5, p. 1519-1539, 2005.

- Domínguez-Viveros, J.; Rodríguez-Almeida, F.A.; Nuñez-Domínguez, R.; Ortega-Gutiérrez, J.A.; Ramírez-Valverde, R.; Santellano-Estrada, E.; Espinosa-Villavicencio, J.L. 2011. Ajuste de modelos de regresión aleatoria en evaluaciones genéticas de bovinos tropicarne. Agrocienca 45: 325-337. 2011. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2011/abr-may/art-6.pdf>
- El Faro, L.; Albuquerque, L.G.; Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle, com diferentes estruturas de variâncias residuais. Revista Brasileira de Zootecnia. Viçosa, v. 32, p 1104-1113, 2003.
- Espinoza-Villavicencio, J.L., Palacios-Espinosa, A., Guillén-Trujillo, A., Avila-Serrano, N.Y., Guerra-Iglesias, D. 2011. Componentes De (Co)Varianza Del Crecimiento Posdestete en vaquillas Santa Gertrudis utilizando Modelos De Regresión Aleatoria. AGROCIENCIA, 45(4). 2011. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a2.pdf>
- FAO. 2012. Situación de la lechería en América Latina y El Caribe en 2011. http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Dairy/Documents/Paper_Lecher%C3%ADa_AmLatina_2011.pdf
- FEDEGAN, 2008. Lo que usted necesita saber sobre la leche en Colombia. http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/PORTAL/PG_SERVICIOS/COYUNTURA_LECHERA1/LO_QUE_USTED_NECESITA_SABER_CARTILLA.PDF
- Fernández, L.; Tonhati, H.; Albuquerque, L.G.; Aspilcueta-Borquis, R.R.; Menéndez Buxadera, A. 2011. Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia del Holstein en Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45 (1). <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T45-N1-A2011-P001-Lucia-Fernandez.pdf>
- Galvão de Albuquerque, L. 2004. Regressão aleatória: Nova tecnologia pode melhorar a qualidade das avaliações genéticas. V Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal. Pirassununga, SP. <http://www.sbmaonline.org.br/anais/v/palestras/pdfs/palest11.pdf>

- González-Peña, D.; Espinoza Villavicenciob, J.L.; Palacios Espinosa, A.; Guerra Iglesias, D.; Évora Maneroa, J.C.; Portales González, A.; Ortega Pérez, R.; Guillén Trujillo, A. 2011. Parámetros genéticos para la persistencia de la lactación en vacas Siboney usando modelos de regresión aleatoria. Revista Mexicana Ciencias Pecuaria. 2011;2(2):151-160.
<http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/201104082374.pdf>
- Herrera Ríos, A C; Múnera Bedoya, O D; Ceron 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, Volume 26, N° 2, Retrieved Jun 2013.
- Herrera Rios, A.C.; Munera Bedoya, O.D.; Molina Taborda, L.M.; Ceron Munoz, M.F. 2012 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 Medellín, Volumen 64 fasciculo 1 p.26 – 30
- Hurtado-Lugo, N.; Cerón-Muñoz, M.F.; Tonhati, H.; Bignardi, A.; Restrepo, L.; Aspilcuelta, R. 2009. Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día de control empleando un modelo de regresión aleatoria para primeras lactancias en búfalos de la costa norte de Colombia. Livestock Research for Rural Development. Volumen 21 (6) Retrieved Enero 28, 2012, from <http://www.lrrd.org/lrrd21/6/hurt21089.htm>
- Hurtado-Lugo, N.; Cerón-Muñoz, M.F.; Gutiérrez-Valencia, A. 2006. Estimación de parámetros genéticos en el día de control en búfalos de la Costa Atlántica de Colombia. Research for Rural Development. Volumen 18 (3) Retrieved Enero 28, 2012, from <http://www.lrrd.org/lrrd18/3/hurt18039.htm>
- ICAR. 2002. Section 2.3.15.2 Frequency of milk visits. In: International agreement of recording practices. www.icar.org. Retrieved may 2010.
- Jamrozik, J.; Schaeffer, L. 1997. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. J Dairy Sci, 1997; 80: 762-766.

- Kirkpatrick, M.; Hill, W.G.; Thompson, R. 1994. Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactations in dairy cattle. *Genetics Research*. 64: 57-69.
- Kirkpatrick, M.; Lofsvold, D.; Bulmer, M. 1990. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics* 124, 979-993.1990.
- MADR 2012 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 017 de 2012. <http://www.redlactea.org/resoluciones/Resolucion%20000017%20de%202012.pdf>. Consultado febrero 20, 2012.
- MADR. 2007. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico de la cadena láctea colombiana. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias y Universidad Externado de Colombia. Consultado Febrero 20, 2012 <http://www.minagricultura.gov.co/archivos/lacteos.pdf>
- MPS. 2006. Decreto 616 de 2006. Ministerio de la Protección Social. Consultado febrero 20 de 2013. http://www.invima.gov.co/images/stories/aliementos/decreto_616_2006.pdf
- Meyer, K. 2001. Estimates of direct and maternal covariance functions for growth of Australian beef calves from birth to weaning. *Genetic Select Evolution*. 33:487–514. <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1297-9686-33-5-487.pdf>
- De Oliveira Biassu, I. 2009. Modelos de Regressão aleatória estimação de parâmetros genéticos para produção e persistência nas características produtivas de vacas da raça holandesa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós- Graduação em zootecnia. <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17871/000724219.pdf?sequence=1>).
- Ptak, E.; Schaeffer, L.R. 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livestock Research for Rural Development* 1993;34(1-2):23-34 Retrieved January 10, 2012 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030162269390033E>
- PROEXPORT. 2011. Sector Lácteo en Colombia. <http://www.portugalcolombia.com/wp-content/uploads/2012/08/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf>

- Quijano Bernal, J.H.; Echeverri Zuluaga, J.; López Herrera, A. 2011. Evaluación genética de toros holstein y jersey en condiciones tropicales. Antioquia – Colombia. Resultados de Investigación. 209 p.
- Schaeffer, 2000. Random Regression Models. <http://www.aps.uoguelph.ca/~lrs/ABModels/NOTES/RRM14a.pdf>
- Swalve. 1995. Swalve, H., 1995. Test day models in the analysis of dairy production data—a review. Arch. Anim. Breed. 38, 591–612.
- UNAGA, 2002. Asociación Holstein de Colombia. <http://www.unaga.org.co/index.php/es/membros/hostein>
- Zampar, A. 2012. Modelos de Regressao aleatória de qualidade de leite bovino. Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2001. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012. 51 p 25:35.

ARTÍCULO I

Este Artículo se escribió bajo las normas de la revista ITALIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE.

Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de grasa y proteína a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

(Co) variance components and genetic parameters for fat and protein yields by random regression models in first-lactation Holstein cows.

Múnera Bedoya O D*, Herrera Ríos A C*, González Herrera L G[‡],

Cerón Muñoz M F*.

** Grupo de Genética, Mejoramiento y Modelación Animal, (GaMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia. Carrera 75 No. 65-87, Bloque 47-233. Ciudadela de Robledo. AA 1226, Medellín, Colombia. Tel (574) 2199140. E-mail: oscardmunera@gmail.com*

[‡] Profesor Asociado Universidad Tecnológica de Pereira.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue estimar mediante Modelos de Regresión Aleatoria (MRA) basados en polinomios de Legendre los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para producción de grasa (G) y proteína (P) láctea en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia, Colombia. Se incluyeron 9479 registros mensuales de producción de G y P láctea pertenecientes a 1210 vacas holstein de primera lactancia. Para G y P se usaron 22 y 24 MRA respectivamente, con diferentes

órdenes de polinomio ortogonal de Legendre para estimar los coeficientes de la curva fija de la población, la predicción de los efectos genético aditivo directo y del ambiente permanente. Los modelos consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases. Los modelos fueron comparados mediante el criterio de BIC. Para G, el mejor modelo fue el de cuarto orden para la curva fija de la población y el efecto genético aditivo, y de tercer orden para el ambiente permanente con siete varianzas heterogéneas. Para P, el modelo que presentó mejor ajuste fue el de quinto orden para la curva fija de la población, el efecto genético aditivo y el ambiente permanente y 5 varianzas heterogéneas. Para ambas características las varianzas genética aditiva directa, fenotípica, de ambiente permanente y residual disminuyeron a medida que avanzaba la lactancia. Las heredabilidades para G y P estuvieron entre 0.13 y 0.38, y entre 0.12 y 0.32, respectivamente. Es posible realizar la selección de animales de primer parto para G y P en el departamento de Antioquia preferiblemente al inicio de la lactancia ya que ambas características presentan heredabilidades altas.

Palabras clave: Calidad de leche, Evaluación genética, Heredabilidad, Mejoramiento genético, Sólidos lácteos.

Abstract

The aim of this study was to estimate by Random Regression Models (MRA) based on Legendre polynomials the (co) variance components and genetic parameters for fat (G) and protein (P) yields in milk of first lactation cows in the region of Antioquia, Colombia. A total of 9,479 monthly records for G and P, corresponding to 1210 first lactation Holstein cows, were evaluated. For both G and P 22 and 24 MRA with different orthogonal Legendre polynomials were used respectively. The different MRA were used to estimate the coefficient of the population fixed-curve and to predict the direct additive genetic and the permanent environment effects. Additionally, homogeneous and heterogeneous residual variances of 5, 7, and 10 classes were considered. Models were compared by BIC. For G the best model was obtained with the fourth-order for the population fixed-curve and the genetic additive effect, and third-order for the permanent environment effect with seven heterogeneous variances. For P the best model was

obtained with the fifth-order for the population fixed-curve and both the genetic additive and permanent environment effects with five heterogeneous variances. For G and P parameters the variance for the animal genetic, phenotypic, permanent environment, and residual effects decreased as lactation progressed. Heritability for G and P were between 0.13 and 0.38 and between 0.13 and 0.32 respectively. Concluding, the findings of this study suggest that is preferably to select the first lactation animals for G and P characteristics at the beginning of the lactation period, due its high heritability value.

Keywords: Milk quality, genetic evaluation, heritability, genetic improvement, solids in milk.

Introducción

Los programas de evaluación genética en ganado lechero han sido direccionados a aumentar el volumen de producción de leche, esto ha permitido obtener mayor avance genético en ganado holstein en países desarrollados de aproximadamente 100 kg de leche por año (Wiggans, 1997). Los sistemas de producción láctea del trópico presentan concentraciones variables de los metabolitos en la leche, pero los cambios en los contenidos de G y P no se reconocen como una respuesta a las condiciones ambientales y de manejo a las que están expuestos los animales (Hernández y Ponce, 2006), pese a esto determinan el precio del litro de leche pagado al ganadero (MADR, 2012). Las tendencias actuales del mercado y la demanda de los consumidores por productos procesados han creado la necesidad de desarrollar evaluaciones genéticas que permitan seleccionar animales genéticamente superiores para las características de importancia económica como lo son niveles de sólidos lácteos especialmente G y P. Para las características en cuestión se hace necesario determinar los niveles de producción, componentes de varianza y parámetros genéticos en los diferentes puntos de la lactancia con el fin de optimizar los programas de selección, evaluación y manejo de los animales, y apoyar la toma de decisiones para aumentar la eficiencia y rentabilidad de los hatos.

La capacidad computacional lograda en los últimos años ha posibilitado la implementación de MRA como una alternativa que permite estimar parámetros genéticos y componentes de varianza en diferentes puntos de la lactancia. Varios autores han empleado los MRA para el desarrollo de evaluaciones genéticas para características de producción de leche y modelación de curvas de lactancia. Fernández *et al.* (2011) estimaron parámetros genéticos, funciones de covarianza y curvas de lactancia en vacas holstein de primera lactancia en Cuba a través de la aplicación de funciones ortogonales de Legendre al comparar diferentes órdenes en 10 MRA. González-Peña *et al.* (2011) estimaron valores de heredabilidad y correlaciones genéticas entre cinco medidas de persistencia usando un MRA con polinomios de Legendre en vacas Siboney de primera lactancia en Cuba. Autores como Ptak y Shaeffer (1993) y Swalve (2000) han sugerido los MRA para evaluaciones genéticas de datos longitudinales, como la producción de leche, grasa y proteína. Estos modelos consideran, entre otros aspectos, la forma de la curva de lactancia y el efecto particular para cada vaca en el día de control (Fernández *et al.*, 2011). Varios estudios han evaluado características de producción de leche en bovinos y bufalinos en diferentes lugares y validan la aplicación de la metodología como modelo para el desarrollo de evaluaciones genéticas (Herrera *et al.*, 2013; González-Peña *et al.*, 2011; Hurtado-Lugo *et al.*, 2009; Hurtado-Lugo *et al.*, 2006).

Los MRA permiten calcular los valores genéticos en cualquier punto de la curva de producción, en contraste con los modelos multivariados que valoran sólo los puntos donde se ha medido el carácter (Espinoza-Villavicencio *et al.*, 2011). La principal implicación práctica de los MRA es la posibilidad de cambiar la forma de la curva de producción a través de la selección. Los MRA son atractivos porque permiten el uso irrestricto de toda la información de los registros disponibles tomada cualquier longitud de intervalos de tiempo (Jamrozik *et al.*, 1997). Además, las producciones tomadas en el día de control pueden usarse como predictores tempranos del mérito genético individual (Jaffrézic y Minini, 2003).

