



Archivos de Zootecnia

ISSN: 0004-0592

archivoszootecnia@uco.es

Universidad de Córdoba

España

Rodríguez, C.N.; López-Herrera, A.; Echeverri, Z.J.

Efecto de la interacción del nivel nutricional de la dieta y el polimorfismo de los genes

BGH, PRL e IGF2a sobre el porcentaje de grasa y proteína en la leche de ganado

Holstein

Archivos de Zootecnia, vol. 66, núm. 256, 2017, pp. 499-507

Universidad de Córdoba

Córdoba, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553571005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Efecto de la interacción del nivel nutricional de la dieta y el polimorfismo de los genes BGH, PRL e IGF2α sobre el porcentaje de grasa y proteína en la leche de ganado Holstein

Rodríguez, C.N.<sup>®</sup>; López-Herrera, A. y Echeverri, Z.J.

Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín. Colombia.

### RESUMEN

#### PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Análisis genético.  
Caracterización.  
Polimorfismo.  
Nivel nutricional.

El conocimiento de los fenómenos que afectan la composición de la leche, puede contribuir a mejorar este aspecto. La genómica nutricional evalúa en sinergismo factores importantes como la genética y la nutrición y ha tomado fuerza como herramienta que permite explicar el engranaje correcto entre estos factores y puede ayudar a mejorar los índices de productividad en los hatos lecheros. El objetivo de esta investigación fue explorar la interacción entre el aporte de nutrientes en la dieta y el efecto de los polimorfismos de los genes BGH, PRL e IGF2α sobre el porcentaje de proteína y grasa en vacas Holstein del departamento de Antioquia. Para este propósito se contó con información fenotípica y genotípica de 1070 vacas Holstein distribuidas en 21 herds del departamento de Antioquia. Los animales se genotipificaron mediante la técnica PDR-RFLP. El aporte de materia seca, proteína y energía de la dieta fue determinado mediante visitas, mediciones y estimaciones realizadas mensualmente en cada hato. En los modelos para grasa y proteína en leche se encontró efecto significativo de las interacciones ( $p<0,05$ ) entre el nivel de consumo de materia seca, proteína cruda y energía neta de lactancia y los polimorfismos de genes BGH, PRL e IGF2α. En el análisis de regresión lineal se encontraron efectos significativos ( $p<0,05$ ) en el aporte total de nutrientes en el gen BGH para porcentaje de grasa y proteína en leche, para en gen PRL se encontraron efectos significativas ( $p<0,05$ ) en el aporte total de nutrientes medio y el porcentaje de grasa en leche, para el IGF2α se encontraron efectos significativas ( $p<0,05$ ) en el aporte total de nutrientes medio y el porcentaje de grasa en proteína en leche, lo cual evidencia como el efecto del genotipo es diferente según las condiciones nutricionales de los animales.

### **Effect of the interaction of level nutritional diet and gene polymorphisms BGH, PRL e IGF2α on percentage of fat and protein in milk of Holstein cattle**

### SUMMARY

#### ADDITIONAL KEYWORDS

Genetic analysis.  
Characterization.  
Polymorphism.  
Nutritional status.

#### INFORMATION

Cronología del artículo.  
Recibido/Received: 24.08.2016  
Aceptado/Accepted: 19.05.2017  
On-line: 15.10.2017  
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:  
nrodrig@unal.edu.co

The knowledge of the phenomena that affect the composition of milk can help improve these aspects. Nutritional genomics evaluates the synergism of important factors such as genetics and nutrition, and it has taken hold as a tool to explain the correct gear between these factors and can help improve productivity rates in dairy herds. The objective of this research was to explore the interaction between nutrient supply in the diet and the effect of polymorphisms of BGH, PRL and IGF2α genes on the percentage of protein and fat in Holstein cows from the department of Antioquia. For this purpose, we considered the phenotypic and genotypic information from 1070 Holstein cows distributed in 21 herds in the department of Antioquia. The animals were genotyped by RFLP PDR-technique. The contribution of dry matter, protein and energy diet was determined through visits, measurements and estimates made monthly in each herd. In models for milk fat and protein interactions, a significant effect ( $p<0.05$ ) between the level of consumption of dry matter, crude protein and net energy of lactation and BGH gene polymorphisms, PRL and IGF2α was found. In the linear regression analysis, significant effects ( $p<0.05$ ) were found in the total supply of nutrients, in the BGH gene for percentage of fat and protein in milk. Significant effects ( $p<0.05$ ) were found for PRL gene in average total contribution of nutrients and fat percentage in milk, for IGF2α significant effects ( $p<0.05$ ) in the total contribution of medium nutrients and fat percentage in milk protein were found, which shows that the effect of genotype is different depending on the nutritional status of the animals.

### INTRODUCCIÓN

En la mayoría de sistemas de producción lechera especializada del mundo se prefiere la raza Holstein, alcanzando altas producciones de alrededor de 12016 litros de leche por lactancia con una composición de

3,7% de grasa y 3,02% de proteína (Sommer *et al.*, 2009), en Antioquia bajo condiciones medio ambientales, topográficas y de manejo diferentes, se han reportado producciones importantes con medias de 5324 litros de leche por lactancia con 3,8 de grasa y 3,07% proteína (Echeverri *et al.*, 2013), para lograr una mayor

expresión de tal potencial genético, se hace necesario una inversión en la búsqueda del cumplimiento de los requerimientos nutricionales, especialmente los energéticos, dado que la energía de la dieta es la base del volumen y composición de la leche (López *et al.*, 2011). Esto conlleva a altos costos derivados de la alimentación, que superan el 50% de los costos totales de producción (López *et al.*, 2011; Quintero *et al.*, 2011). La alimentación en sistemas de lechería especializada en Colombia, se fundamenta en una base forrajera que oscila en un 60- 70% de la dieta total, un alimento balanceado o alimentos comerciales en un 40-30% y una suplementación con minerales y agua a voluntad (Pardo *et al.*, 2008; Valencia Echavarria 2013). La gramínea dominante es el kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) caracterizada por un alto contenido de Proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y bajo contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) (Correa 2011). Este alto contenido de FDN se relaciona negativamente con la digestibilidad de la materia seca limitando la energía disponible para metabolizar el alto contenido de proteína bruta, proteína que sobrepasa los requerimientos nutricionales para las vacas en producción del trópico alto colombiano según el (NRC 2001). Por su parte los alimentos balanceados son ricos en carbohidratos no estructurales aportando energía rápida para los microorganismos ruminantes (Correa, 2011). Aun así, los alimentos comerciales que se utilizan en estos sistemas de producción no corrigen los desbalances PB:CNE (Correa, 2006), determinando de forma crucial el nivel de producción y composición proteínica y lipídica de la leche.

