

Efecto del polimorfismo del gen de la somatotropina (BGH) sobre características lineales en vacas Holstein*

Diana Carolina Echavarría Valencia**, José Julián Echeverri Zuluaga***

Resumen

Introducción. La selección asistida por marcadores moleculares permite modificar la frecuencia de los genes dentro de una población, favoreciendo variables responsables de caracteres de interés zootécnico. El gen de la hormona de crecimiento tiene importancia en características relacionadas con el desarrollo del animal, y puede estar asociado a características lineales en el bovino. **Objetivo.** Determinar el efecto de un polimorfismo del gen de la hormona de crecimiento bovino, sobre características de conformación en vacas holstein del departamento de Antioquia. **Materiales y métodos.** La investigación fue realizada en ocho hatos del departamento de Antioquia, con 359 registros, pertenecientes a 313 bovinos holstein. La extracción de DNA se realizó mediante la metodología *salting out* y la genotipificación mediante PCR-RFLP. Para evaluar la asociación entre el polimorfismo y las características lineales, se ajustó un modelo lineal generalizado y se utilizó el test de Kruskal Wallis. Finalmente se realizó una regresión lineal para evaluar el efecto de sustitución alélica usando el paquete estadístico SAS V.9.0. **Resultados.** El polimorfismo del gen de la hormona del crecimiento tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la colocación de pezones anteriores, ligamento central de la ubre, ancho de la ubre y profundidad de la misma; no se encontró efecto ($P > 0.05$) para las demás características analizadas. **Conclusión.** El polimorfismo del gen de la hormona de crecimiento está asociado a algunas características de importancia en la producción lechera, convirtiéndolo en un gen candidato para utilizarse en programas de selección asistida por marcadores moleculares orientados al mejoramiento de las características lineales.

Palabras clave: características de conformación, hormona de crecimiento bovino, genética.

Effect of the somatotropin's polymorphism (BGH) on the linear characteristics of the Holstein cows

Abstract

Introduction. The selection assisted by molecular markers allows the modification of the genes' frequency within a population, favoring the variables responsible for zoo technical interest characters. The gene of the growth hormone is important for the characteristics related to the animal's development and can be associated to the linear characteristics of the bovine cattle. **Objective.** To determine the effect of a polymorphism of the bovine's growth hormone's gene on conformation characteristics in Holstein cows from the Antioquia province. **Materials and methods.** The research work was performed in eight dairy herds from Antioquia, with 359 records, with 313 Holstein bovines. The DNA extraction was performed with the salting out method and the genotyping was made by means of PCR-RFLP. To evaluate the association between the polymorphism and the linear characteristics, a general linear model was adjusted and the Kruskal Wallis test was used. Finally, a linear regression was performed in order to evaluate the allelic substitution effect by the use of the SAS V.9.0 statistical software. **Results.** The polymorphism of the growth hormone's gene had a significant effect ($P < 0.05$) on the location of the teat, central ligament of the udder and the width and the depth of the udder. No effect was found ($P > 0.05$) for the other characteristics analyzed. **Conclusion.** The

* Investigación realizada entre junio y diciembre del 2011 en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, como requisito de grado en el pregrado Zootecnia. El proyecto fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia, la Cooperativa Colanta y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

** Zootecnista. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

*** Zootecnista, MSc, Phd. Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de producción animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Grupo Biodiversidad y Genética Molecular BIOGEM.

Correspondencia: Diana Carolina Echavarría Valencia, e-mail: dcechavarriv@gmail.com

Artículo recibido: 14/02/2012; Artículo aprobado: 01/08/2012

polymorphism of the growth hormone's gene is associated to some characteristics that are important in dairy production, and therefore it is a gene that can be a candidate to be used in programs of assisted selection with molecular markers oriented to improve the linear characteristics.

Key words: conformation characteristics, bovine's growth hormone, genetics.

Palabras clave: características de conformación, hormona de crecimiento bovino, genética.