El objetivo de este estudio fue estimar los componentes de varianza y parámetros genéticos para G y P en vacas holstein de primer parto del departamento de Antioquia, Colombia, utilizando MRA.

Materiales y Métodos

Para la estimación de los parámetros genéticos se emplearon datos productivos de 30 hatos lecheros del norte y oriente cercano de Antioquia ubicados en los municipios de San Pedro de los Milagros, Entreríos, Belmira, Bello, Rionegro, El Carmen de Viboral y La Ceja, que participan en el programa de control lechero de la Corporación Antioquia Holstein y la Universidad de Antioquia. Se encuentran en una zona de vida de Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), con temperaturas promedio de 16°C, alturas entre los 2000 y 3000 msnm y precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm, con topografía que va de plana a ondulada. El sistema de alimentación se caracteriza por poseer pasturas de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en mayor proporción y algunas asociaciones con Rye grass (*Lolium Perenne*). Los animales fueron suplementados con alimentos comerciales de acuerdo a la etapa productiva y los criterios de manejo de cada uno de los hatos. La base de datos incluyó 9479 registros mensuales de G y P pertenecientes a 1210 vacas holstein de primera lactancia con partos ocurridos entre noviembre de 2007 y agosto de 2012. El control lechero fue realizado mediante la metodología A4 X2 (ICAR, 2002) que consistió en visitas mensuales y control en ordeños AM y PM. La base de datos no incluyó información de animales con menos de 4 controles durante la lactancia o que no tuvieran registros de producción antes del día 70, además, solo se analizaron los grupos contemporáneos con mínimo 4 animales. La base de datos incluyó 4951 animales en la matriz de parentesco.

Para calcular los parámetros genéticos de la producción de grasa y proteína se utilizaron MRA con polinomios ortogonales de Legendre de diferente orden para predecir los coeficientes de la curva fija de la población, los efectos genético aditivo directo y de ambiente permanente, se consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases.

El modelo de regresión aleatoria empleado se representa de la siguiente forma matricial:

$$y = X\beta + Za + Wc + e$$

Donde

y = es el vector de N observaciones para G y P , medido en N_d registros por vaca.

β = vector de efectos fijos de grupo contemporáneo (finca, año, época de parto) y de los coeficientes de regresión de la curva fija de la población.

a = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios genético aditivos

c = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios del ambiente permanente

X , Z y W = son las matrices de incidencia de los efectos fijos, genético aditivos y de ambiente permanente, respectivamente.

e = es el vector de residuos independientemente distribuido, modelado con homogeneidad de varianzas o modelado en clases de varianzas heterogéneas.

Asumiendo que los componentes del modelo presentaron esperanzas (E) y varianzas fueron:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, V_a = K_a \otimes A, V_c = K_c \otimes I_{N_d} \text{ y } V_e = R$$

Donde K_a es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria genético aditivo, K_c es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria de ambiente permanente. A es la matriz que relaciones genéticas aditivas, I_{N_d} es una matriz identidad de dimensión N_d y R es una matriz diagonal que contiene las varianzas residuales.

Los días en leche (t_i) y (t_j) fueron estandarizados en el intervalo -1 a 1. Las covarianzas genética (G) y de ambiente permanente (C) entre días en leche fueron estimadas por:

$$G = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_a \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \text{ y}$$

$$C = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_c \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

Las épocas de parto fueron definidas en dos grupos, el primero con los meses de diciembre-febrero, junio-agosto, y el segundo de marzo-mayo y septiembre-noviembre, según el régimen de lluvias de la zona.

Los componentes de varianza y parámetros genéticos del modelo fueron obtenidos por el método de máxima verosimilitud restringida REML mediante el programa estadístico WOMBAT desarrollado por Meyer (2006).

Se probaron 22 modelos con polinomios de Legendre para G desde el 333.homo, hasta el 554.het7 y 24 para proteína desde el 333.homo hasta el 555.het10. Los diferentes modelos fueron comparados utilizando el criterio de información bayesiano BIC (Schwarz, 1978), que permiten la comparación de modelos no anidados y castigan los modelos con mayor número de parámetros (Nunez-Antón y Zimmerman, 2000), valores más bajos de BIC, significan mejor ajuste del modelo.

$$BIC = -2 \log L + p \log(N - r(X))$$

donde, p es el número de parámetros del modelo, N , es el número de observaciones, $\log L$ es el valor del logaritmo natural de la función de máxima verosimilitud y $r(X)$ es el rango de la matriz X (matriz de incidencia para los efectos fijos).

Resultados y discusión

Según el criterio BIC el mejor modelo fue el de orden de polinomio 4, 4 y 3 para la curva fija, el efecto genético aditivo y ambiente permanente con 7 varianzas heterogéneas (443.het7) y para P correspondió al de orden de polinomio 5, 5 y 5 para la curva fija, del efecto genético aditivo y de ambiente permanente con 5 clases de varianzas heterogéneas (555.het5).

Los modelos que presentaron el peor ajuste fueron los que incluyeron varianzas homogéneas y que corresponden a los de menor número de parámetros (333.hom y 433.hom)

Para ambas características G y P, se encontró que los peores ajustes corresponden a los modelos menos parametrizados y aquellos que incluyeron varianzas homogéneas. Estudios han probado diferentes órdenes de polinomios de Legendre para la producción de G y P, en especial en análisis tricaracterísticos que incluyen el volumen de leche en poblaciones holstein en diferentes países, y han encontrado que los modelos con varianzas homogéneas no presentaron ajustes satisfactorios para el análisis de los datos a lo largo de la lactancia (Abdullahpour *et al.*, 2013; Hammami *et al.*, 2008; Roos *et al.*, 2004; Strabel y Misztal, 1999). En el presente estudio, al incrementar el orden de los polinomios se presentó mayor dificultad para obtener la convergencia, siendo imposible alcanzarla con el modelo 555.het5 para G y con el modelo 655.het5 para P; lo anterior se explica por considerar altos órdenes de ajuste puede aumentar la flexibilidad de la curva, pero también eleva los requerimientos computacionales y la dificultad de convergencia (Meyer, 1998; Kirkpatrick *et al.*, 1994).

Otras estructuras de modelos se han utilizado, suponiendo varianzas residuales homogéneas Strabel *et al.*, (2004) utilizaron el modelo 544 para estimar componentes de varianza en una población holstein de Polonia. Strabel y Misztal (1999) para las mismas características emplearon el modelo 333-het5, mientras que Hammami *et al.*, (2008) y Roos *et al.*, (2004) utilizaron los modelos 333-het6 y 444-het10 respectivamente. Abdullahpour *et al.*, (2013) probaron modelos con órdenes polinómicos 944 con 11 clases de varianzas residuales heterogéneas.

Las varianzas estimadas para G obtenidas con el modelo 443.het7 se muestran en la figura 1. La varianza para los efectos genético directo, fenotípico, de ambiente permanente y residual presentaron los mayores valores al inicio de la lactancia y disminuyeron con el avance del período de producción.

La varianza genética directa estuvo entre 0.002 y 0.016 kg². Estos resultados coincidieron con los reportados por Roos *et al.*, (2004) quienes encontraron los mayores valores al inicio de la lactancia seguido de un descenso suave a medida que esta avanzaba al utilizar polinomios de Legendre de cuarto orden para el efecto genético aditivo con 10 clases de varianzas heterogéneas. Abdollahpour *et al.*, (2013) también reportaron varianzas altas para el inicio de la lactancia, pero con menores valores entre el día 50 y 60 seguido de un aumento ligero hacia el final del periodo de producción al utilizar polinomios de Legendre de orden 9 para el efecto genético aditivo con 11 clases de varianzas heterogéneas.

La varianza del ambiente permanente decreció de 0.015 kg² al inicio de la lactancia a 0.009 kg² el día 254, para finalizar el día 305 con un valor de 0.013 kg². Resultados similares fueron reportados por diversos autores, aunque con valores más altos al inicio de la lactancia seguidos de un descenso más marcado cerca del día 50, Abdollahpour *et al.*, (2013) reportaron trayectorias similares con polinomios de Legendre de 4 orden para la varianza del ambiente permanente con 11 clases de varianzas heterogéneas, Zampar (2012) y Khabat (2013) con polinomios de Legendre de 6 y 2 orden respectivamente para el ambiente permanente con varianzas homogéneas obtuvieron resultados equivalentes.

Respecto a la varianza fenotípica los valores encontrados estuvieron entre 0.017 kg² para el día 293 y 0.042 kg² al inicio de la lactancia, trayectorias semejantes fueron reportadas por Abdollahpour *et al.*, (2013) quienes encontraron el mismo comportamiento al inicio de la lactancia aunque con un ligero aumento hacia el final del período de producción a partir del día 270

La varianza residual presentó una trayectoria similar a la varianza fenotípica con valores entre 0.003 y 0.011 kg².

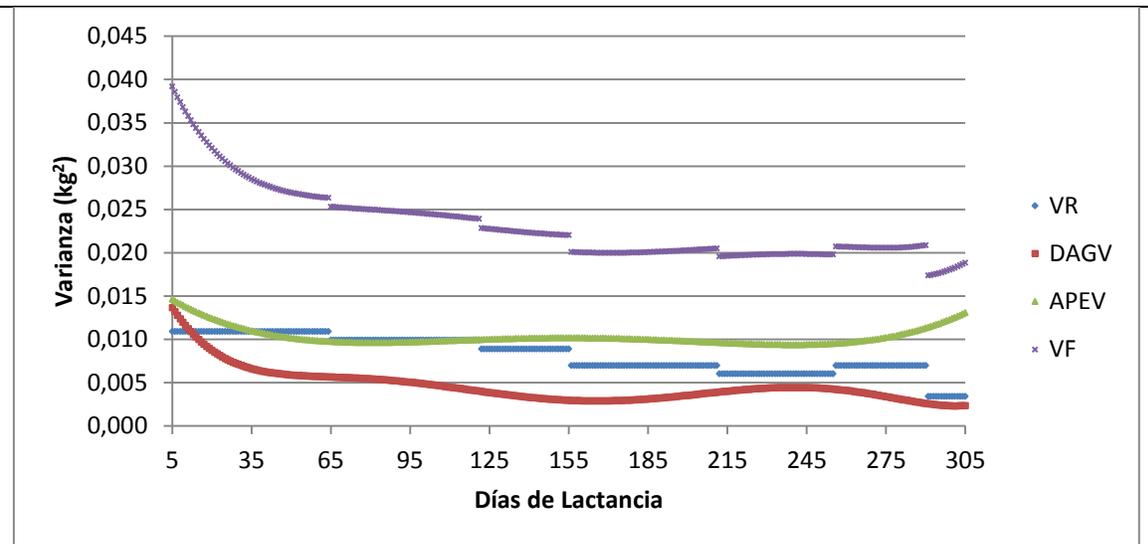


Figura 1. Varianzas genética aditiva directa (DAGV), Fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para producción de grasa obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.

Para la P, la trayectoria de las varianzas estimadas se muestra en la figura 2. Se observa que para la varianza genética directa y para la varianza fenotípica los mayores valores se presentaron cerca del día 60, que coinciden con la época de mayor producción de leche. Para la varianza genética aditiva se encontraron valores entre 0.002 kg² para los días 149 a 205 y 0.007 kg² para los días 45 y 85 de lactancia, cercanos al pico de producción, contrario a lo reportado por Khabat *et al.*, (2013) y Abdullahmmad *et al.*, (2013) quienes encontraron las mayores varianzas al final de la lactancia y las menores próximos al día 60.

Para la varianza fenotípica los valores más altos fueron de 0.023 kg² para los días 48 al 81, época que corresponde al pico de producción de leche y se alcanzan los máximos niveles de suplementación para la población evaluada. A medida que avanza la lactancia se presenta una disminución en las varianzas hasta alcanzar los 0.016 kg² hacia el día 290. Resultados similares son reportados por Zampar (2012) quien encontró altos valores al inicio de la lactancia seguido de un descenso acelerado antes

del día 20 de lactancia, seguido de variaciones leves hasta el día 300 a partir del cual se observa nuevamente un aumento en los valores hasta finalizar la lactancia.

Para la varianza del ambiente permanente los mayores valores se presentan entre los días 137 y 167 con valores de 0.013 kg^2 . La varianza residual, presentó una trayectoria decreciente a medida que avanza la lactancia con valores entre 0.004 y 0.006 kg^2 .