Los costos de producción elevados enmarcados por la alimentación y el déficit de energía en la dieta, hacen necesario recurrir a herramientas que ofrezcan panoramas donde se aproveche el potencial genético de los animales y se racionalice el uso de recursos alimenticios, para obtener una producción más eficiente y una mejor calidad composicional de la leche; para lograrlo se hace necesario dilucidar los mecanismos de interrelación nutriente-gen. En este sentido la genómica nutricional, es una alternativa viable ante esta problemática, la cual evalúa el ligamiento de los factores nutricionales y el componente genético del animal.

Los genes de la hormona del crecimiento bovino (*BGH*), prolactina (*PRL*) y el gen del factor de crecimiento insulínico tipo 2 (*IGF2α*), son de alto interés zootécnico debido a su influencia sobre la producción lechera y reproducción. El conocimiento del efecto que tienen algunos SNPs de estos genes sobre la eficiencia de utilización de recursos nutricionales por los bovinos, aportará claves fundamentales para el aprovechamiento de los recursos alimenticios y el potencial genético de los animales.

La *BGH* es producida por la glándula pituitaria y desempeña una importante función en la lactancia, además está involucrada en procesos de crecimiento (Dybus *et al.*, 2004). Esta hormona se libera a la circulación y tiene un efecto directo sobre el hígado, en donde estimula la producción del factor de crecimiento insulinoide (*IGF-1*), que actúa sobre el tejido glandular mamario durante la lactancia (Mullen *et al.*, 2011), para este gen se ha estudiado el polimorfismo c.2141C>G

encontrándose que altas concentraciones de *BGH* en plasma están asociadas a mayor producción de leche, disminución de grasa en la canal, mayor crecimiento, entre otros (Komisarek *et al.*, 2011).

El gen *PRL* regula una amplia gama de funciones biológicas, incluyendo la osmorregulación, el desarrollo de la lactancia, la reproducción y el crecimiento. La *PRL* media su acción a través del receptor de *PRL* (*PRLR*), una proteína transmembrana de la superfamilia de receptores de citoquinas de hematopoyetina.

El gen *IGF2* bovino juega un papel crucial en el crecimiento y diferenciación de muchos tejidos, sus receptores y proteínas de unión son cruciales en la diferenciación y crecimiento muscular (Oksbjerg *et al.*, 2004). Se han estudiado varios polimorfismos entre estos el c.292C>T demostrando asociación con características de calidad y producción de leche en ganado Holstein (Olbromski *et al.*, 2013).

El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto que tiene el consumo de materia seca, proteína y energía sobre la asociación de los polimorfismos de los genes *BGH*, *PRL* e *IGF2A* con el porcentaje de proteína y grasa en vacas Holstein del departamento de Antioquia. El conocimiento generado es una herramienta para propender un mejor manejo nutricional de la hembra en lactancia, que procure el beneficio de la salud y permita la expresión de su potencial genético, favoreciendo la economía del productor y del sector.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Área y poblaciones de estudio:** El análisis comprendió información fenotípica y genotípica de 1070 vacas Holstein distribuidas en 21 hatos del departamento de Antioquia en los municipios San Pedro, Belmira, La Unión, El Retiro, Medellín (corregimiento Santa Elena), Bello y Rionegro, en los cuales predominó como gramínea base de la alimentación el pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), estos sistemas productivos distaban en algunos aspectos de manejo.

## NIVEL NUTRICIONAL

El periodo de estudio comprendió 12 meses, cada mes los hatos fueron visitados 3 veces. En la primera visita de cada mes, se estimó el consumo de suplementos alimenticios a través del pesaje del alimento ofrecido y el rechazo, también se evaluó la producción de forraje mediante la técnica del disco liviano descendente (Sharrow, 1984), modificado para pasto kikuyo por Correa *et al.* (2012), con el cual se tomaron entre 80 y 100 lecturas de altura del pasto (cm) dentro de cada área de pastoreo, esta evaluación se repitió sobre el mismo potrero pastoreado, para conocer el consumo de forraje mediante diferencia agronómica en una segunda visita. En cada visita se tomó muestra de los alimentos para la realización de análisis bromatológicos, con esta información fueron estimados los aportes de energía neta de lactancia (ENL), proteína bruta (PB) y materia seca (MS). 72 horas después de la primera visita, se realizó la tercera visita en la que se midió la producción de leche de cada vaca y se tomó una muestra de la misma para las determinaciones de los parámetros composicionales. A partir de la información recolectada, los

**Tabla I.** Análisis descriptivo para características de importancia en producción lechera (Descriptive analysis for important characteristics in dairy production).

Característica	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Producción leche día (litros/día)	6 869	20,1	6,69	8,00	49,76
Porcentaje de grasa en la leche (%)	6 869	3,82	0,45	2,05	4,70
Porcentaje de proteína en la leche (%)	6 869	3,06	0,30	2,50	3,99
Días en lactancia	6 869	172	98,7	1	400
Consumo forraje (Kg/MS)	6 869	12,56	2,8	4,16	24,56
Consumo total día (Kg/MS)	6 869	17,89	2,83	7,29	27,02

hatos fueron estratificados en tres niveles nutricionales independientes según el consumo de materia seca de forraje, proteína bruta o energía neta de lactancia de la dieta, tomando como nivel nutricional bajo (nivel 1) los animales que se encuentren por debajo de una desviación estándar de la media estimada de cada uno de los parámetros nutricionales en toda la población de estudio, nivel nutricional medio (nivel 2), los animales que se encuentren entre una desviación estándar a la izquierda y una a la derecha de la distribución normal y nivel nutricional alto (nivel 3) los animales que se encuentren por encima de una desviación estándar de la media. Posteriormente se sumó para cada animal su calificación individual en consumo de materia seca del forraje, proteína bruta y energía neta de lactancia de la dieta obtenidas cada mes para adjudicar una calificación relativa al aporte nutricional total de la dieta, donde por debajo de 5, fue nivel nutricional total bajo, con una calificación entre 5 a 7 como nivel nutricional total medio y con una calificación superior a 7 un nivel nutricional total alto.