Efeito do polimorfismo do gene da somatotropina (BGH) sobre características lineares em vacas holstein

Resumo

Introdução. A seleção assistida por marcadores moleculares permite modificar a frequência dos genes dentro de uma população, favorecendo variáveis responsáveis de caracteres de interesse zootécnico. O gene do hormônio de crescimento tem importância em características relacionadas com o desenvolvimento do animal, e pode estar sócio a características lineares no bovino. **Objetivo.** Deter-

minar o efeito de um polimorfismo do gene do hormônio de crescimento bovino, sobre características de conformação em vacas holstein do departamento de Antioquia. Materiais e métodos. A investigação foi realizada em oito cocheiras do departamento de Antioquia, com 359 registros, pertencentes a 313 bovinos holstein. A extração de DNA se realizou mediante a metodologia salting out e a genotipificação mediante PCR-RFLP. Para avaliar a associação entre o polimorfismo e as características lineares, ajustou-se um modelo linear generalizado e se utilizou o teste de Kruskal Wallis. Finalmente se realizou uma regressão linear para avaliar o efeito de substituição alélica usando o pacote estatístico SAS V.9.0. **Resultados.** O polimorfismo do gene do hormônio do crescimento teve efeito significativo ($P < 0.05$) sobre a colocação de mamilos anteriores, ligamento central da ubre, largo da ubre e profundidade da mesma; não se encontrou efeito ($P > 0.05$) para as demais características analisadas. **Conclusão.** O polimorfismo do gene do hormônio de crescimento está sócio a algumas características de importância na produção leiteira, convertendo-o num gene candidato para utilizar-se em programas de seleção assistida por marcadores moleculares orientados ao melhoramento das características lineares.

Palavras importantes: características de conformação, hormônio de crescimento bovino, genética.

Introducción

El mejoramiento animal se ha basado tradicionalmente en seleccionar individuos de acuerdo con la información fenotípica, es decir, utilizando rasgos observables como probable información de la variabilidad genética (conformación de ubres, producción de leche, etc.). En el año 2005 se completó la secuencia del genoma bovino¹ lo que favorece su estudio, de tal forma que permite llevar a cabo estimaciones de valores genéticos y también de información molecular², obtener mejores parámetros productivos y en especial, mejorar características de interés en los hatos.

Una de las hormonas de mayor importancia en los procesos de secreción y composición de la leche es la hormona de crecimiento bovino (BGH)³. Esta hormona tiene un importante rol en procesos de crecimiento y desarrollo, y, por tanto, en el funcionamiento productivo del bovino.

El gen que da lugar a la BGH presenta varios polimorfismos⁴, entre ellos, un polimorfismo SNP ubicado en la posición 1547 (intrón 3)⁵, en el cual el alelo GH+ presenta una citosina (c), y el alelo GH- presenta una timina (t)⁶. Dicho polimorfismo permite la clasificación de los bovinos en tres genotipos diferentes: el homocigoto (+/+), el heterocigoto (+/-) y el homocigoto (-/-)⁷.

La evaluación de características de tipo en bovinos se reconoce con el término de evaluación lineal, la cual es una evaluación visual de los animales que permite evaluar diversos rasgos fenotípicos⁸. Dichas características lineales son importantes en toda unidad de producción lechera, tanto por ser características fenotípicas consideradas por el productor al momento de seleccionar, como por ser características de conformación que afectan la funcionalidad de los animales.

Los rasgos lineales en la mayoría de los programas de cría son buenos predictores de

peso vivo y condición corporal⁹, además de que algunos de estos rasgos lineales son de importancia y pueden ser usados para predecir la fertilidad^{10, 11}.

El mejoramiento genético animal es una de las principales estrategias de las que disponen investigadores y productores para hacer más eficientes sus unidades de producción bovina de leche. Es por tanto que el propósito del presente artículo es determinar el efecto de un polimorfismo SNP, del gen de la hormona de crecimiento bovino (BGH), sobre las características lineales o de conformación de vacas holstein en el departamento de Antioquia.

Materiales y métodos

La investigación fue realizada en el departamento de Antioquia en 8 hatos ubicados en los municipios de Medellín (corregimiento de Santa Elena), Entreríos, San Pedro, Rionegro y San Félix.