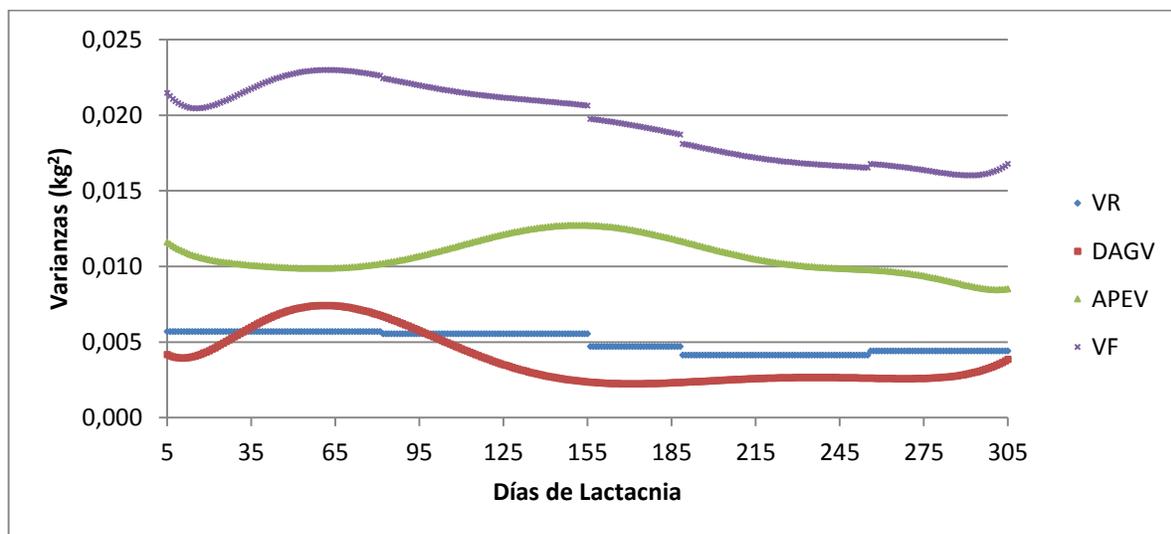


Figura 2. Varianzas genética aditiva (DAGV), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para proteína obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.

Para las heredabilidades de G los mayores valores se observaron al inicio de la lactancia con 0.38, descendiendo el día 155 a 0.14, a medida que avanza la lactancia se observó un aumento nuevamente hasta el día 239 con 0.23. Luego se presentó un descenso hasta obtener los valores más bajos 0.13 en el día 305 (figura 3).

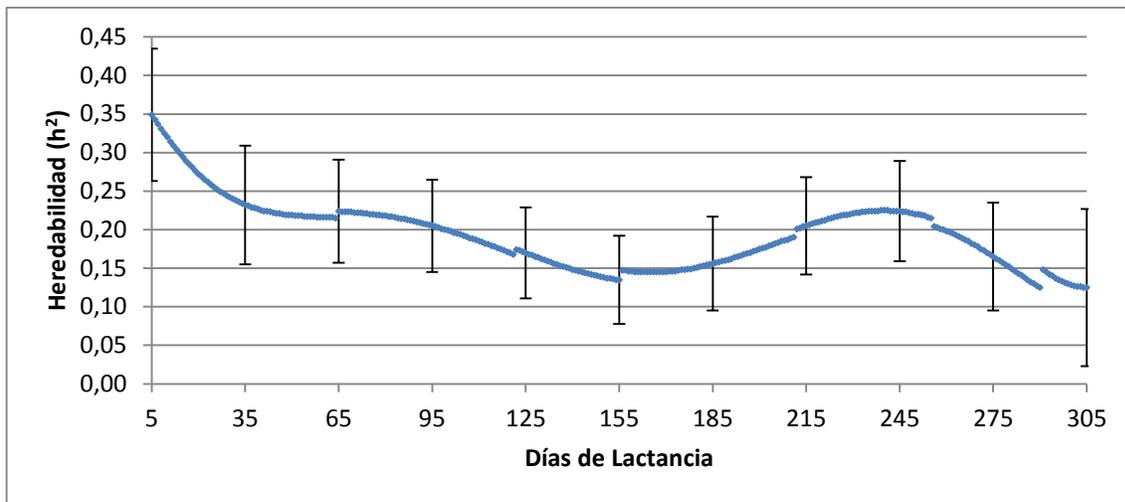


Figura 3. Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para producción de grasa.

Las heredabilidades en el presente estudio para G fueron mayores a las reportadas por autores como Strabel y Misztal (1999) en una población holstein de Polonia. Khabat *et al.*, (2013) y Abdullahpour *et al.*, (2013) para vacas holstein de Irán obtuvieron heredabilidades más bajas en los puntos próximos al pico de producción de leche entre los días 60 y 130. Valores más altos son reportados por Roos *et al.*, (2004) quienes encontraron heredabilidades superiores a 0.40 cerca del día 220 de lactancia y los valores más bajos el día 50 con 0.29.

Para P se obtuvieron heredabilidades entre 0.12 y 0.32 (figura 4). Para el inicio de la lactancia los valores obtenidos fueron de 0.20 aumentando hasta alcanzar 0.32 los días 51 a 72, descendiendo a medida que avanza la lactancia hasta obtener heredabilidades de 0.12 entre los días 146 a 188. Hacia el final de la lactancia se presentó un ligero aumento hasta 0.23 en el día 305. Las heredabilidades encontradas correspondieron a las reportadas por otros autores (Abdullahpour *et al.*, 2013; Khabat *et al.*, 2013; Hammami *et al.*, 2008; Roos *et al.*, 2004; Strabel y Misztal, 1999) quienes encontraron heredabilidades entre 0.10 y 0.20 utilizando MRA, además reportaron los mayores valores después del tercer tercio de la lactancia, trayectoria contraria a la encontrada en el presente estudio.

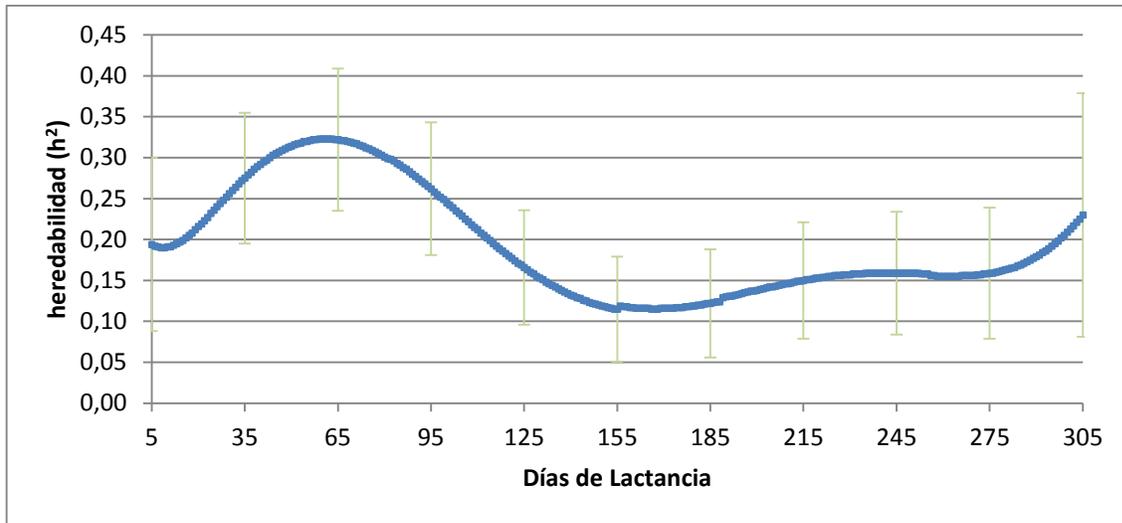


Figura 4. Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para producción de proteína láctea.

Incorporar en la discusión aspectos biológicos

Para G y P se presentaron mayores heredabilidades en los puntos cercanos al pico de producción de leche, y los menores hacia el final de la lactancia donde además se presentaron los mayores errores. Dadas las condiciones de producción en las ganaderías evaluadas y a los programas de manejo nutricional propios de cada sistema de producción, en el primer tercio y cerca del pico de producción además de presentarse los mayores volúmenes de leche y sólidos lácteos, se genera una recuperación del balance energético negativo que sufre el animal posterior al inicio de la producción y una reactivación del ciclo ovárico y posible preñez. Estos sucesos fisiológicos ejercen una influencia marcada en los niveles de producción de leche y metabolitos lácteos hacia el final de la lactancia, dependiendo del estado fisiológico y los días preñez de la vaca, esto hace que durante este periodo se registren variaciones marcadas en los niveles de producción entre los animales, lo cual puede generar mayores valores de varianza ambiental o residual que disminuyen la proporción genética aditiva en este periodo.

Las correlaciones para G disminuyeron a medida que aumentan los intervalos de días. La correlación genética (Figura 5) y fenotípica (Figura 6) entre el día 1 y el día 5 fue de

0.99 y 0.99, respectivamente y entre el día 1 y el día 305 fue 0.38 y 0.65, respectivamente

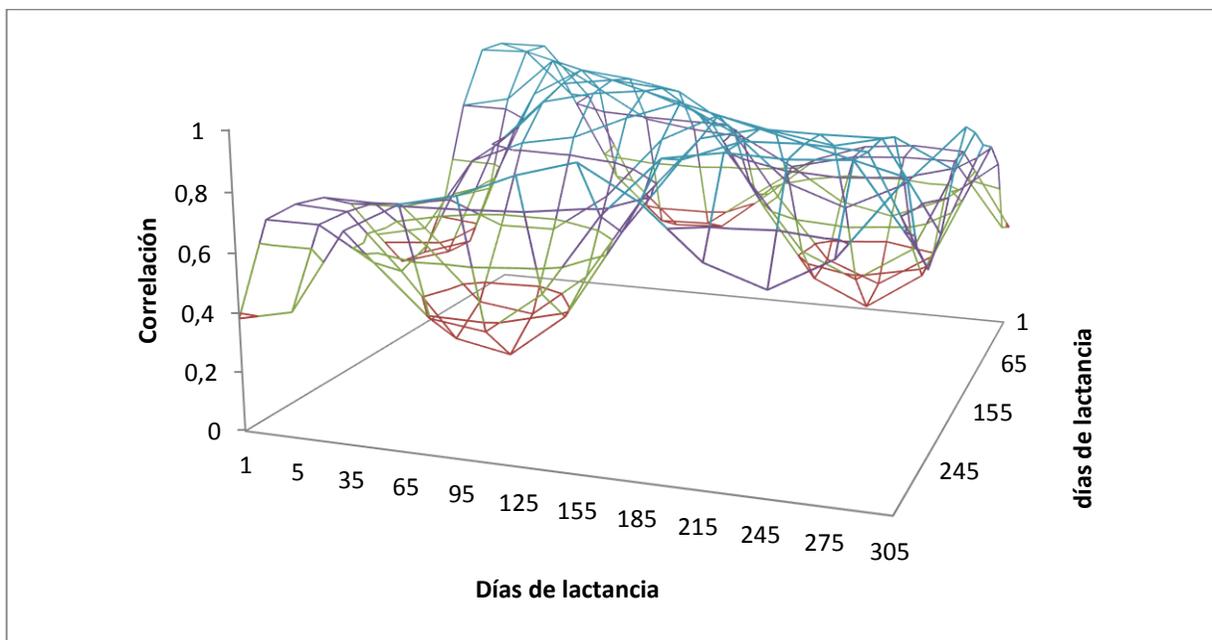


Figura 5. Correlaciones Genéticas aditivas para producción de grasa en vacas holstein del departamento de Antioquia.

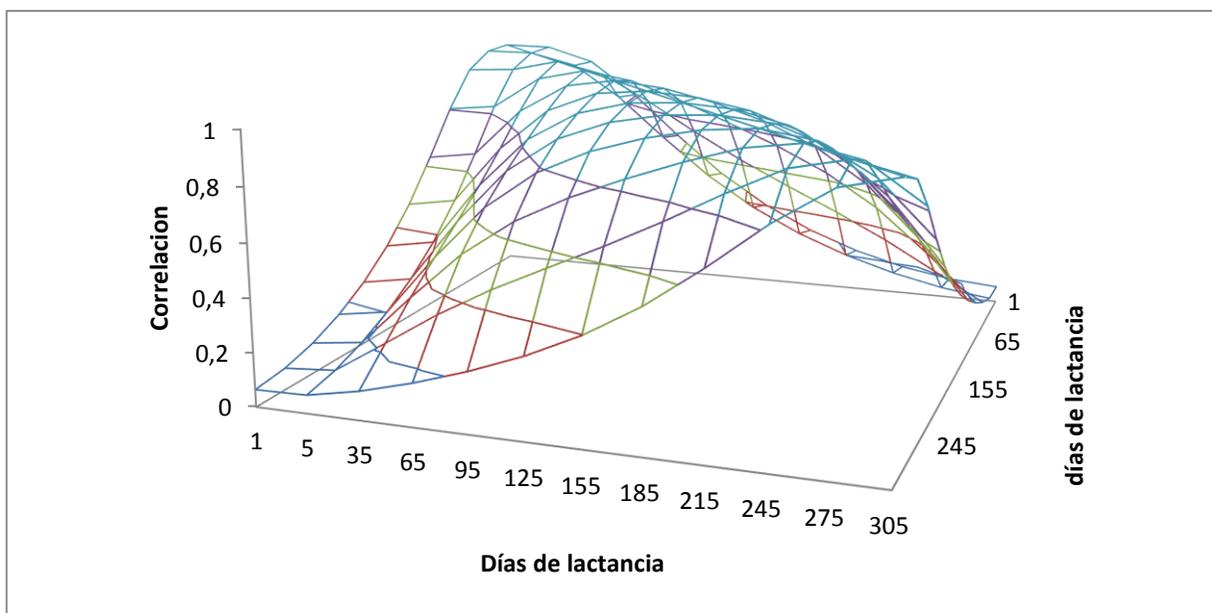


Figura 6. Correlaciones Fenotípicas para producción de grasa en vacas holstein de Antioquia.