#### EXTRACCIÓN DNA

La extracción del ADN se realizó de sangre periférica, utilizando el método de *salting out* modificado, descrito por Miller *et al.* (1988) y se almacenó 4°C hasta el momento del análisis. Se evaluó la cantidad y calidad del ADN extraído mediante un análisis de absorbancia, sólo el ADN genómico con una relación  $A_{260}/A_{280}$  entre 1,8-2,0 se consideró para los estudios a realizar.

#### GENOTIPIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS ALÉLICAS Y GENOTÍPICAS PARA LOS GENES BGH, PRL E IGF2α

La genotipificación se realizó por la técnica reacción en cadena de la polimerasa acoplada al polimorfismo de longitud de los fragmentos de restricción (PBR-RFLPs) usando los primers y técnicas propuestas por Brym *et al.* (2005), Dybus *et al.* (2004) y Zwierzchowski *et al.* (2010) para PRL, BGH e IGF2 respectivamente.

La frecuencia de cada alelo se estimó determinando la proporción de cada forma del gen entre el número de copias totales de la población en estudio, identificando los homocigotos y los heterocigotos, el cálculo se realizó cuantificando los homocigotos para cada alelo y adicionando la mitad de los heterocigotos.

#### DETERMINACIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA DIETA Y EL EFECTO DE LOS POLIMORFISMOS

Para determinar la interacción entre la dieta y el efecto del polimorfismo de cada uno de los genes se ajustó un modelo lineal como sigue:

$$Y_{ijklmn} = \mu + H_i + NP_j + PLD_K + GEN_l + N^*GEN_n + e_{ijklmn}$$

donde:

$Y_{ijklmn}$  = Variable dependiente (porcentaje de grasa de la leche o porcentaje de proteína de la leche).

$\mu$  = Media general.  $H_i$  = Efecto fijo del  $i$ -ésimo hato (i: 1, 2, ..., 21).  $NP_j$  = Efecto fijo del  $j$ -ésimo número de parto (j: 1, 2, 3, 4, 5, ..., 6).  $PLD_K$  = Efecto de la covariable producción de leche día.  $GEN_l$  = Efecto fijo del  $l$ -ésimo genotipo BGH (l: +/+, +/-, -/-) ó PRL (l: AA, AB, BB) ó IGF2a l: CC, CT, TT). ( $N^*GEN$ ) = efecto la  $n$ -ésima interacción entre el nivel nutricional de acuerdo MS, PB ó ENL y el efecto del genotipo (BGH, PRL e IGF2a) (n: 1, 2, 3, ..., 27).  $e_{ijklmn}$  = error residual.

El método de la media de mínimos cuadrados fue utilizado para determinar las diferencias entre las medias para cada uno de los niveles de los efectos fijos incluidos en los modelos.

Se realizaron además análisis de regresión lineal múltiple para las características dependientes en cada nivel nutricional alto, medio y bajo, para estimar el efecto aditivo de los polimorfismos estudiados de los genes BGH, PRL e IGF2a. Para este fin de convirtieron a una escala cuantitativa los genotipos de cada gen, posteriormente se compararon los beta ( $\beta$ ) obtenidos en el análisis de regresión, de esta manera se exploró la interacción entre el genotipo y el aporte de nutrientes totales. El modelo usado fue el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + e_{ij}$$

dónde:  $Y_i$ : Valor de la variable dependiente (Porcentaje de proteína en leche, porcentaje de grasa en leche) en función del aporte total de materia seca del forraje, proteína bruta o energía neta de lactancia de la dieta.  $\beta_0$  = Intercepto  $\beta_1$  = Coeficiente de regresión lineal de la covariable producción de leche día  $X_i$ : número de niveles i (1, 2, 3, n); o  $\beta_2$  = Coeficiente de regresión lineal estimado para genotipo BGH, PRL e IGF2a  $X_i$ : número de niveles i (1, 2, 3);  $e_{ij}$ : error residual.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis descriptivo:** Se realizaron 756 visitas a los 21 hatos incluidos en el proyecto, encontrándose una media de producción de leche de  $20,1 \pm 6,69$  litros/día, vacas de  $172 \pm 98$  días en lactancia promedio, con un consumo medio de materia seca de  $17,8 \pm 2,83$  kg, proveniente del pasto y los suplementos alimenticios, La calidad composicional de la leche mostró una media de

**Tabla II.** Efecto de la interacción entre el genotipo de BGH y los niveles de consumo de materia seca, proteína bruta y energía neta de lactancia sobre los porcentajes de grasa y proteína de la leche (Effect of the interaction between BGH genotype and levels of dry matter intake, crude protein and net lactation energy on milk fat and protein percentages).

Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de MS			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de MS		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
+/+	3,68 <sup>a</sup>	3,85 <sup>b</sup>	3,87 <sup>b</sup>	+/+	2,95 <sup>a</sup>	3,04 <sup>b</sup>	3,07 <sup>b</sup>
+-	3,75 <sup>a</sup>	3,86 <sup>b</sup>	3,95 <sup>b</sup>	+-	2,98 <sup>a</sup>	3,03 <sup>b</sup>	3,04 <sup>b</sup>
-/-	3,81 <sup>a</sup>	3,93 <sup>b</sup>	4,09 <sup>b</sup>	-/-	2,88 <sup>a</sup>	3,05 <sup>b</sup>	3,16 <sup>b</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de PB			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de PB		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
+/+	3,87 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	3,78 <sup>a</sup>	+/+	3,10 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>	2,97 <sup>b</sup>
+-	3,99 <sup>b</sup>	3,80 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	+-	3,12 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>	2,94 <sup>b</sup>
-/-	4,01 <sup>b</sup>	3,95 <sup>b</sup>	3,87 <sup>a</sup>	-/-	3,14 <sup>a</sup>	3,03 <sup>b</sup>	2,92 <sup>b</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de ENL			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de ENL		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
+/+	3,99 <sup>a</sup>	3,8 <sup>b</sup>	3,61 <sup>c</sup>	+/+	3,06 <sup>a</sup>	3,03 <sup>a</sup>	2,97 <sup>b</sup>
+-	3,95 <sup>a</sup>	3,86 <sup>b</sup>	3,72 <sup>c</sup>	+-	3,05 <sup>a</sup>	3,02 <sup>a</sup>	2,98 <sup>b</sup>
-/-	4,19 <sup>a</sup>	3,88 <sup>b</sup>	3,76 <sup>c</sup>	-/-	3,12 <sup>a</sup>	3,04 <sup>a</sup>	2,94 <sup>b</sup>