Se trabajó con 359 registros, correspondientes a 313 vacas de la raza holstein. De cada uno de los individuos se colectó la siguiente información sobre características de tipo: estatura (EST), ancho de pecho (AP), angularidad (ANG), ángulo del anca (AA), ángulo de isquiones (AI), ángulo de pezuñas (ANGP), patas vista lateral (PVL), patas vista posterior (PVP), profundidad de la ubre (PU), ligamento suspensorio de la ubre (LIG), inserción anterior de la ubre (IAU), colocación de los pezones anteriores (CPA), longitud de los pezones (LP), altura de la ubre posterior (ALUP), ancho de la ubre posterior (ANUP) y colocación de los pezones posteriores (CPP), conocidas como evaluación lineal¹², la cual fue realizada por diferentes evaluadores en cada uno de los hatos. Algunos de los bovinos fueron evaluados linealmente en varias etapas de su vida, difiriendo su calificación debido al número de parto en el cual se encontraba en el momento de la evaluación.

Los animales fueron genotipificados para el polimorfismo ubicado en la posición +1547, del intron 3 del gen BGH, para lo cual fue necesario realizar una recolección de sangre de los animales en campo, para proceder con la

extracción del DNA en laboratorio mediante la metodología de salting out descrita por Sambrook¹³.

Para la genotipificación se realizó una amplificación de la región específica del gen BGH por PCR en un volumen final de 25 mL; los cebadores utilizados para la amplificar dicha región que contenía el polimorfismo fueron descritos por Dybus¹⁴; la secuencia fue la siguiente:

F 5'- CCCACGGGCAAGAATGAGGC-3'

R 5' TGAGGAACTGCAGGGGCCCA-3'

La PCR se realizó en un termociclador (Biometra®), llevándose a cabo procesos de inicialización, desnaturalización, alineamiento, extensión, extensión final y mantenimiento. Como control positivo de todas las reacciones se realizó la amplificación de muestras previamente evaluadas, además se hicieron reacciones en ausencia de DNA como control negativo.

Para la determinación de los alelos del gen BGH se empleó la metodología de RFLP (*Random Amplified Length Polymorphism*) de acuerdo con los protocolos descritos por Dybus¹⁵.

Los productos de la amplificación y digestión se resolvieron por electroforesis en geles de agarosa al 2% en buffer TBE 1X (EDTA 0.05M, Tris base 0.089 M y Ácido bórico 0.089 M), al cual se le adicionó 0.5 µg/ml Bromuro de Etidio (Promega®), en el cual se sirvieron 6 µl de DNA de cada muestra y 2µL de un marcador de peso molecular de 50pb o 100pb (Fermentas®) diluidos en 2 µl Buffer de carga 1X (Fermentas®) en cada pozo y se dejó correr durante 60 minutos a 60v. El gel fue visualizado bajo luz ultravioleta en un equipo de fotodocumentación de geles (Biometra™) con el cual se obtuvo una fotografía electrónica.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico SAS V.9.0.¹⁶

Se llevaron a cabo diferentes análisis paramétricos para lo cual se ajustó un modelo lineal generalizado con la finalidad de verificar la sig-

nificancia de cada uno de los efectos sobre la variable dependiente:

$$Y_{ijklmno} = \mu + H_i + R_j + EV_k + NP_l + AN_m + G_n + e_{ijklmno}$$

dónde:

$Y_{ijklmno}$: Variable dependiente (EST, AP, ANG, AA, AI, ANGP, PVL, PVP, PU, LIG, IAU, CPA, LP, ALUP, ANUP Y CPP) estimada para el o-ésimo animal, con número del hato i , reproductor j , evaluador k , número de parto de los individuos l , año de nacimiento m , y genotipo n para la BGH.

μ : Media general para la característica dependiente

H_i : Efecto del hato i (i : 1-8)

R_j : Efecto del reproductor j (j : 1-126)

EV_k : Efecto del evaluador k (k : 1-4)

NP_l : Efecto del número de parto l (l : 1-6)

AN_m : Efecto del año de nacimiento m (m : 2002-2008)

G_n : Efecto del polimorfismo del gen BGH n (n : 0-2)

$e_{ijklmno}$: error experimental

Los efectos fijos que fueron significativos se analizaron mediante una prueba de medias de Duncan para determinar las diferencias entre los niveles de cada uno de los efectos.