Para P, las correlaciones disminuyeron a medida que aumentan los intervalos de días. La correlación genética (Figura 8) y fenotípica (Figura 9) entre el día 1 y el día 5 fue de 0.98 y 0.99, respectivamente y entre el día 1 y el día 305 de fue -0.11 y 0.29, respectivamente

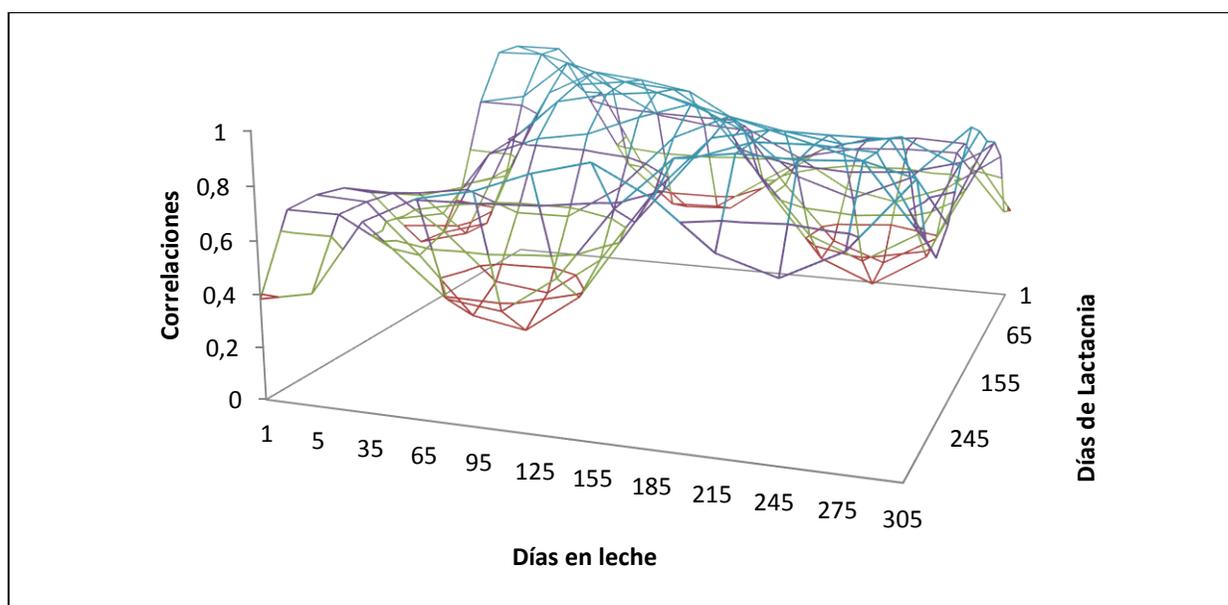


Figura 7. Correlaciones Genéticas aditivas para producción de proteína Láctea en vacas holstein del departamento de Antioquia.

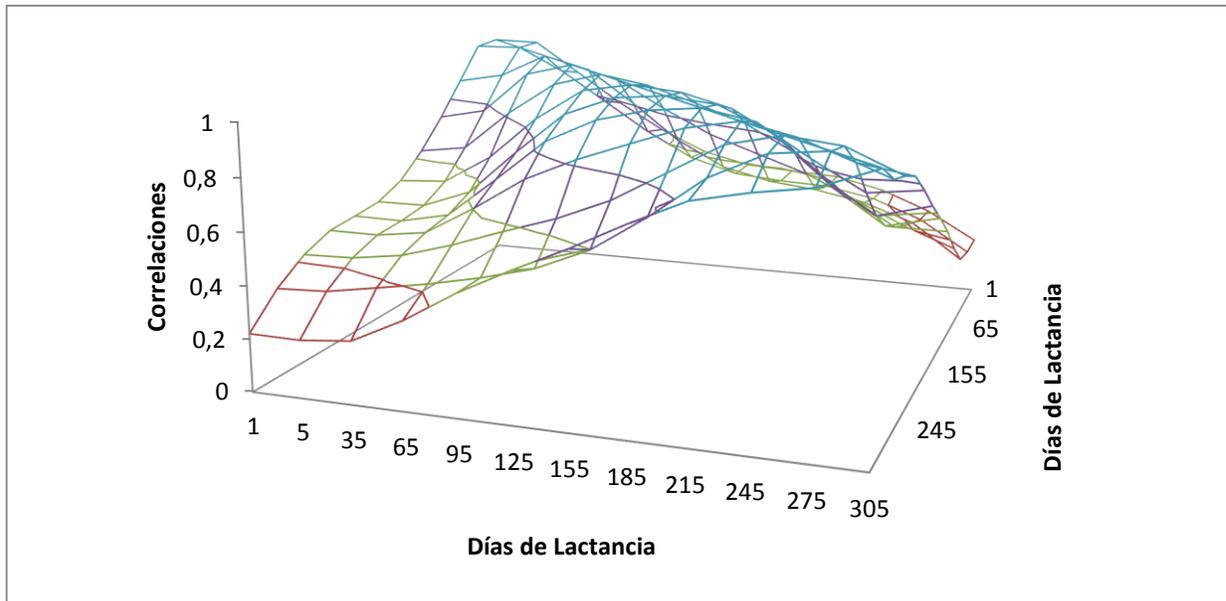


Figura 8. Correlaciones Fenotípicas para producción de proteína láctea en vacas holstein de Antioquia.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas para G entre intervalos de días amplios fueron bajas, esto puede explicarse por altos valores del error de las heredabilidades calculadas para el inicio y el final de la lactancia, producto de las variaciones en los niveles de producción y las diferencia en los programas de manejo y nutrición de los animales en los hatos. Similar a lo ocurrido con P.

Conclusiones

El presente estudio permitió identificar que es posible realizar la selección de animales de primer parto para G y P en el departamento de Antioquia preferiblemente próximos al pico de producción, pues es el momento en que alcanzan los mayores valores de heredabilidad. Existe variabilidad genética para las características G y P para la población evaluada. Se encontraron correlaciones genéticas y fenotípicas altas para días consecutivos en cada una de las características y bajas entre intervalos de días amplios.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero para este estudio a Colciencias, la Corporación Antioquia Holstein, el Grupo de genética, mejoramiento y modelación animal (GaMMA) de la Universidad de Antioquia proyecto “Evaluación genético-económica de bovinos Holstein en sistemas de producción de leche en Antioquia” Código:115-502-2684, Convenio/contrato 287-2010 y al CODI proyecto sostenibilidad 2013 – 2015 – Universidad de Antioquia.

Revisión Bibliográfica

- Abdullahpour, R., Shahrababak, M.M., Nejati-Javaremi, A., Torshizi, R.V., Mrode, R., 2013. Genetic analysis of milk yield, fat and protein content in Holstein dairy cows in Iran: Legendre polynomials random regression model applied. *Archiv Tierzucht*. <http://doi.fbn-dummerstorf.de/2013/at56a048.pdf>
- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *Trans Autom Control* 19:716-723.
- Espinoza-Villavicencio, J.L., Palacios-Espinosa, A., Guillén-Trujillo, A., Avila-Serrano, N.Y., Guerra-Iglesias, D. 2011. Componentes De (Co)Varianza Del Crecimiento Posdestete en vaquillas Santa Gertrudis utilizando Modelos De Regresión Aleatoria. *AGROCIENCIA*, 45(4). 2011. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a2.pdf>
- Fernández, L., Tonhati, H., Albuquerque, L.G., Aspilcueta-Borquis, R.R., Menéndez Buxadera, A. 2011. Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia del Holstein en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45 (1). <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T45-N1-A2011-P001-Lucia-Fernandez.pdf>
- González-Peña, D., Espinoza Villavicenciob, J.L., Palacios Espinosa, A., Guerra Iglesias, D., Évora Maneroa, J.C., Portales González, A., Ortega Pérez, R., Guillén Trujillo, A. 2011. Parámetros genéticos para la persistencia de la lactación en vacas Siboney usando modelos de regresión aleatoria. *Rev Mex Cienc Pecu* 2011;2(2):151-160. <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/201104082374.pdf>

- Hammami, H., Rekik, B., Soyeurt, H., Ben Gara, y Gengler. 2008. Genetic Parameters for Tunisian Holsteins Using a Test-Day Random Regression Model. *J. Dairy Sci.* 91:2118–2126.
- Hernández, R., Ponce, P. 2006. Efecto de tres tipos de dieta sobre la aparición de trastornos metabólicos y su relación con alteraciones en la composición de la leche en vacas Holstein Friesian. *Zootecnia Tropical*, v.23, p.295-310. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-72692005000300005&script=sci_arttext
- Herrera Ríos, A.C., Múnica Bedoya, O.D., Ceron 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*, v26 (2) 2013,
- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz, M., Tonhati, H., Bignardi, A., Restrepo, L., Aspilcuelta, R. 2009. Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día de control empleando un modelo de regresión aleatoria para primeras lactancias en búfalos de la costa norte de Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 21 (6) 2009.
- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz, M., Gutiérrez-Valencia, A. 2006. Estimación de parámetros genéticos en el día de control en búfalos de la Costa Atlántica de Colombia. *Research for Rural Development*. 18 (3) 2006.
- ICAR, 2002. Section 2.3.15.2 Frequency of milk visits. In: International agreement of recording practices. www.icar.org. Accesado 3 diciembre de 2010.
- Jaffrézic, J., Minini, P. 2003. Modelling and analysis of incomplete and short lactations. *Anim. Sci.* 76: 19-25.
- Jamrozik, J. Schaeffer, L. 1997. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. *J Dairy Sci*, 1997; 80: 762-766.
- Khabat, K., Sadegh, A., Ludmila, Z., Abbas, R.S., Gholamali, M. 2013. Estimation of genetic parameters for daily milk yields of primiparous Iranian Holstein cows. *Archiv Tierzucht*. <http://doi.fbn-dummerstorf.de/2013/at56a044.pdf>

- Kirkpatrick, M., Lofsvold, D., Bulmer, M. 1990. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics* 124, 979-993.1990.
- Kirkpatrick, M., Hill, W.G., Thompson, R. 1994. Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactations in dairy cattle. *Genetics Research*. 64: 57-69.
- Meyer, K. 2006. WOMBAT - Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood" In: World Congress On Genetics Applied To Livestock Production, 8, 2006.
- Meyer, K. 1998. Estimating covariances functions for longitudinal data using a random regression model. *Genet. Sel. Evol.* 30: 221-240.
- MADR, 2012. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Decreto 17/2012. http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion_17_2012.pdf
- Nunez-Anton, V., Zimmerman, D.L. 2000. Modeling nonstationary longitudinal data. *Biometrics*, Volume 56:699-705.
- Ptak, E., Schaeffer, L.R. 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livest Prod Sci* 1993;34(1-2):23-34. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030162269390033E>
- De Roos, A.P.W., Harbers, A.G.F., de Jong, G. 2004. Random Herd Curves in a Test-Day Model for Milk, Fat, and Protein Production of Dairy Cattle in The Netherlands. *J. Dairy Sci.* 87:2693–2701. <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030204733962.pdf>
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, Volume 6:461-464.
- Strabel, T., Ptak, E., Szyda, J., Jamrozik. 2004. Multiple-lactation random regression test-day model for Polish Black and White cattle. *BULLETINS*, Publications of the International Bull Evaluation Service. SOUSSE, TUNISIA. BULLETIN N°. 32, 2004. p 132 – 136. <http://www-interbull.slu.se/bulletins/bulletin32/Strabel.pdf>

- Strabel, T., Misztal. 1999. Genetic parameters for first and second lactation milk yields of Polish black and white cattle with random regression test-day models. *J Dairy Sci.* 1999 Dec;82(12):2805-10. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10629829>
- Swalve, H.H. 2000. Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluation models. *J Dairy Sci.* 2000;83(5):1115-1124.
- Wiggans, G.R. 1997. Genetic evaluation systems in the United States. In 32nd International Symposium, Animal Production: Advances in Technology, Accuracy and Management, September 29 - October 1. Milan, Italy. Available on: <http://www.aipl.arsusda.gov/memos/html/overview.html>. Accessed: September, 1998.
- Zampar, A. 2012. Modelos de Regressao aleatória de qualidade de leite bovino. Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2001. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012. 51 p 25:35.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **Livestock Research for Rural Development**.

ARTÍCULO II

Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para producción de leche e ingresos por venta de leche a través de modelos de regresión aleatoria en hembras holstein de primera lactancia.

(Co) variance components and genetic parameters for milk yield and income from milk sales by random regression models in first-lactation Holstein cows.