Letras diferentes en la misma columna y fila indican diferencia significativa  $p<0,05$ .

porcentaje de grasa y proteína de  $3,82 \pm 0,45$  y  $3,06 \pm 0,30$  respectivamente (**tabla I**), estadísticos que concuerdan con los promedios encontrados en anteriores trabajos realizados en la misma zona (Cañas *et al.*, 2011; Echeverri *et al.*, 2013).

**Frecuencias alélicas y genotípicas:** Para el gen PRL las frecuencias de los alelos A y B fueron 0,87 y 0,13 respectivamente, estos alelos controlan la incidencia de tres genotipos AA, AB y BB, con frecuencias 0,74, 0,25 y 0,01 respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados por Echeverri *et al.* (2014) y Echeverri *et al.* (2010).

Para el gen BGH las frecuencias de los alelos + y - fueron 0,88 y 0,12 respectivamente. Estos alelos controlan la incidencia de tres genotipos +/+, +/- y -/-, con frecuencias 0,80, 0,17 y 0,03 respectivamente. Estas frecuencias concuerdan con las encontradas por Arango *et al.* (2015).

Para el gen IGF2a las frecuencias de los alelos C y T fueron 0,59 y 0,41 respectivamente. Los alelos controlan la incidencia de tres genotipos CC, CT y TT, con frecuencias 0,42, 0,34 y 0,24 respectivamente, estas frecuencias resultaron similares a las encontradas en vacas Holstein en Polonia por Bagnicka *et al.* (2010).

#### INTERACCIÓN DIETA- GENOTIPO

Se encontró efecto significativo de la interacción entre el consumo de MS, PB y ENL y los polimorfismos de los genes BGH, PRL e IGF2a para las características porcentaje de grasa y proteína de la leche como se detalla a continuación, evidenciando como el nivel nutricional aportado en la dieta afecta estas características productivas.

#### GEN HORMONA DEL CRECIMIENTO BOVINO (BGH)

El genotipo tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de grasa ( $p=0,0142$ ), el modelo, que además incluyó el hato, el NP y producción de leche día, presentó un coeficiente de determinación de 0,21, indicando que estos efectos explican en un 21% la variación del porcentaje de grasa en leche. El análisis llevado a cabo mostró que las vacas con genotipo +/- del gen BGH produjeron 1,05 litros de leche más por día que las vacas con genotipo -/-; contrariamente los individuos -/- fueron superiores en términos de porcentaje de grasa y proteína, encontrándose que las vacas con genotipo -/- produjeron 0,16 % más grasa en leche que las vacas con +/+, resultados que concuerdan con los de Echeverri *et al.* (2014) quienes encontraron una asociación significativa del genotipo -/- del gen BGH y mayor porcentaje de grasa en leche. Fueron encontradas interacciones significativas ( $p<0,05$ ) entre el genotipo y el nivel de consumo de materia seca, proteína y energía neta de lactancia, sobre el porcentaje de grasa en leche, observándose diferencias entre los animales nivel bajo con nivel medio y alto de alimentación (**tabla II**).

También se encontró que el genotipo no tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de proteína, el modelo, que además incluyó el hato, el NP y producción de leche día presentó un coeficiente de determinación de 0,46, indicando que estos efectos explican en un 46% la variación del porcentaje de proteína en leche. Se encontraron interacciones altamente significativas ( $p<0,001$ ) entre el genotipo y el nivel de consumo de materia seca, proteína y energía, sobre el porcentaje de proteína, evidenciando como los animales con un nivel bajo de alimentación tienen menores contenidos

**Tabla III.** Efecto de la interacción entre el genotipo de PRL y los niveles de consumo de materia seca (MS), proteína bruta (PB) y energía neta de lactancia (ENL) sobre los porcentajes de grasa y proteína de la leche (Effect of the interaction between PRL genotype and dry matter intake, crude protein and net lactation energy levels on milk fat and protein percentages).

Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de MS			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de MS		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
AA	3,72 <sup>a</sup>	3,85 <sup>b</sup>	3,89 <sup>b</sup>	AA	2,97 <sup>a</sup>	3,04 <sup>b</sup>	3,08 <sup>c</sup>
AB	3,72 <sup>a</sup>	3,88 <sup>b</sup>	3,90 <sup>b</sup>	AB	2,96 <sup>a</sup>	3,05 <sup>b</sup>	3,07 <sup>c</sup>
BB	3,36 <sup>a</sup>	3,64 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	BB	2,82 <sup>a</sup>	3,05 <sup>b</sup>	3,15 <sup>c</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de PC			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de PC		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
AA	3,90 <sup>a</sup>	3,77 <sup>b</sup>	3,78 <sup>b</sup>	AA	3,12 <sup>a</sup>	3,00 <sup>b</sup>	2,97 <sup>b</sup>
AB	3,86 <sup>a</sup>	3,78 <sup>b</sup>	3,85 <sup>a</sup>	AB	3,11 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>	2,97 <sup>b</sup>
BB	3,58 <sup>b</sup>	3,64 <sup>b</sup>	3,53 <sup>c</sup>	BB	3,13 <sup>a</sup>	3,00 <sup>b</sup>	2,89 <sup>b</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de ENL			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de ENL		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
AA	3,99 <sup>a</sup>	3,81 <sup>b</sup>	3,66 <sup>c</sup>	AA	3,06 <sup>a</sup>	3,03 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>
AB	4,03 <sup>a</sup>	3,83 <sup>b</sup>	3,63 <sup>c</sup>	AB	3,07 <sup>a</sup>	3,03 <sup>a</sup>	2,98 <sup>b</sup>
BB	3,72 <sup>b</sup>	3,60 <sup>c</sup>	3,43 <sup>c</sup>	BB	3,06 <sup>a</sup>	2,93 <sup>b</sup>	3,03 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna y fila indican diferencia significativa  $p<0,05$ .

de grasa en leche que los animales con niveles medios y altos de alimentación (**tabla II**).