Debido a que la naturaleza de las variables dependientes no era necesariamente normal, se utilizó adicionalmente la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. El supuesto de esta prueba fue la homogeneidad en la distribución de los datos.

Se utilizó la metodología de sustitución alélica, con el objetivo de determinar el efecto de cada uno de los alelos sobre las características dependientes. Para esto se transformó la información de los genotipos en información cuantitativa de tal forma que los genotipos (-/-), (+/-) y (+/+) se transformaron en 0, 1 y 2, respectivamente, indicando el número de alelos (+) que portaba cada individuo. Este análisis se realizó a través de una regresión lineal simple de acuerdo con el modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

donde:

Y : Variable dependiente (EST, AP, ANG, AA, AI, ANGP, PVL, PVP, PU, LIG, IAU, CPA, LP, ALUP, ANUP Y CPP)

β_0 : Intercepto.

β_1 : Coeficiente de regresión estimado para el efecto del genotipo de BGH

X_i : Genotipo del individuo (0...2)

El coeficiente de regresión estimado es el efecto aditivo de cada uno de los alelos el cual puede ser utilizado también en la estimación de los valores genéticos incluyendo información molecular.

Resultados

Análisis descriptivo, frecuencias alélicas y genotípicas

El número de datos usados para la presente investigación fue 7, 77 y 275 para los genotipos (-/-), (-/+) y (+/+), respectivamente. Las frecuencias genotípicas encontradas fueron 0.0195, 0.2145 y 0.766 para los genotipos (-/-), (+/-) y (+/+), respectivamente. Las frecuencias alélicas encontradas fueron 0.873 para el alelo (+) y 0.127 para el alelo (-).

En los resultados del análisis descriptivo de las variables dependientes, se observa que las características con mayor variación fueron IAU y CPA con un coeficiente de variación de 36.5 y 33.7%, respectivamente; la característica menos variable fue LP con un coeficiente de variación de 12.0%. La característica que mostró calificaciones más bajas fue CPA con un promedio de 4.53; las características que presentaron la más alta calificación fueron ANG y CPP con promedios de 6.63 y 6.46, respectivamente (tabla 1).

Análisis paramétrico del efecto del gen BGH sobre algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

Los efectos del evaluador, número de parto, año de nacimiento, reproductor y hato afectaron en diferente forma las distintas características lineales, sin presentar afectación directa sobre todas las características en general. Sin embargo, los efectos más importantes fueron:

el reproductor que afectó significativamente 4 características (PU, CPA, ALUP Y CPP), el evaluador 3 (EST, AP Y PU) y el hato 3 (ANG, PVL Y CPA)

El polimorfismo del gen BGH tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre el puntaje para PU y CPA, pero no presentó efecto significativo ($P > 0.05$) para ninguna otra característica (tabla 2).

Mediante la prueba de Duncan se encontró un efecto significativo ($P < 0.05$) del genotipo sobre el AP, ANG, AA, ANGP y LP, los cuales tuvieron puntajes más altos en el genotipo (-/-), observándose un mayor puntaje para características referidas a ángulos corporales del animal con excepción de LP, cuando este genotipo está presente; ocurre lo contrario con las características de conformación de la ubre (LIG, IAU, CPA, ANUP, ALUP y CPP) y con las que tienen que ver con el tamaño (EST) y las patas del animal (PVL, PVP), las cuales presentaron un mayor puntaje cuando está presente el ge-

notipo (+/+). Las características AI y PU se ven favorecidas por el genotipo (-/+) (tabla 3).

Análisis no paramétrico del efecto de BGH sobre algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

Según la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, el genotipo tuvo diferencia significativa ($p < 0.05$) sobre las variables PU, LIG, CPA y ANUP; sin embargo, el efecto no fue significativo ($p > 0.05$) para EST, AP, ANG, AA, AI, ANGP, PVL, PVP, IAU, LP, ALUP y CPP (tabla 4).