Múnera Bedoya O D^{*}, Herrera Ríos A C^{*}, Cerón Muñoz M F^{*}.

** Grupo de Genética, Mejoramiento y Modelación Animal, (GaMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia. Carrera 75 No. 65-87, Bloque 47-233. Ciudadela de Robledo. AA 1226, Medellín, Colombia. Tel (574) 2199140. E-mail: oscardmunera@gmail.com*

Resumen

El objetivo del presente estudio fue estimar a través de Modelos de Regresión Aleatoria (MRA) componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para producción de leche (L) e ingresos por venta de leche en pesos colombianos (IL) en vacas holstein de primera lactancia del departamento de Antioquia, Colombia. Se incluyeron 9479 registros mensuales de L e IL pertenecientes a 1210 vacas holstein de primera lactancia. Para la determinación de los IL en términos de calidad composicional se preció el valor del litro de leche según los gramos de grasa y proteína láctea en el día de control, liquidados de acuerdo a la normatividad vigente para Colombia a mayo de 2013 (\$ 18.27/gr de proteína y \$ 6.09/gr de grasa) correspondiente a los valores de

referencia para la región 1. Se usaron 20 MRA con diferentes órdenes de polinomio ortogonal de Legendre para estimar los coeficientes de la curva fija de la población y la predicción de los efectos genético aditivo directo y de ambiente permanente. También se consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases. Los modelos fueron comparados mediante el criterio de información Bayesiano de Schwartz (BIC). Para L e IL el mejor modelo fue el de quinto orden para la curva fija de la población, y de cuarto orden para el efecto genético aditivo y el ambiente permanente y cinco varianzas residuales heterogéneas. Para ambas características se observó una trayectoria similar en las varianzas y en las heredabilidades. Las heredabilidades observadas para ambas características fueron de medias a bajas, para L los valores calculados estuvieron entre 0.16 y 0.30, para IL la entre 0.13 y 0.26. Para ambas características las hereabilidades fueron más altas en los días próximos al pico de producción de leche. Es posible realizar la selección de animales de primer parto para L y para IL en el departamento de Antioquia preferiblemente próximos al pico de producción, pues es el momento en que alcanzan los mayores valores de heredabilidad.

Palabras clave: Calidad de leche, evaluación genética, heredabilidad

Abstract

The aim of this study was to estimate by Random Regression Models (MRA) based on Legendre polynomials the (co) variance components and genetic parameters for milk yield (L), in kg, and income from milk sales (IL), in Colombian pesos, in first lactation cows in the region of Antioquia, Colombia. A total of 9,479 monthly records for L and IL, corresponding to 1210 first lactation Holstein cows, were evaluated. To determine the IL in terms of milk quality the price for each litter was valued depending on the fat and protein content in accordance with the current Colombia regulations to May of 2013 (\$ 18.27/gr and \$ 6.09/gr for protein and fat, respectively) corresponding to the reference values for the region 1.

For L and IL parameters 20 MRA with different orthogonal Legendre polynomials were used to estimate the coefficient of the population fixed-curve and to predict the direct additive genetic and the permanent environment effects. Additionally, homogeneous and heterogeneous residual variances of 5, 7, and 10 classes were considered. Models were compared by BIC. For L and IL the best model was obtained with the fifth-order for the population fixed-curve, and the fourth-order for direct additive genetic and the permanent environment effects with five heterogeneous residual variances. Both L and IL showed a similar trajectory in the variances and the heritability. Observed heritability for L and IL was medium to low. The heritability values were between 0.16 and 0.30 and between 0.13 and 0.26 for L and IL, respectively. Heritability for both parameters was higher during the days near the peak of milk production. Concluding, the findings of this study suggest that is preferably to select first lactation animals for L and IL characteristics close to the peak of milk production, due its high heritability value.

Keywords: Milk quality, genetic evaluation, heritability

Introducción

Los programas de evaluación y selección genética implementados en los sistemas de producción bovina tienen como objetivo aumentar la frecuencia de presentación de los rasgos deseables que influyen en la eficiencia de la producción (leche y/o carne). En ganado lechero, dichos programas han sido direccionados a aumentar el volumen de producción, esto ha permitido obtener mayor avance genético en producción en ganado holstein en países desarrollados de aproximadamente 100 kg de leche por año (Wiggans 1997). Para que un programa mejoramiento genético en ganado de leche sea exitoso, debe partir de una definición formal de los objetivos de interés económico y zootécnico a optimizar, puesto que hay varias características que afectan a la eficiencia económica (Araújo Martins et al 2003).

En Colombia, el 2% del hato bovino corresponde a animales destinados a la lechería especializada ubicados principalmente en el Norte de Antioquia, Nariño y las sabanas de Cundinamarca y Boyacá (MADR 2007). Para efectos de pago de leche cruda al productor se tiene como base la valoración que se realice en términos de calidad composicional e higiénica (MADR 2012). La calidad composicional se determina cuantificando la cantidad de gramos de sólidos totales, proteína y grasa contenidos en un litro de leche cruda. Diversos autores han estimado componentes de varianza y parámetros genéticos para características de tipo y producción de leche en el trópico a través de diferentes metodologías. Corrales et al (2012) estimaron heredabilidades, correlaciones fenotípicas y genotípicas entre 24 características de tipo y producción de leche en vacas Holstein del departamento de Antioquia el procedimiento de máxima verosimilitud restringida con modelos animales bi-característicos. Quiroz et al (2011), estimaron parámetros genéticos para características productivas y reproductivas en un hato holstein del oriente antioqueño mediante análisis multivariados con la metodología de máxima verosimilitud restringida. Herrera et al (2012) a través de modelos bi-característicos estimaron componentes de varianza para producción de leche, grasa y proteína en el día de control en vacas holstein del departamento de Antioquia. En ganado de leche es importante realizar programas de selección y evaluación genética con el fin de identificar y diseminar en los rebaños los individuos mejorantes para las características de mayor importancia económica (ICAR 2002), en especial producción de G y P. Teniendo en cuenta el sistema de pago actual que existe en Colombia para el litro de leche al productor (MADR 2012) es importante determinar los niveles de producción de leche, grasa y proteína para hallar los componentes de varianza y parámetros genéticos en los diferentes puntos de la lactancia para características de importancia económica como producción de leche (L) e ingresos por venta de leche en pesos colombianos (IL) en sistemas de producción locales, con el fin de optimizar los programas de selección.

Los avances computacionales logrados a la fecha posibilitan la utilización de MRA como una alternativa para estimar parámetros genéticos y componentes de varianza en diferentes puntos de la lactancia. Los MRA se han propuesto como alternativas para modelar rasgos que son medidos repetidamente en la vida del animal (Kirkpatrick et al

1990). Autores como Ptak y Shaeffer (1993) y Swalve (2000) han sugerido los MRA para evaluaciones genéticas de datos longitudinales, como la producción de leche, grasa y proteína en el día de control. Estos modelos consideran, entre otros aspectos, la forma de la curva de lactancia, el efecto particular del día de control para todas las vacas y los efectos específicos para cada vaca en el día de control (Fernández et al 2011). Trabajos que han evaluado características de producción de leche en bovinos y bufalinos en diferentes lugares validan la aplicación de la metodología como modelo para el desarrollo de evaluaciones genéticas (Herrera et al, 2013; González-Peña et al 2011; Hurtado-Lugo et al 2006 y Hurtado-Lugo et al 2009).

El presente estudio tuvo por objeto estimar componentes de varianza y parámetros genéticos para la producción de leche e ingresos por venta de leche en vacas holstein de Antioquia, utilizando un modelo de regresión aleatoria.

Materiales y Métodos

Para la estimación de los parámetros genéticos se emplearon datos productivos de 30 hatos lecheros del norte y cercano de Antioquia que participan en el programa de control lechero de la Corporación Antioquia Holstein y la Universidad de Antioquia. Están ubicados en zona de vida de Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), con temperaturas promedio de 16°C, alturas entre los 2000 y 3000 msnm y precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm, con topografía que va de plana a ondulada. El sistema de alimentación se caracteriza por poseer pasturas de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en mayor proporción y algunas asociaciones con Rye grass (*Lolium perenne*). Los animales fueron suplementados con alimentos comerciales de acuerdo a la etapa productiva y los criterios de manejo de cada uno de los hatos al momento del ordeño. La base de datos incluyó 9479 registros mensuales de producción de leche, grasa y proteína láctea pertenecientes a 1210 vacas holstein de primera lactancia con partos ocurridos entre noviembre de 2007 y agosto de 2012. El control lechero fue realizado mediante la metodología A4 X2 (ICAR 2002) que consistió en visitas mensuales y control en ordeños AM y PM.

Para la determinación de los ingresos en términos de calidad composicional se preció el valor del litro de leche cuantificado según los gramos de grasa y proteína láctea contenidos en un litro de leche, los cuales fueron multiplicados por el total de litros producidos en el día de control. Los gramos de grasa y proteína fueron liquidados de acuerdo a la normatividad vigente a mayo de 2013 (\$ 18.27/gr de proteína y \$ 6.09/gr de grasa) correspondiente a los valores de referencia para la región (MADR 2012).

Para el presente análisis no se tuvieron en cuenta los ingresos o penalidades que pudieron originarse por calidad higiénica medidos en términos de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) ni otras bonificaciones o descuentos voluntarios. Los análisis no incluyeron información de animales con menos de cuatro controles durante la lactancia o que no contaran con registros de producción antes del día 70, solo se analizaron los grupos contemporáneos con mínimo cuatro animales. La base de datos incluyó 4951 animales en la matriz de parentesco.

Para calcular los parámetros genéticos de la producción de grasa y proteína se utilizaron MRA con polinomios ortogonales de Legendre de diferente orden para predecir los coeficientes de la curva fija de la población, los efectos genético aditivo directo y de ambiente permanente, se consideraron varianzas residuales homogéneas y heterogéneas de 5, 7 y 10 clases.

El modelo de regresión aleatoria empleado se representa de la siguiente forma matricial:

$$y = X\beta + Za + Wc + e$$

Donde

y = es el vector de N observaciones para L e IL, medido en N_d registros por vaca.

β = vector de efectos fijos de grupo contemporáneo (finca, año, época de parto) y de los coeficientes de regresión de la curva fija de la población.

a = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios genético aditivos

c = vector de soluciones de los coeficientes aleatorios del ambiente permanente

X , Z y W = son las matrices de incidencia de los efectos fijos, genético aditivos y de ambiente permanente, respectivamente.

e = es el vector de residuos independientemente distribuido, modelado con homogeneidad de varianzas o modelado en clases de varianzas heterogéneas.

Asumiendo que los componentes del modelo presentaron esperanzas (E) y varianzas fueron:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, V_a = K_a \otimes A, V_c = K_c \otimes I_{N_d} \text{ y } V_e = R$$

Donde K_a es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria genético aditivo, K_c es la matriz de covarianza de los coeficientes de regresión aleatoria de ambiente permanente. A es la matriz que relaciones genéticas aditivas, I_{N_d} es una matriz identidad de dimención N_d y R es una matriz diagonal que contiene las varianzas residuales.

Los días en leche (t_i) y (t_j) fueron estandarizados en el intervalo -1 a 1. Las covarianzas genética (G) y de ambiente permanente (C) entre días en leche fueron estimadas por:

$$G = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_a \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \text{ y}$$

$$C = [1, t_i, t_i^2 \dots] K_c \begin{bmatrix} 1 \\ t_j \\ t_j^2 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

Las épocas de parto fueron definidas diciembre-febrero, junio-agosto y marzo-mayo, septiembre-noviembre, según el régimen de lluvias de la zona.

Los componentes de varianza y parámetros genéticos del modelo fueron obtenidos por el método de máxima verosimilitud restringida REML mediante el programa estadístico WOMBAT desarrollado por Meyer (2006).

Se probaron 20 modelos con polinomios de Legendre para las características L e IL desde el 333.homo hasta el 544.het10. Los diferentes modelos fueron comparados utilizando el criterio de información bayesiano BIC (Schwarz 1978), que permiten la comparación de modelos no anidados y castigan los modelos con mayor número de parámetros, siendo el BIC más riguroso (Nunez-Antón y Zimmerman 2000), valores más bajos BIC, significan mejor ajuste del modelo.

$$BIC = -2\log L + p \log(N - r(X))$$

donde, p es el número de parámetros del modelo, N es el número de observaciones, $\log L$ es el valor del logaritmo natural de la función de máxima verosimilitud y $r(X)$ es el rango de la matriz X (matriz de incidencia para los efectos fijos).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para los criterios de comparación BIC en cada modelo analizado para L e IL se muestran en la tabla 1. Para L e IL el menor valor de BIC lo presentó el modelo con orden de polinomio 5, 4 y 4 para la curva fija, el efecto genético aditivo y el ambiente permanente, respectivamente con 5 clases de varianzas heterogéneas (544.het5).

Los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos se estimaron con el modelo 544.het5 para ambas características, ya que el criterio BIC se trata del modelo más parsimonioso (menor número de parámetros) y porque su convergencia fue más rápida.