Los animales que se vieron favorecidos por el nivel nutricional de la dieta (nivel nutricional alto) en sinergia con genotipo favorable para grasa y proteína, -/- para BHG, tiene mayores porcentajes de proteína y grasa en la leche (**tabla II**). Estos resultados concuerdan con Bargo *et al.* (2008) quienes hacen una amplia revisión de los limitantes de la producción de leche asumidos por el bajo consumo de materia seca. También fue posible identificar como los individuos que poseen el genotipo favorable para el porcentaje de proteína y grasa en leche, enmascaran su potencial productivo cuando están sometidos a bajos niveles de consumo de materia seca, proteína bruta y energía neta de lactancia.

En el análisis de regresión lineal para determinar el efecto del aporte total de nutrientes en el grupo de animales con genotipo para BGH, se encontró un efecto altamente significativo ( $p<0,001$ ) del genotipo en cada nivel del aporte total de nutrientes de la dieta, encontrando incrementos en el porcentaje de grasa de 0,14, 0,06 y 0,06 en la sustitución de las diferentes formas del gen para aporte total de nutrientes en los niveles bajo medio y alto respectivamente (**tabla V**). Para el porcentaje de proteína se encontraron efectos significativos ( $p<0,05$ ) del aporte de nutrientes totales de la dieta para los niveles medio y alto evidenciando como por cada cambio en la forma del gen aumenta en 0,02 el porcentaje de proteína en leche (**tabla VI**). Lo anterior evidencia la importancia de estructurar unos adecuados planes alimenticios que permitan la expresión positiva de la constitución genética de los individuos.

### GEN PROLACTINA (PRL)

El modelo que incluyó el hato, el NP y producción de leche dio y el efecto del genotipo, presentó un coeficiente de determinación de 0,22, indicando que estos efectos explican en un 22% la variación del porcentaje de grasa en leche, donde el genotipo no tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de grasa, aun así se evidencia la tendencia superior de los individuos con genotipo AB aportando 0,24% más grasa en leche al día que los individuos BB. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Das *et al.* (2012) y Brym *et al.* (2005) pero difieren con lo reportado por Echeverri *et al.* (2010), donde se encontró mayor producción de grasa en leche en los animales portadores del genotipo BB. Para el porcentaje de grasa se encontraron interacciones altamente significativas ( $p<0,001$ ) entre el genotipo y el nivel de consumo de materia seca, proteína y energía, evidenciando porcentajes más bajos de grasa para los grupos de animales con nivel nutricional bajo, así como a los portadores del genotipo -/- en todos los niveles nutricionales (**tabla III**).

El genotipo no tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de proteína, el modelo, que además incluyó el hato, el NP y producción de leche día presentó un coeficiente de determinación de 0,46, indicando que estos efectos explican en un 46% la variación del porcentaje de proteína en leche. Aunque no se encontró efecto significativo fue posible observar una tendencia de los individuos con genotipo AA a mayores porcentajes de proteína lo que concuerda con lo encontrado por Das *et al.* (2012) y Brym *et al.* (2005). Los animales del nivel nutricional alto que se vieron favorecidos por la inclusión en sus dietas de materia seca en sinergismo con el genotipo favorable de PRL mostraron mayores conte-

**Tabla IV.** Efecto de la Interacción entre el genotipo de IGF2 $\alpha$  y los niveles de consumo de materia seca (MS), proteína bruta (PB) y energía neta de lactancia (ENL) sobre los porcentajes de grasa y proteína de la leche (Effect of the interaction between IGF2 $\alpha$  genotype and levels of dry matter intake, crude protein and net lactation energy on milk fat and protein percentages).

Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de MS			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de MS		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
CC	3,70 <sup>a</sup>	3,85 <sup>b</sup>	3,88 <sup>b</sup>	CC	2,98 <sup>a</sup>	3,03 <sup>b</sup>	3,08 <sup>b</sup>
CT	3,73 <sup>a</sup>	3,85 <sup>b</sup>	3,92 <sup>b</sup>	CT	2,94 <sup>a</sup>	3,04 <sup>b</sup>	3,07 <sup>b</sup>
TT	3,69 <sup>a</sup>	3,89 <sup>b</sup>	3,88 <sup>b</sup>	TT	2,95 <sup>a</sup>	3,05 <sup>b</sup>	3,03 <sup>b</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de PC			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de PC		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
CC	3,89 <sup>a</sup>	3,74 <sup>b</sup>	3,79 <sup>b</sup>	CC	3,11 <sup>a</sup>	3,00 <sup>b</sup>	2,99 <sup>b</sup>
CT	3,89 <sup>a</sup>	3,80 <sup>b</sup>	3,80 <sup>b</sup>	CT	3,10 <sup>a</sup>	2,99 <sup>b</sup>	2,96 <sup>b</sup>
TT	3,88 <sup>a</sup>	3,75 <sup>b</sup>	3,83 <sup>b</sup>	TT	3,11 <sup>a</sup>	2,96 <sup>b</sup>	2,95 <sup>b</sup>
Genotipo	Porcentaje (%) de grasa en leche según nivel de consumo de ENL			Genotipo	Porcentaje (%) de proteína en leche según nivel de consumo de ENL		
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
CC	3,63 <sup>a</sup>	3,80 <sup>b</sup>	4,00 <sup>c</sup>	CC	2,98 <sup>a</sup>	3,04 <sup>a</sup>	3,07 <sup>b</sup>
CT	3,62 <sup>a</sup>	3,86 <sup>b</sup>	4,01 <sup>c</sup>	CT	2,96 <sup>a</sup>	3,02 <sup>b</sup>	3,06 <sup>b</sup>
TT	3,69 <sup>a</sup>	3,79 <sup>b</sup>	3,99 <sup>c</sup>	TT	2,99 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	3,02 <sup>b</sup>

Letras diferentes en la misma columna y fila indican diferencia significativa  $p<0,05$ .

nidos de proteína y grasa en la leche. Estos resultados concuerdan con Saborío (2011) quien realizó un estudio de los factores que influencian el contenido de sólidos en la leche y menciona como la calidad nutricional del forraje suministrado afecta significativamente el contenido de grasa y proteína en la leche. Es posible identificar también, en la **tabla III**, poblaciones de vacas con el genotipo favorable para el contenido de grasa y proteína en la leche sin ninguna diferencia a los otros grupos, esto debido posiblemente al bajo consumo de energía neta de lactancia de los individuos los cuales se encontraron para esta población entre 11 – 38 Mcal (datos sin publicar) encontrando a los individuos más cercanos al límite inferior en una situación nutricional desfavorable que no permite la expresión positiva del genotipo.