Análisis de sustitución alélica

El efecto de sustitución de un alelo (-) por uno (+) fue de 0.33 puntos en la calificación para LIG, 0.65 para CPA y 0.45 para ANUP basado en el coeficiente de regresión β entre el número de alelos y la calificación para cada una de las características. El efecto de sustitución alélica para todas las características es presentado en la tabla 5.

Tabla 1. Media, desviación estándar (SD), valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN) y coeficiente de variación (CV) para en puntaje de algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

VARIABLE	MEDIA (PUNTAJE)	SD	MAX	MIN	CV %
EST	6.2	1.02	9	3	16.5
AP	4.93	1.12	8	1	22.7
ANG	6.63	1.13	9	1	17.0
AA	4.74	0.89	7	1	18.8
AI	5.37	1.06	8	3	19.7
ANGP	4.81	1.23	8	1	25.5
PVL	5.61	1.17	9	3	20.9
PVP	4.84	1.23	8	2	25.3
PU	5.87	1.3	9	1	22.1
LIG	6.24	1.3	9	1	20.9
IAU	5.34	1.95	9	1	36.5
CPA	4.53	1.53	9	1	33.7
LP	5.24	0.63	8	3	12.0
ALUP	6.03	0.99	9	3	16.3
ANUP	5.23	1.25	8	2	23.8
CPP	6.46	1.49	9	3	23.0

Tabla 2. Efecto del gen de la hormona de crecimiento (BGH), evaluador (EV), año nacimiento (AN), Hato (HA), reproductor (R) y numero de parto (NP), sobre algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

VARIABLE	EFECTOS FIJOS					
	BGH	EV	AN	HA	R	NP
EST	NS	**	*	NS	NS	NS
AP	NS	**	NS	NS	NS	NS
ANG	NS	NS	NS	*	NS	NS
AA	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AI	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ANGP	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PVL	NS	NS	NS	**	NS	NS
PVP	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PU	*	***	NS	NS	**	NS
LIG	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IAU	NS	NS	NS	NS	NS	*
CPA	**	NS	NS	***	**	NS
LP	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ALUP	NS	NS	NS	NS	**	NS
ANUP	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CPP	NS	NS	**	NS	*	NS

NS: $p > 0.05$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Tabla 3. Análisis de Duncan para el efecto del polimorfismo del gen BGH sobre algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

	BGH	EST	AP	ANG	AA	AI	ANGP	PVL	PVP	PU	LIG	IAU	CPA	LP	ANUP	CPP	ALUP
-/-	6.00 ^a	5.40 ^a	6.80 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	4.80 ^a	4.60 ^a	4.40 ^a	5.40 ^a	3.60 ^a	4.20 ^a	5.60 ^a	4.40 ^a	5.40 ^a	5.80 ^a	
-/+	6.12 ^a	5.06 ^a	6.48 ^a	4.66 ^a	5.48 ^a	4.83 ^a	5.51 ^a	4.74 ^a	6.21 ^b	6.19 ^b	5.50 ^b	4.06 ^a	5.21 ^a	4.87 ^{ab}	6.39 ^b	5.93 ^a	
+/+	6.17 ^a	4.90 ^a	6.61 ^a	4.75 ^a	5.39 ^a	4.90 ^a	5.58 ^a	4.88 ^a	5.86 ^b	6.37 ^b	5.65 ^b	4.76 ^a	5.28 ^a	5.36 ^b	6.50 ^b	6.12 ^a	

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Tabla 4. Efecto del genotipo para BGH (valor de P) sobre algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia, estimado mediante el estadístico no paramétrico de Kruskal wallis

VARIABLE	SIGNIFICANCIA	P_VALUE
EST	NS	0.7379
AP	NS	0.6648
ANG	NS	0.3225
AA	NS	0.9077
AI	NS	0.4073
ANGP	NS	0.8998
PVL	NS	0.7788
PVP	NS	0.2711
PU	*	0.0497
LIG	*	0.0241
IAU	NS	0.0873
CPA	**	0.0002
LP	NS	0.3930
ALUP	NS	0.3079
ANUP	**	0.0002
CPP	NS	0.1538

NS: P>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01

Tabla 5. Coeficiente de regresión (β) y error estándar (EE) entre el número de alelos (+) y el puntaje para algunas características lineales en bovinos holstein de 8 hatos del departamento de Antioquia