Los modelos que presentaron el peor ajuste fueron los que incluyeron varianzas homogéneas y que corresponden a los de menor número de parámetros.

Varios autores han utilizado diferentes órdenes de polinomios de Legendre para L en poblaciones holstein en otros países. Khabat et al (2013) encontraron que el modelo 223-hom (con varianzas homogéneas) presentó un ajuste satisfactorio en la estimación de parámetros genéticos para L en una población holstein en Irán. La mayoría de los estudios realizados reportan mejores ajustes cuando se utilizan modelos con varianzas heterogéneas (Strabel y Mistal 1999; Fernández et al 2011; Hammami et al 2008; Abdollahpour et al 2013; de Roos et al 2004). Estudios realizados por Herrera et al (2013) para calcular parámetros genéticos en una población holstein similar para la característica L concluyeron que el modelo que mejor ajuste presentó fue el 444-het5. En el presente estudio, al incrementar el orden de los polinomios se presentó mayor dificultad para obtener la convergencia, encontrando falsas convergencias con el modelo 555.het5 para L e IL al utilizar diferentes algoritmos. Considerar altos órdenes de ajuste puede aumentar la flexibilidad de la curva, pero también eleva los requerimientos computacionales y la dificultad de convergencia (Kirkpatrick et al 1994; Meyer 1998).

Las varianzas estimadas para L obtenidas con el modelo 544.het5 se muestran en la figura 1. La varianza genética directa estuvo entre 2.5 y 6.92 kg², iniciando con valores de 3.80 kg², seguido de un ascenso cercano al día 69 el cual corresponde con el pico de producción de leche en la población evaluada, continuando con un descenso en los valores encontrados cercano al día 280, a partir del cual se presentó nuevamente un leve aumento en los valores hasta finalizar la lactancia con 3.81 kg². Para la varianza del ambiente permanente los menores valores se encontraron antes del pico de producción (día 45 con 9.54 kg²) seguida de un amento leve hasta el día 125 a partir del cual se da una estabilización en los valores encontrados. Antes de finalizar la lactancia se presentó un leve descenso que se estabiliza nuevamente antes de terminar el período de producción. Respecto a la varianza fenotípica los valores encontrados estuvieron entre 16.03 kg² para el día 293 y 0.042 kg² al inicio de la lactancia, con una trayectoria que disminuye antes de llegar al pico de producción, y asciende el día 290, a

partir del cual se presentó un descenso a medida que el periodo de producción de leche avanza. La varianza residual presentó los mayores valores entre los días 122 y 155 (6.36 kg²) y los menores entre los 291 y 305 (2.30 kg²).

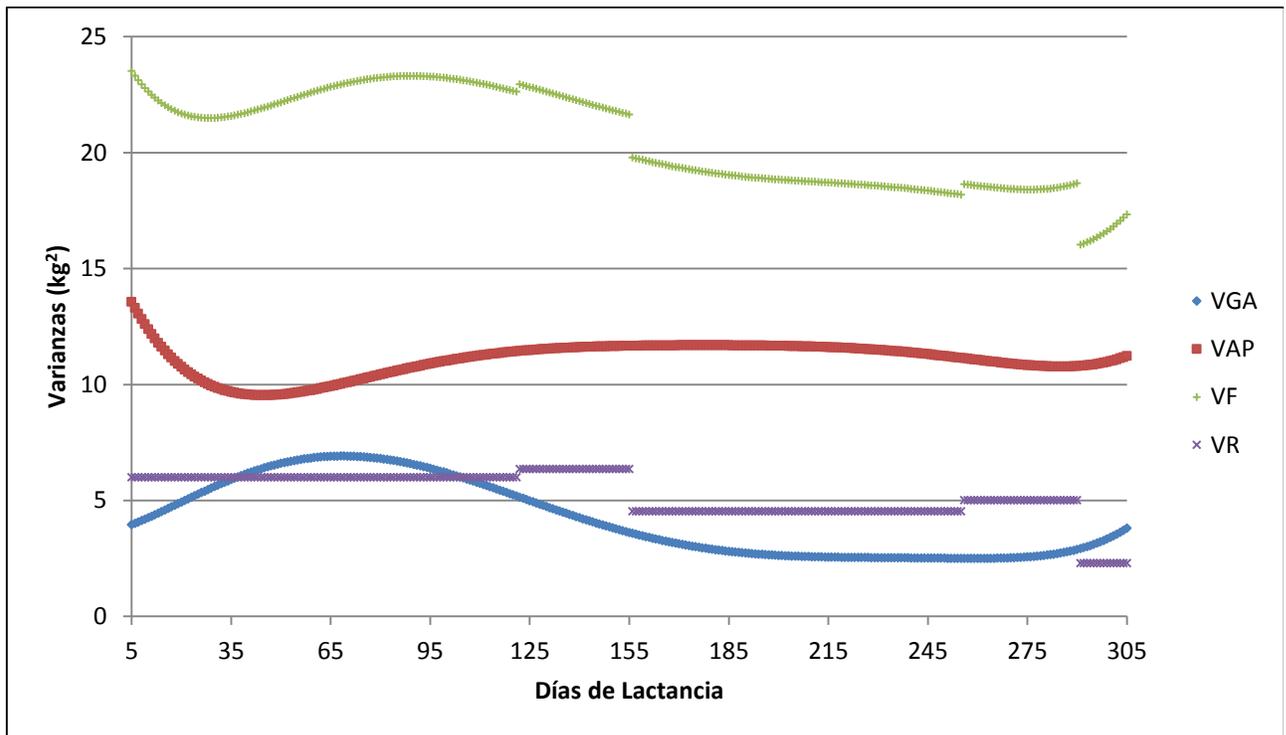


Figura 2. Varianzas genética aditiva (DAGV), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para producción de leche obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.

Trayectorias similares para las varianzas genética aditiva, ambiente permanente, fenotípica y residual fueron reportados por Herrera et al (2013). Para la Varianza genética aditiva Fernández et al (2011) presentaron resultados similares, mientras que estudios desarrollados por otros autores presentaron trayectorias de la varianza genética aditiva más altas hacia el fin de la lactancia (Khabat et al 2013; Abdollahpour et al 2013; de Roos et al 2004). La trayectoria de la varianza del ambiente permanente encontrada en el presente estudio coincide con la reportada por Khabat et al (2013), contrario a Fernández et al (2011) quienes encontraron mayores valores al inicio de la

lactancia y Abdullahpour et al (2013) quienes reportaron altas varianzas al inicio y al final del periodo de producción de leche.

Para IL, la trayectoria de las varianzas estimadas se muestra en la figura 2. Se observa que la varianza fenotípica, ambiente permanente y residual los mayores valores se presentaron al inicio de la lactancia. Para la varianza genética aditiva directa los mayores valores se presentaron al inicio del segundo tercio de lactancia después del pico de producción, las varianzas encontrados están entre 1350 \$² (días 186 a 199) y 3270 \$² (días 60 a 66), se encontró que hacia el final de la lactancia los valores se estabilizaron. Para la varianza fenotípica los valores encontrados estuvieron entre 8890 \$² hacia el final de la lactancia y 15360 \$² para el inicio, en general se observó un descenso en la variabilidad de los datos a medida que avanzó la lactancia.

La varianza del ambiente permanente que inició con valores altos (8850 \$²) presentó un descenso acelerado hacia el día 50 (5630 \$²), seguida de un leve aumento hacia el segundo y tercer tercio de lactancia. La varianza residual, presentó una trayectoria decreciente a medida que avanza la lactancia con valores entre 1380 \$² y 3630 \$² con un leve aumento alrededor del día 80 de lactancia.

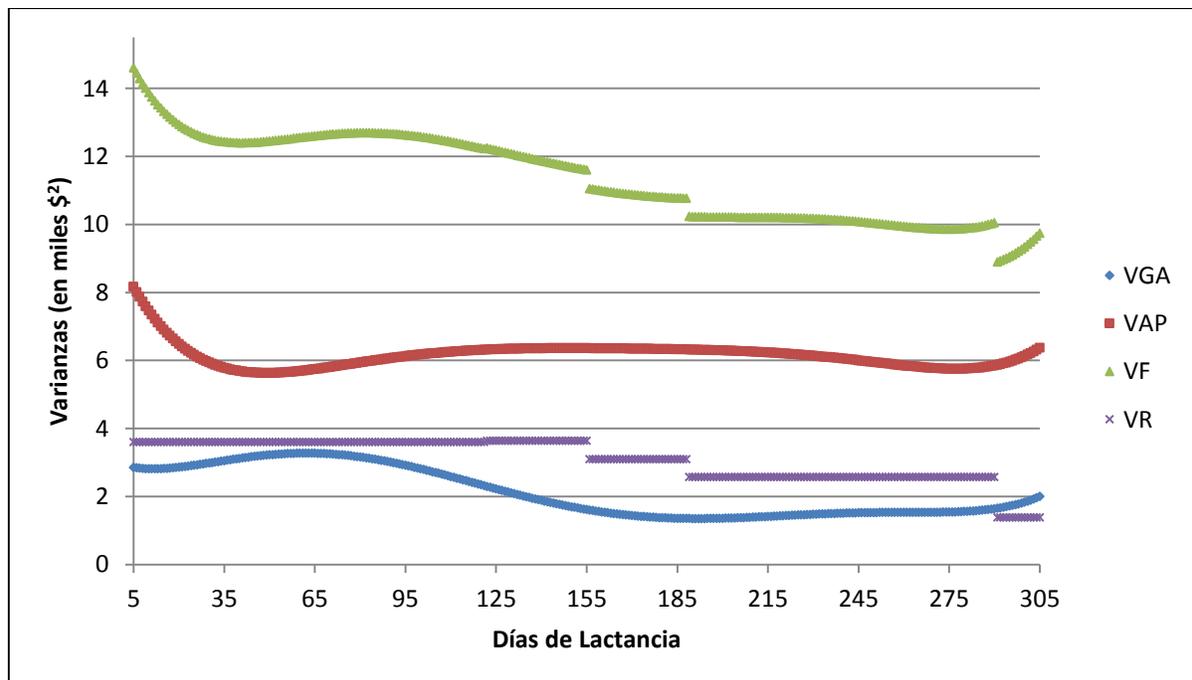


Figura 2. Varianzas genética aditiva (DAGV), fenotípica (FV), de ambiente permanente (APEV) y residual (RV), para Ingreso por venta de leche obtenidas a lo largo de la lactancia en vacas holstein de primera lactancia de Antioquia.

Para ambas características (L e IL) las trayectorias de las varianzas genética aditiva, del ambiente permanente, fenotípica y residual son muy similares, de acuerdo a la normatividad vigente en Colombia según el decreto 017/2012 del MADR.

La heredabilidad para L se presenta en la figura 3. Los mayores valores en las heredabilidades se presentaron en los días cercanos al pico de producción, entre los días 47 y 78 (0.30), mientras que el menor valor se observó el día 256 (0.13). Hacia el final de la lactancia se presentó un aumento en los valores hasta 0.22 el día 305.

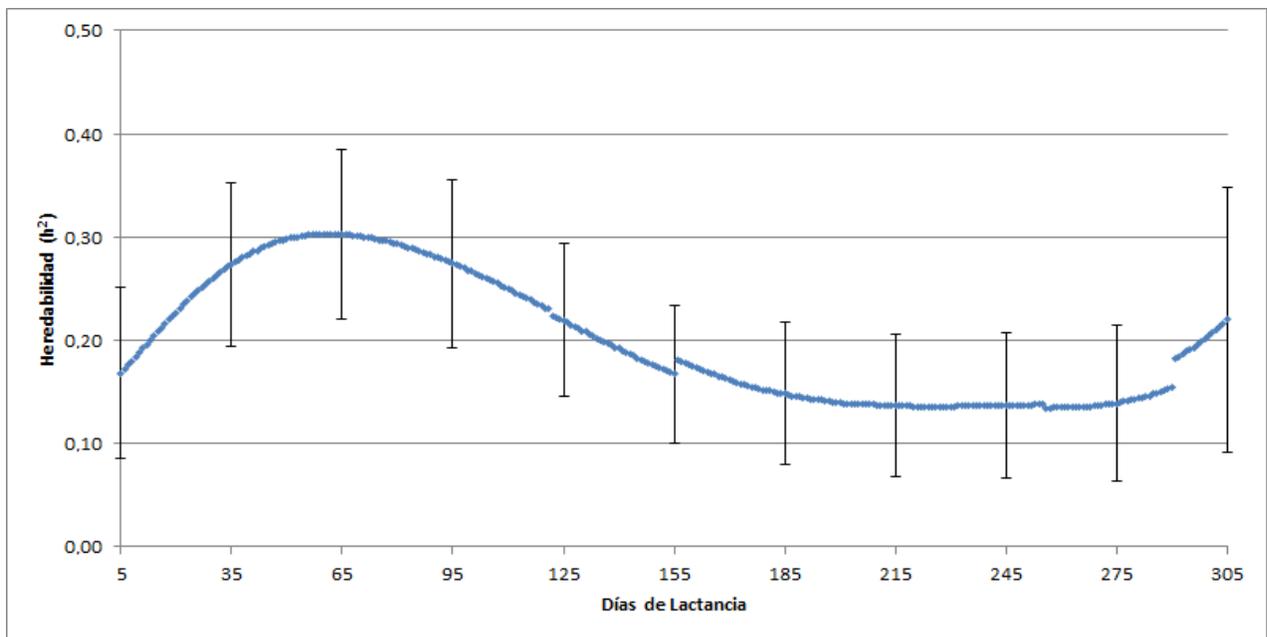


Figura 3. Heredabilidades (h^2) para producción de leche a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia.