En el análisis de regresión lineal para determinar el efecto del aporte total de nutrientes en el grupo de animales con genotipo para PRL, se encontró un efecto significativo ( $p<0,05$ ) del aporte total de nutrientes disminuyendo en -0,02 el porcentaje de grasa en leche para nivel nutricional total medio (**tabla V**). No se encontraron desviaciones significativas en el análisis de sustitución génica en el gen PRL para el porcentaje de proteína en leche en ninguno de los niveles nutricionales.

#### GEN DEL FACTOR DE CRECIMIENTO INSULÍNICO TIPO 2 (IGF2 $\alpha$ )

El genotipo no tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de grasa, el modelo estadístico presentó un coeficiente de determinación de 0.21, indicando que estos efectos explican en un 21% la variación del porcentaje de grasa en leche. El análisis llevado a cabo mostró una tendencia de mayores porcentajes de grasa las vacas con genotipo CC de 0,02% más que los individuos TT, difiriendo de Bagnicka *et al.* (2010) que encontraron que el genotipo TT tenía los mayores porcentajes de grasa.

Este modelo reporta efectos altamente significativos ( $p<0,001$ ) de las interacciones entre el genotipo y el nivel de consumo de MS, PB y ENL evidenciando un efecto diferencial del genotipo en distintas condiciones nutricionales, también es posible observar como los individuos con mejores niveles de consumo de materia seca, tienen mayores porcentajes de grasa (**tabla IV**).

El genotipo tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de proteína en leche ( $p<0,05$ ), el modelo estadístico presentó un coeficiente de determinación de 0.46, indicando que estos efectos explican en un 46% la variación del porcentaje de la proteína en leche. El análisis llevado a cabo mostró una tendencia de mayores porcentajes de proteína las vacas con genotipo CC de 0,02% más que los individuos TT, difiriendo de Bagnicka *et al.* (2010) que encontraron que el genotipo TT tenía los mayores porcentajes de proteína. Este modelo reporta efectos altamente significativos ( $p<0,001$ ) de las interacciones entre el genotipo y el nivel de consumo de PB y ENL (**tabla IV**). Estos resultados concuerdan con Hussien *et al.* (2013) quienes encontraron una relación positiva entre la suplementación

**Tabla V. Comparación del efecto de los polimorfismos de BGH, PRL e IGF2 $\alpha$  para porcentaje de grasa bajo diferentes condiciones nutricionales mediante sus coeficientes de regresión ( $\beta$ ) (Comparison of the effect of BGH, PRL and IGF2 $\alpha$  polymorphisms for fat percentage under different nutritional conditions by their regression coefficients ( $\beta$ )).**

Variable dependiente	GEN	Nivel nutricional total	$\beta$	Coeficiente de determinación	Valor p
Porcentaje de grasa	BGH	Bajo	0,14034	0,0661	0,0034
		Medio	0,06131	0,0551	<,0001
		Alto	0,06199	0,0552	<,0001
	PRL	Bajo	0,01975	0,0358	0,6785
		Medio	-0,02118	0,0550	0,0147
		Alto	0,0069	0,1180	0,8834
	IGF2 $\alpha$	Bajo	-0,04876	0,0459	0,0698
		Medio	0,00813	0,0441	0,4368
		Alto	0,02280	0,1126	0,4226

energética y el contenido de sólidos en la leche. Otros autores como Hernández y Ponce (2006) han asociado el metabolismo energético, alterado por los aportes dietarios, con cambios en la producción, porcentaje de grasa, proteína de la leche y alteraciones en los contenidos de caseína, así mismo también encontraron que se afectan los contenidos de lactosa y minerales, especialmente calcio, fosforo y magnesio.

En el análisis de regresión lineal para determinar el efecto del aporte total de nutrientes en el grupo de animales con genotipo para IGF2 $\alpha$ , no se encontró un efecto significativo del aporte de nutrientes totales en el porcentaje de grasa de la leche, pero se encontró una tendencia a disminuciones en el porcentaje de grasa en la leche a medida que aumenta el aporte total de nutrientes con -0,05, 0,01 y 0,021 para nivel nutricional bajo, medio y alto respectivamente (**tabla V**). Para el porcentaje de proteína en leche se encontraron efectos significativos ( $p<0,05$ ) en el nivel nutricional total medio encontrando una disminución de proteína en leche en -0,01538 (**tabla VI**), lo que evidencia una respuesta diferencial al genotipo en diferentes ambientes nutricionales.

La alimentación es un factor económico importante en los hatos lecheros por lo que cada vez se evidencian más trabajos donde se relacionan rasgos genéticos con eficiencia alimenticia, encontrándose como primera dificultad la predicción del consumo para

estimar los aportes nutricionales reales (Pryce *et al.*, 2014; Arthur *et al.*, 2001). Los resultados del presente estudio concuerdan con trabajos previos donde se encuentran efectos significativos en la composición de la leche en respuesta al consumo y a la suplementación con energía y proteína (Remppis *et al.* 2011. Liefers *et al.* (2005) también encontraron una asociación de un SNP del gen de la leptina con el balance energético y el consumo de materia seca en ganado lechero. Se han encontrado otros reportes de asociación de eficiencia alimenticia y características genéticas, en su mayoría para ganado de carne que han significado grandes pasos en esta área (Saatchi *et al.*, 2014; Serão *et al.*, 2013; Santana *et al.*, 2014). En ganado de leche se han realizado recientes estudios que manifiestan la importancia del estudio de la asociación de rasgos genéticos características nutricionales tal como Salleh *et al.* (2017), quienes dilucidaron por medio de RNAseq la interacción de genes regulatorios de la eficiencia alimenticia en ganado lechero nórdico.