VARIABLE	β +EE
EST	0.100±0.113
AP	-0.104±0.123
ANG	0.104±0.124
ANGP	-0.015±0.135
AA	0.032±0.098
AI	0.033±0.117
PVL	0.058±0.129
PVP	0.196±0.135
PU	-0.172±0.143
LIG	0.333±0.143
IAU	0.301±0.215
CPA	0.651±0.165
LP	-0.008±0.069
ANUP	0.458±0.135
CPP	0.205±0.164
ALUP	0.150±0.108

Discusión

El genotipo (+/+) se encontró en una mayor proporción que los demás genotipos en la población. Esto puede ser consecuencia de que desde hace algunos años los ganaderos han seleccionado sus vacas de acuerdo con su fenotipo para producción de leche (selección indirecta, sin conocer los valores genéticos). Estos resultados son similares a los presentados por Echeverri et al.¹⁷

Los puntajes hallados para EST fueron altos en la mayoría de los individuos, sin encontrarse efecto del polimorfismo del gen BGH sobre esta característica. Estos puntajes pueden ser efecto de la conocida predilección de los productores por los animales de tamaño mediano y grande, y que las heredabilidades reportadas para esta característica son de moderadas a altas^{18, 19}.

Las características IAU y CPA son las que presentaron mayor variación en la evaluación realizada durante la investigación, lo cual puede deberse a que no se ha realizado una selección específica sobre los caracteres mencionados y al efecto del ambiente. La variación de las características evaluadas es de baja a media; esto puede ser debido a que en los procesos de selección, donde se ha buscado mejorar la cantidad de leche producida, se ha realizado selección de animales con ubres anchas, profundas y de buenos ligamentos, logrando una conformación de ubres con menos variación entre los individuos. El largo de los pezones es una característica muy importante, pues se traduce en facilidad o dificultad en el momento de ordeñar la vaca; es por esto que los productores han preferido vacas con pezones medianos y han efectuado durante muchos años una selección de las mismas, dando lugar a la poca variación en dicho carácter.

Cuando el análisis de las características lineales se realizó a través de una prueba paramétrica como lo es el modelo lineal generalizado, solo se encontró efecto para dos caracteres (PU y CPA); sin embargo, la utilización de un test no paramétrico (no asume normalidad en los datos) indicó un mayor efecto del polimorfismo del gen BGH, que afecta 4 caracteres (PU, LIG, CPA y ANUP); este segundo análisis

fue considerado como el más indicado para la presente investigación²⁰. Los resultados obtenidos en este sentido pueden ser explicados por la correlación existente entre el tamaño y conformación de la ubre con la producción de leche. Lo mencionado anteriormente se apoya en estudios realizados por Corrales et al.²¹, quienes confirman que la selección genética ha aumentado los niveles de producción de leche considerablemente en las vacas en los últimos años, y es por ello que se ha observado un incremento en el tamaño en la ubre principalmente.

El año de nacimiento influye significativamente sobre la EST y CPP, lo cual es posible que suceda debido a que van cambiando los gustos e intereses del productor a medida que transcurren los años y a medida que se van planteando los objetivos de selección en la finca²². La influencia del hato sobre la ANG, PVL y CPA es debida a que en todos los hatos la intensidad con la cual se establecen los lineamientos para mejorar estas características y los objetivos de esta selección no son los mismos, encontrándose altas variaciones para los niveles de este efecto. El reproductor tuvo un efecto significativo sobre PU, CPA, ALUP y CPP, lo cual implica que los reproductores utilizados en los programas de mejoramiento presentan diferentes cualidades genéticas, en cuanto al mejoramiento de estos caracteres, ofreciendo a los productores un amplio horizonte de opciones para la utilización de estos toros y el cumplimiento de objetivos importantes. El número de parto influye significativamente sobre la IAU, lo cual se debe posiblemente a que a medida que el animal avanza en edad y número de parto, la ubre comienza a cambiar su conformación debido a la capacidad de almacenamiento que posee la ubre a lo largo de toda la vida del animal. Además, Wall; et al.²³ plantean que ciertos rasgos lineales varían a lo largo de la lactancia. Las variables PU, LIG, IAU, ANUP y CPP presentaron diferencia estadística significativa entre los tres diferentes genotipos posibles para la BGH (-/-, -/+ y +/+), lo cual manifiesta que las características más afectadas por la BGH son las relacionadas con la conformación de la ubre, lo que se ha venido dando por el incremento de la concentración sanguínea de BGH con el propósito de incrementar la producción