Heredabilidades con trayectorias similares fueron reportadas por Herrera et al (2013) y Fernández et al (2011) quienes encontraron mayores heredabilidades antes de los 90 días, con valores similares a los reportados en el presente estudio (entre 0.10 y 0.36). Otros estudios reportaron mayores heredabilidades hacia el final de la lactancia (Khabat et al 2013; Abdollahpour et al 2013), mientras que Hammami et al (2008) y Strabel y

Misztal (1999) encontraron las mayores heredabilidades en la mitad de la lactancia con valores menores a 0.20.

Para IL se obtuvieron heredabilidades entre 0.13 y 0.26 (figura 5). Para el inicio de la lactancia los valores obtenidos fueron de 0.19 aumentando hasta 0.26 los días 44 a 73, descendiendo a medida que avanza la lactancia hasta 0.13 entre los días 167 a 206. Hacia el final de la lactancia los valores de heredabilidad presentaron un ligero aumento (0.21 en el día 305).

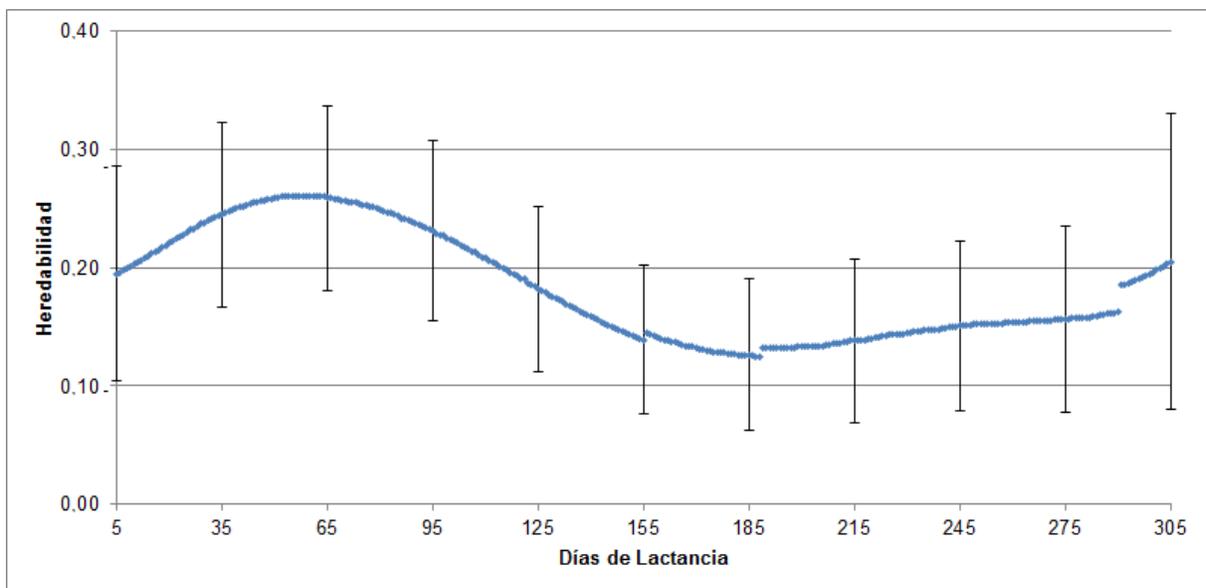


Figura 4. Heredabilidades (h^2) a lo largo de la lactancia en ganado holstein de Antioquia para Ingresos por venta de leche.

Similar a lo encontrado en las trayectorias de las varianzas, para la heredabilidad de L e IL se encontraron resultados equivalentes, aunque para la característica L los valores de las heredabilidades fueron más altos observándose las mayores diferencias entre los días 33 al 143 a favor de la producción de leche con una diferencia de 0.04.

Para L e IL, las heredabilidades obtenidas fueron más altas y los errores menores en los puntos próximos al pico de producción, comparados con los valores calculados para el inicio y el final de la lactancia, lo anterior puede explicarse por el número de datos menor en estos puntos de la curva de producción. Además, los programas de manejo propios de cada hato y el comportamiento fisiológico de los animales pueden explicar el

aumento de los errores en el inicio y final de la lactancia producto de los programas de suplementación, manejo y los días de preñez de cada vaca, los cuales son responsables de variaciones en los niveles de producción de leche y sólidos lácteos, responsables del valor de los IL.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas para L entre los diferentes días de lactancia se presentan en las Figuras 5 y 6. La correlación genética y fenotípica entre el día 1 y el día 5 fue de 0.99, y entre el día 1 y el día 305 de fue -0.01 y 0.33, respectivamente

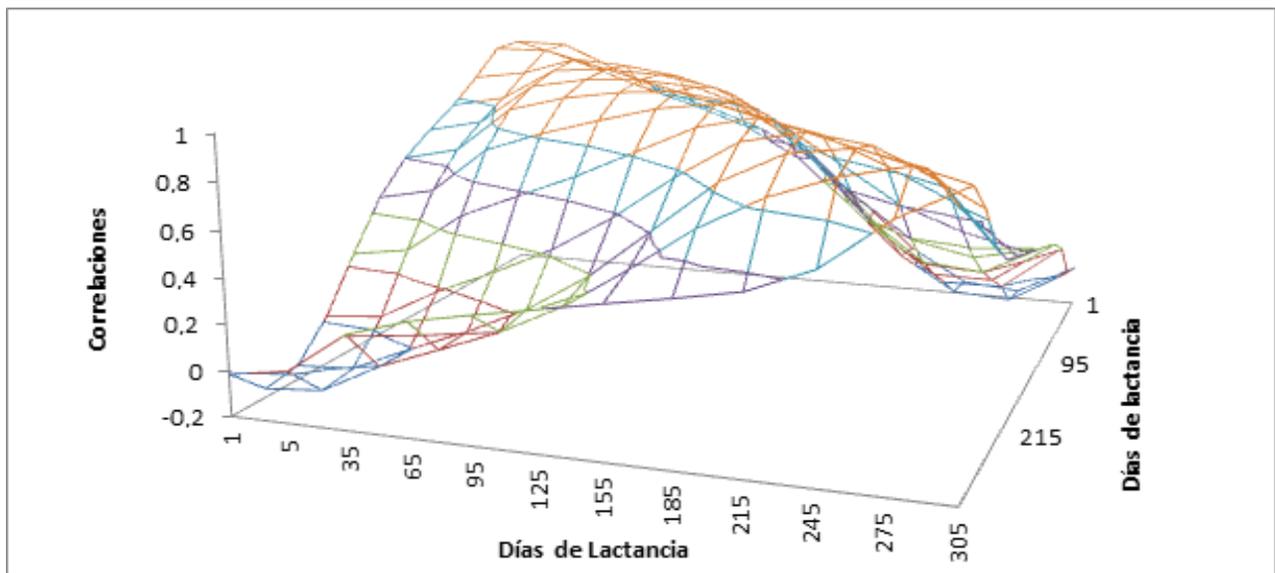


Figura 5. Correlaciones genéticas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para producción de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.

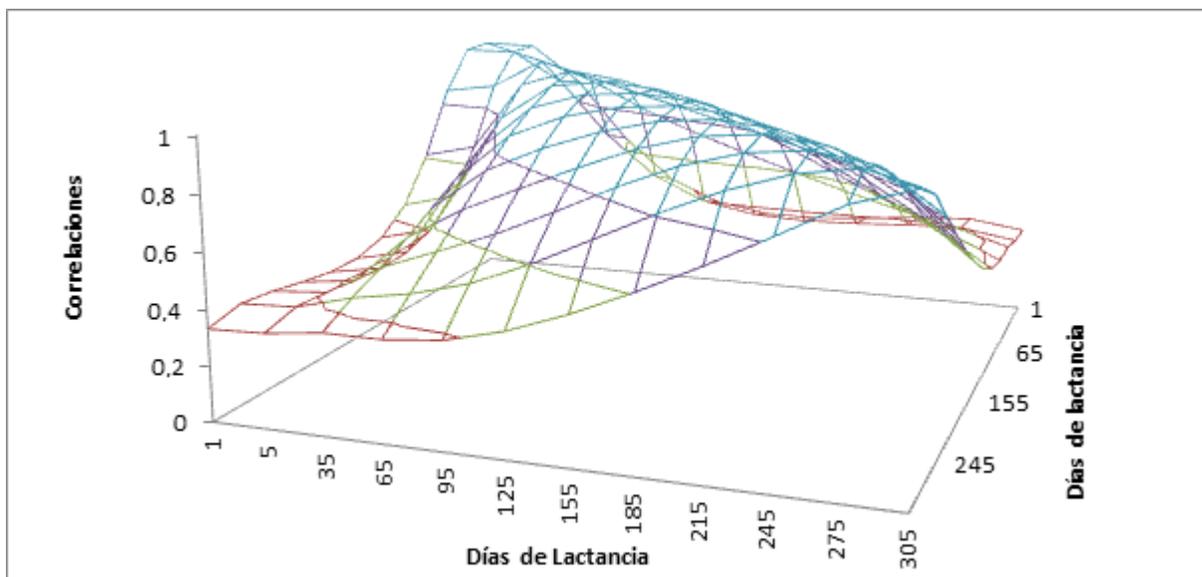


Figura 6. Correlaciones fenotípicas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para producción de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.

Para IL, las correlaciones disminuyeron a medida que aumentan los intervalos de días. La correlación genética (figura 7) y fenotípica (Figura 8) entre el día 1 y el día 5 fue de 0.99, y entre el día 1 y el día 305 de fue -0.05 y 0.24, respectivamente

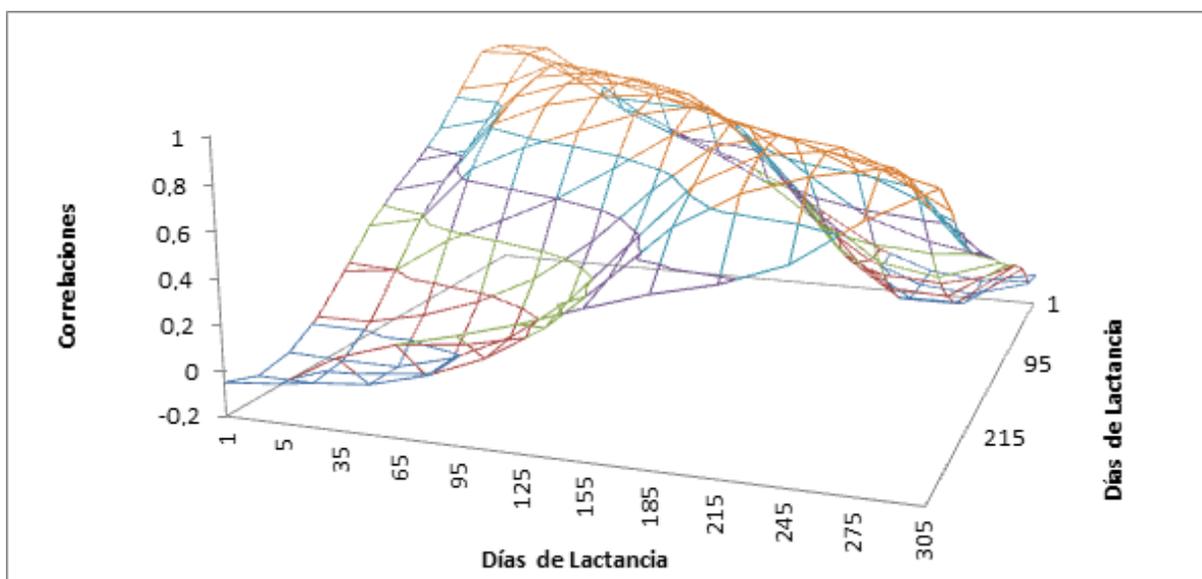


Figura 7. Correlaciones genéticas para días en leche obtenidas con un modelo de

regresión aleatoria para ingresos por venta de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.