## CONCLUSIONES

Se encontraron interacciones altamente significativas entre el consumo de materia seca, proteína bruta, energía neta de lactancia y genotipo de BGH, PRL e IGF2 $\alpha$  para el porcentaje de grasa en leche y porcentaje de proteína en leche, lo cual evidencia como la expresión de un genotipo puede estar enmascarado por una de las condiciones medioambientales más importantes

**Tabla VI. Comparación del efecto de los polimorfismos de BGH, PRL e IGF2 $\alpha$  para porcentaje de proteína bajo diferentes condiciones nutricionales mediante sus coeficientes de regresión ( $\beta$ ) (Comparison of the effect of BGH, PRL and IGF2 $\alpha$  polymorphisms for the percentage of protein under different nutritional conditions using regression coefficients ( $\beta$ )).**

Variable dependiente	GEN	Nivel nutricional total	$\beta$	Coeficiente de determinación	Valor p
Porcentaje de proteína	BGH	Bajo	0,03078	0,2125	0,2643
		Medio	0,02208	0,2459	0,0146
		Alto	0,02204	0,2469	0,0147
	PRL	Bajo	-0,00618	0,1876	0,8225
		Medio	-0,00817	0,2087	0,4365
		Alto	-0,00499	0,3093	0,8427
	IGF2 $\alpha$	Bajo	-0,02921	0,2037	0,0574
		Medio	-0,01538	0,2010	0,0137
		Alto	-0,02024	0,2990	0,1810

como la alimentación, así mismo los animales en buenas condiciones nutricionales y genotipos favorables tienen un mayor porcentaje de proteína y grasa en la leche. Encontrado mayores contenidos de grasa en leche para el genotipo  $-/-$  de BGH y mayores porcentajes de proteína para el genotipo AA de PRL.

El metabolismo alterado por los aportes dietarios y la conformación genética afecta no solo la producción si no también la composición de la leche, afectando el porcentaje de grasa, proteína en leche.

## AGRADECIMIENTOS

A los productores que amablemente abrieron las puertas a la investigación en pro de un mejor desarrollo agrario y a Colciencias, la Universidad Nacional de Colombia-sede Medellín y la Cooperativa Colanta Ltda. Por proveer los recursos necesarios para la ejecución del proyecto *Efecto de la nutrición sobre la asociación de los polimorfismos de 4 genes (BGH, PRL, STAT5 e IGF2a) con características productivas y reproductivas en ganado Holstein del Departamento de Antioquia actualizado*, contrato No. 317-2013. Asimismo también los autores quisieran manifestar su agradecimiento al proyecto *Modulación de expresión génica en glándula mamaria mediada por factores nutricionales en vacas Holstein*, Contrato 2015-021.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango, J.; Echeverri, J. and López, A. 2015. Efecto de la transición timina / citosina del gen BGH sobre parámetros reproductivos en ganado Holstein en Colombia. *Zootecnia Trop.*, 33: 217-225.
- Arango Gaviria, J. 2012. Asociación del polimorfismo del intrón 3 de la hormona de crecimiento bovino (BGH) con parámetros de crecimiento y reproductivos en novillas Holstein del departamento de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia.
- Arthur, P.F.; Arthur, P.F.; Archer, J.A.; Johnston, D.J.; Herd, R.M. and Richardson, E.C. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J Anim Sci*, 79: 2805-2811.
- Bagnicka, E.; Siadkowska, E.; Strzałkowska, N.; Zelazowska, B.; Flisikowski, K. and Krzyzewski, J. 2010. Association of polymorphisms in exons 2 and 10 of the insulin-like growth factor 2 (IGF2) gene with milk production traits in Polish Holstein-Friesian cattle. *J Dairy Res*, 77: 37-42.
- Bargo, F.L.; Muller, L.D. and Delahoy, J.E. 2008. Consumo de materia seca en vacas en pastoreo. *J Dairy Sci*, 86: 1-42.
- Brym, P.; Kamiński, S. and Wójcik, E. 2005. Nucleotide sequence polymorphism within exon 4 of the bovine prolactin gene and its associations with milk performance traits. *JAG*, 46: 179-185.
- Cañas, J.A.; Cerón-Muñoz, M. and Corrales, J.A. 2011. Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína en bovinos Holstein en Antioquia, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 16: 2514-2520.
- Correa, H. 2011. Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteíco y el contenido de proteína en la leche. Tesis Universidad Nacional de Colombia.
- Correa, H. 2006. Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. *Livest Res Rural Dev*, 18. Article #43.
- Correa, H.J.; Rodríguez, Y.G.; Pabón, M.L. y Carulla, J.E. 2012. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas Holstein. *Livest Res Rural Dev*, 24. Article #204.
- Das, N.D.; Hatkar, D.N.; Sri Hari, V.G.; Srinivas, B.V.; Kaliaperumal, R.; Reddy, O.A. and Krishnamurthy, L. 2012. Genetic polymorphisms of exons 3 and 4 of prolactin (PRL) gene in Deoni cattle breed and their association with milk production traits. *JILR*, 2: 120-126.
- Dybus, A.; Grzesiak, W.; Szatkowska, I. and Błaszczyk, P. 2004. Association between the growth hormone combined genotypes and dairy traits in Polish Black-and-White cows. *Anim Sci Pap Rep*, 22: 185-194.
- Echeverri, J.; López, A. and López, E. 2014. Asociación de tres SNPs con algunas características productivas y de calidad de la leche en hatos Holstein en Antioquia, Colombia. *Revista EIA*, 10: 63-72.
- Echeverri, J.Z.; Zambrano, J.C. and López H.A. 2013. Genomic evaluation of Holstein cattle in Antioquia (Colombia): a case study. *RCCP*, 27: 306-314.
- Echeverri, J.Z.; Vázquez, A.A. and Gallo, G.M. 2010. Efecto de la transición adenina / guanina del gen de la prolactina bovina sobre características de importancia en producción lechera. *Rev Lasallista Investig*, 7: 16-23.
- Hernández, R. and Ponce, P. 2006. Relación entre desbalances nutricionales, el metabolismo y la composición de la leche en vacas Holstein friesian. *Rev Salud Anim*, 28: 13-20.
- Hussien, R.; Tegegne, F.; Yilmaz, Z.; Mekuriaw, Z. and Taye, M. 2013. Feed intake, milk yield and milk composition of faghera cows. *WVJ*, 3: 41-45.
- Komisarek, J.; Michalak, A. and Walendowska, A. 2011. The effects of polymorphisms in DGAT1, GH and GHR genes on reproduction and production traits in jersey cows. *Anim Sci Pap Rep*, 29: 29-36.
- Liefers, S.C.; Veerkamp, R.F.; Te Pas, M.F.; Chilliard, Y. and Van der Lende, T. 2005. Genetics and physiology of leptin in periparturient dairy cows. *Domest Anim Endocrinol*, 29: 227-238.
- López, R.; Gómez, D.; Guadalupe, J. and Muñiz, G. 2011. Nivel óptimo de energía neta en el consumo de alimento y producción de leche en el inicio de la lactancia de vacas Holstein-Friesian en confinamiento optimum level of net energy in feed intake and milk yield at early lactation in Holstein-Friesian cows. *Rev Mex Cienc Pecu*, 2: 101-115.
- López, R.P.; Suárez, L.A. and Ramírez, C.E. 2011. Influencia de las hormonas metabólicas y la nutrición en el desarrollo folicular en el ganado bovino : implicaciones prácticas. *Rev Med Vet*, 21: 155-173.
- Mullen, M.P.; Berry, D.P.; Howard, D.J.; Diskin, M.G.; Lynch, C.O.; Giblin, L.; Kenny, D.; Magee, D.; Meade, K.G. and Waters, S.M. 2011. Single nucleotide polymorphisms in the insulin-like growth factor 1 (IGF-1) gene are associated with performance in Holstein-Friesian dairy cattle. *Front Genet*, 2: 1-9.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Council. National Academic Press. Washington, D.C.
- Oksbjerg, N.; Gondret, F. and Vestergaard, M. 2004. Basic principles of muscle development and growth in meat-producing mammals as affected by the insulin-like growth factor (IGF) system. *Domest Anim Endocrinol*, 27: 219-240.
- Olbromski, R.; Siadkowska, E.; Zelazowska, B. and Zwierzchowski, L. 2013. Allelic gene expression imbalance of bovine IGF2, LEP and CCL2 genes in liver, kidney and pituitary. *Mol Biol Rep*, 40: 1189-1200.
- Pardo, O.; Carulla, J.E. and Hess, H.D. 2008. Efecto de la relación proteína y energía sobre los niveles de amonio ruminal y nitrógeno ureico en sangre y leche, de vacas doble propósito del piedemonte llanero, Colombia. *RCCP*, 21: 387-397.
- Pryce, J.E.; Wales, W.J.; De Haas, Y.; Veerkamp, R.F. and Hayes, B.J. 2014. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. *Animal*, 8: 1-10.
- Quintero, M.D.; Olivera, M. and Noguera, R.R. 2011. Metabolismo energético en vacas durante la lactancia temprana y el efecto de la suplementación con grasa protegida. *RCCP*, 24: 74-82.
- Remppis, S.; Steingass, H.; Gruber, L. and Schenkel, H. 2011. Effects of energy intake on performance, mobilization and retention of body tissue, and metabolic parameters in dairy cows with special regard to effects of pre-partum nutrition on lactation - A review. *Asian-Australas J Anim Sci*, 24: 540-572.
- Saatchi, M.; Beever, J.E.; Decker, J.E.; Faulkner, D.B.; Freetly, H.C.; Hansen, S.L.; Yampara-Iquise, H.; Johnson, K.A.; Kachman, S.D.; Kerley, M.S.; Kim, J.; Loy, D.D.; Marques, E.; Neiberger, H.L.; Pollak, E.J.; Schnabel, R.D.; Seabury, C.M.; Shike, D.W.; Snelling, W.M.; Spangler, M.L.; Weaver, R.L.; Garrick, D.J. and Taylor, J.F. 2014. QTLs associated with dry matter intake, metabolic mid-test weight, growth and feed efficiency have little overlap across 4 beef cattle studies. *BMC Genomics*, 15: 1-14.

- Saborío, A. 2011. Factores que influyen el porcentaje de sólidos totales de la leche. *ECAG*, 56: 70-73.
- Salleh, M.S.; Mazzoni, G.; Höglund, J.K.; Olijhoek, D.W.; Lund, P.; Løvendahl, P. and Kadarmideen, H.N. 2017. RNA-Seq transcriptomics and pathway analyses reveal potential regulatory genes and molecular mechanisms in high- and low-residual feed intake in Nordic dairy cattle. *BMC Genomics*, 18: 258.
- Santana, M.H.; Utsunomiya, Y.T.; Neves, H.R.; Gomes, R.C.; Garcia, J.F.; Fukumasu, H.; Silva, S.L.; Oliveira, G.A.; Alexandre, P.A.; Leme, P.R.; Brassaloti, R.A.; Coutinho, L.L.; Lopes, T.G.; Meirelles, F.V.; Eler, J.P. and Ferraz, J.B.S. 2014. Genome-wide association analysis of feed intake and residual feed intake in Nellore cattle. *BMC Genetics*, 15: 21.
- Serão, N.V.; González-Peña, D.; Beever, J.E.; Faulkner, D.B.; Southey, B.R. and Rodriguez-Zas, S.L. 2013. Single nucleotide polymorphisms and haplotypes associated with feed efficiency in beef cattle. *BMC Genetics*, 14: 94.
- Sharrow, H. 1984. A simple disc meter for measurement of pasture height and forage bulk. *JRM*, 37: 94-95.
- Valencia Echavarria, D.M. 2013. Efecto de la suplementación de dietas para vacas lecheras con glicerina bruta, sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal, producción y calidad composicional de la leche. Tesis. Universidad Nacional de Colombia.
- Wendorff, B. and Paulus, K. 2009. Impact of breed on the cheesemaking potential of milk; Volume vs content. *Wisconsin Center for Dairy Research*, 21: 1-12.
- Zwierzchowski, L.; Siadkowska, E.; Oprządek, J.; Flisikowski, K. and Dymnicki, E. 2010. An association of C/T polymorphism in exon 2 of the bovine insulin-like growth factor 2 gene with meat production traits in Polish Holstein-Friesian cattle. *CJAS*, 55: 227-233.