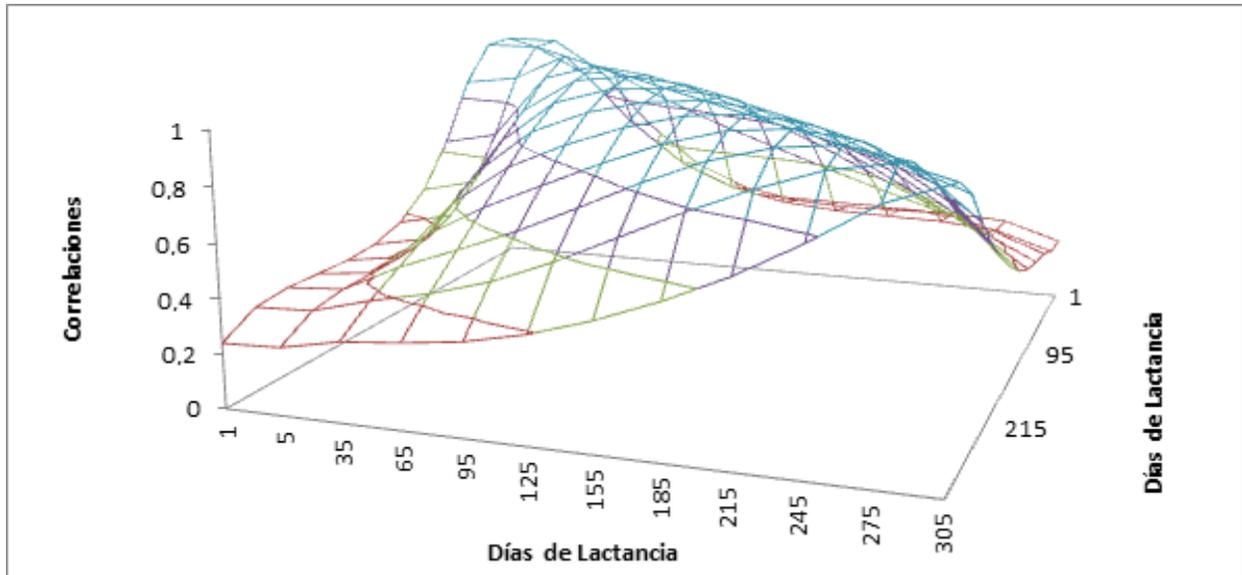


Figura 8. Correlaciones fenotípicas para días en leche obtenidas con un modelo de regresión aleatoria para ingresos por venta de leche en vacas holstein de primer parto de Antioquia.

Debido a los errores altos de las heredabilidades al inicio y al final de la lactancia debido al menor número de datos y las variaciones en los niveles de producción para L por razones fisiológicas y de manejo de cada hato, las correlaciones genéticas y fenotípicas encontradas entre intervalos de días amplios fueron bajas. Al analizar intervalos de tiempo cortos los valores aumentaron siendo cercanos a uno. Para IL se observaron comportamientos similares. Se obtuvieron correlaciones genéticas y fenotípicas altas para cada una de las características cuando fueron evaluadas con intervalos de días cortos, al ampliar los intervalos los valores de las correlaciones disminuyeron

Conclusión

El presente estudio permitió identificar que es posible realizar la selección de animales de primer parto para L e IL en el departamento de Antioquia preferiblemente próximos

al pico de producción, pues es el momento en que alcanzan los mayores valores de heredabilidad. Existe variabilidad genética para las características L e IL para la población evaluada.

Los MRA basados en polinomios de Legendre y con varianzas residuales heterogéneas, son adecuados para estimar parámetros y variaciones genéticas para L e IL.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero para este estudio a Colciencias, la Corporación Antioquia Holstein, el Grupo de genética, mejoramiento y modelación animal (GaMMA) de la Universidad de Antioquia proyecto “Evaluación genético-económica de bovinos Holstein en sistemas de producción de leche en Antioquia” Código:115-502-2684, Convenio/contrato 287-2010 y al CODI proyecto sostenibilidad 2013 – 2015 – Universidad de Antioquia.

Tabla 2. Comparación de modelos con diferentes órdenes de polinomios de Legendre para Leche e Ingresos por venta de leche en vacas holstein de Antioquia.

K_B	K_A	K_{AP}	MODELO	NP	Leche BIC	Ingreso Venta Leche BIC
3	3	3	333-het1	13	31812.3	26624.2
3	3	3	333-het5	17	31706.5	26533.7
3	3	3	333-het7	19	31706.6	26543.4
3	3	3	333-het10	22	31727.3	26563.5
4	3	3	433-het1	13	31573.4	26534.7
4	3	3	433-het5	17	31497.7	26449.3
4	3	3	433-het7	19	31514.6	26465.3
4	3	3	433-het10	22	31533.9	26491.3
4	4	3	443-het1	17	31396.9	26361.8
4	4	3	443-het5	21	31348.8	26314.3
4	4	3	443-het7	23	31360.8	26336.8
4	4	3	443-het10	26	31385.9	26358.0
4	4	4	444-het1	21	31421.9	26386.7
4	4	4	444-het5	25	31376.0	26349.7
4	4	4	444-het7	27	31394.2	26356.2
4	4	4	444-het10	30	31412.3	26386.7
5	4	4	544-het1	21	31317.5	26343.9

5	4	4	544-het5	25	31291.3 *	26307.8 *
5	4	4	544-het7	27	31305.8	26319.2
5	4	4	544-het10	30	31314.5	26345.1

Modelo con K_B , K_A , K_{ap} ordenes de polinomio de Legendre y clases de varianzas; K_B = orden de ajuste para la curva fija; K_A = orden de ajuste para el efecto aditivo; K_{ap} = orden de ajuste para ambiente permanente; N_p = Número de parámetros; BIC = Criterio de comparación Bayesiano; * = Mejores modelos para BIC.

Referencias citadas.

- **Abdollahpour R, Shahrabak M M, Nejati-Javaremi A, Torshizi R V and Mrode R 2013** Genetic analysis of milk yield, fat and protein content in holstein dairy cows in Iran: Legendre polynomials random regression model applied. Archives Animal Breeding, 56 (2013) 48 Retrieved June 1, 2012, from <http://doi.fbn-dummerstorf.de/2013/at56a048.pdf>
- **Akaike H 1974** A new look at the statistical model identification. Trans Autom Control 19:716-723.
- **Araújo Martins G, Enrique Madalena F, Bruschi J. E, Ladeira da Costa J, Neves Monteiro 2003** Objetivos Econômicos de Seleção de Bovinos de Leite Para Fazenda Demonstrativa na Zona da Mata de Minas Gerais. Revista Brasileira de Zootecnia, Volumen 32, número 2, p.304-314 Retrieved June 1, 2012, from . <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v32n2/16591.pdf>
- **Boichard D, Grosh C, Bourgeois F, Cerqueira F, Faugeras R, Neau A, Rupp R; Amigues Y, Boscher M, Levéziel H 2003** Detection of genes influencing economic traits in three French dairy cattle breeds. Genetics Selection Evolution, 35:77–101 Retrieved May 14, 2012, from <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1297-9686-35-1-77.pdf>
- **Corrales J, Cerón-Muñoz M, Cañas J, Herrera C, Calvo S 2012** Parámetros genéticos de características de tipo y producción en ganado holstein del departamento de Antioquia. Revista MVZ Córdoba, Volumen 17 número 1 jun./abr. 2012. Retrieved June 23, 2012, from http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682012000100009&lng=pt&nrm=iso
- **Fernández L, Tonhati H, Albuquerque L G, Aspilcueta-Borquis R R y Menéndez Buxadera A 2011** Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia del holstein en Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Volumen 45 (1). Retrieved October 23, 2012, from <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T45-N1-A2011-P001-Lucia-Fernandez.pdf>

- **González-Peña D, Espinoza Villavicencio J L, Palacios Espinosa A, Guerra Iglesias D, Évora Maneroa J C, Portales González A, Ortega Pérez R, Guillén Trujillo A 2011** Parámetros genéticos para la persistencia de la lactación en vacas Siboney usando modelos de regresión aleatoria. Revista Mexicana de Ciencias Pecuaria, 2011;2(2):151-160 Retrieved Enero 28, 2012, from <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/201104082374.pdf>
- Hammami H, Rekik B, Soyeurt H, Ben Gara y Gengler 2008 Genetic Parameters for Tunisian holsteins Using a Test-Day Random Regression Model. Journal Dairy Science 91:2118–2126.
- **Herrera Ríos A C, Múnera Bedoya O D, Molina Taborda L M, 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. In press
- **Herrera Ríos A C, Múnera Bedoya O D, Ceron 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, Volume 26, N° 2, Retrieved Jun 2013.
- **Herrera Rios A C, Munera Bedoya O D, Molina Taborda L M, Ceron Munoz M F 2012** 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 Medellín, Volumen 64 fasciculo 1 p.26 – 30
- **Hurtado-Lugo N, Cerón-Muñoz M, Tonhati H, Bignardi A, Restrepo L y Aspilcuelta R 2009** Estimación de parámetros genéticos para la producción de leche en el día de control empleando un modelo de regresión aleatoria para primeras lactancias en búfalos de la costa norte de Colombia. Livestock Research for Rural Development. Volumen 21 (6) Retrieved Enero 28, 2012, from <http://www.lrrd.org/lrrd21/6/hurt21089.htm>
- **Hurtado-Lugo N, Cerón-Muñoz M y Gutiérrez-Valencia A 2006** Estimación de parámetros genéticos en el día de control en búfalos de la Costa Atlántica

de Colombia. Research for Rural Development. Volumen 18 (3) Retrieved Enero 28, 2012, from <http://www.lrrd.org/lrrd18/3/hurt18039.htm>

- **ICAR 2002** Section 2.3.15.2 Frequency of milk visits. In: International agreement of recording practices. www.icar.org. Retrieved may 2010.
- **Khabat K, Sadegh A, Ludmila Z, Abbas R S y Gholamali M 2013** Estimation of genetic parameters for daily milk yields of primiparous Iranian holstein cows. Archiv Tierzucht. Retrieved May 2, 2013, from <http://doi.fbn-dummerstorf.de/2013/at56a044.pdf>
- **Kirkpatrick M., Hill W G, Thompson R 1994** Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactations in dairy cattle. Genetics Research. Volume 64: 57-69.
- **Kirkpatrick M, Lofsvold M and Bulmer M 1990** Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. Genetics 124, 979-993.
- **MADR 2007** Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico de la cadena láctea colombiana. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias y Universidad Externado de Colombia. Consultado Febrero 20, 2012 <http://www.minagricultura.gov.co/archivos/lacteos.pdf>
- **MADR 2012** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Decreto 17/2012. Consultado febrero 20, 2012 http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion_17_2012.pdf
- **Meyer K 2006** WOMBAT - Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood" In: World Congress On Genetics Applied To Livestock Production, 8, 2006.
- **Meyer K 1998** Estimating covariances functions for longitudinal data using a random regression model. Genetics Selection Evolution 30: 221-240.
- **Nunez-Anton V and Zimmerman D L 2000** Modeling nonstationary longitudinal data. Biometrics, Volume 56:699-705.
- **Ptak E, Schaeffer LR 1993** Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. Livestock Research for Rural Development 1993;34(1-

2):23-34 Retrieved January 10, 2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030162269390033E>

- **Quiroz Osorio K, Carmona Vargas C, Echeverri Zuluaga J J 2011** Parámetros genéticos para algunas características productivas y reproductivas en un hato holstein del Oriente Antioqueño, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 64(2). 6199-6206. Consultado mayo 4, 2013
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922664016>
- **de Roos A P W, Harbers A G F, de Jong G 2004** Random Herd Curves in a Test-Day Model for Milk, Fat, and Protein Production of Dairy Cattle in The Netherlands. Journal Dairy Science. Volume 87:269–2701.
<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030204733962.pdf>
- **Schwarz G 1978** Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics, Volume 6:461-464.
- **Swalve H H 2000** Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluation models. Journal Dairy Science. Volume 83(5):1115-1124.
- **Strabel T and Misztal 1999** Genetic parameters for first and second lactation milk yields of Polish black and white cattle with random regression test-day models. Journal Dairy Science. Dec;82(12):2805-10. Retrieved May 3, 2013
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10629829>
- **Wiggans G.R 1997** Genetic evaluation systems in the United States. In 32nd International Symposium, Animal Production: Advances in Technology, Accuracy and Management, September 29 - October 1. Milan, Italy. Available on: <http://www.aipl.arsusda.gov/memos/html/overview.html>

Conclusiones

Los sistemas de producción lechera en Colombia afrontan grandes retos productivos como resultado de la creciente oferta de leches y lactosueros importados a bajo costo producto de la implementación de tratados comerciales con otros países, la falta de políticas agropecuarias acertadas y la presión de las industrias procesadoras por productos de alta calidad composicional, higiénica y sanitaria.

Los programas de evaluación genética en ganado de leche adelantados en el departamento ofrecen alternativas a los productores para adelantar programas de selección de animales con alto valor genético que acompañados de estrategias de manejo y nutrición adecuados permitan hacer más competitivo el sector.

Se encontró variabilidad genética en la población evaluada para las características producción de leche, grasa, proteína e ingresos por venta de leche.

Los Modelos con clases de varianzas heterogéneas para las características evaluadas en el presente estudio presentaron mejor ajuste que aquellos menos parametrizados que tenían varianzas homogéneas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio validan la implementación de MRA en el desarrollo de programas de mejoramiento genético para las características que presenten datos longitudinales en poblaciones holstein de Antioquia.

En el presente estudio se determinó que para el desarrollo de programas de selección en las características evaluadas es apropiado hacerla durante el pico de producción, debido a que corresponde a la época en que se presentan mayores heredabilidades.