de leche²⁴ y, por ende, el incremento del tamaño de la ubre con la continua selección de los animales basados en mejorar los parámetros productivos del hato²⁵.

El polimorfismo de la BGH presenta un coeficiente de regresión de 0,10 con respecto a la EST y a la ANG, de 0,15 con ALUP, de 0,19 con PVP y de 0,20 con CPP, lo cual es un indicativo de que al realizar selección con miras a sustituir un alelo (-) por uno (+) en la BGH no significa que debe existir un cambio importante en la EST y en la ANG del animal, ni tampoco en la ALUP, PVP ni CPP.

Numerosos estudios se han realizado correlacionando las características lineales con parámetros reproductivos y condición corporal, y se ha demostrado que la condición corporal y la ANG presentan una alta correlación negativa; dicho resultado se ve apoyado por Veerkamp y Brotherstone²⁶, Dechow; et al.^{27, 28} y Kadarmideen y Wegmann²⁹. Según Pryce; et al.^{30, 31} la condición corporal se ha propuesto como un posible indicador de rasgo de la fertilidad y la correlación hallada entre la ANG y la condición corporal es superior a la mencionada anteriormente (-0,87); la correlación entre la ANG y el intervalo entre partos es de 0,46. Veerkamp y Brotherstone³², hallaron una correlación genética negativa de -0,07 a -0,56 entre la ANG y longevidad. Las correlaciones genéticas de la condición corporal y la ANG con el intervalo entre partos son -0,40 y 0,47, respectivamente; por lo tanto, las vacas que son más delgadas y más angulares presentan intervalos entre partos más largos³³.

En la investigación de Dal Zotto; et al.³⁴, la EST mostró una correlación media y positiva con el intervalo entre partos, y una correlación media y negativa con condición corporal. Un resultado similar se obtiene por Pryce; et al.³⁵, consecuente con los resultados obtenidos por Veerkamp³⁶ para la correlación entre la EST con el intervalo entre partos, y para EST con calificación de condición corporal según Brotherstone³⁷, pero no por Dechow; et al.³⁸, quien plantea una asociación genética positiva entre la EST y condición corporal.

El AP, ANGP, la PU y LP presentan un coeficiente de regresión bajo y negativo con el polimorfismo BGH, indicando que por cada cambio

de un alelo (-) por un alelo (+) en el genotipo de la BGH no se verán cambios significativos en la calificación dada en la evaluación lineal, lo que sucede igualmente con las características AA, AI y PVL, las cuales presentan un coeficiente de regresión positivo pero muy bajo. Estudios han demostrado que la correlación genética entre la condición corporal y el AP varía desde 0,32 hasta 0,73³⁹. Las estimaciones de correlación genética entre el carácter lechero y el AA se reportan entre 0,14 a 0,70, mientras que las correlaciones fenotípicas oscilaron desde 0,08 hasta 0,61⁴⁰.

Según Royal⁴¹ la correlación genética entre la condición corporal con el ANGP y PVL son 0,19, 0,38, respectivamente. Además, las vacas con mayor condición corporal presentan más problemas de pezuñas y patas que las vacas pequeñas. Los resultados sugieren que las vacas frágiles (angular, delgada, con pecho angosto), reducen su fertilidad por la actividad luteal postparto extendida. Vacas que presentan más fortaleza tienen una mejor fertilidad, de acuerdo con Dadati; et al.⁴².

Según Dal Zotto; et al.⁴³, la correlación genética de amplitud de anca con el intervalo de parto es positiva y de mayor magnitud que la estatura, lo que indica que las vacas que muestran mayor amplitud de anca presentan mayor intervalo entre partos. La PU y el ANUP presentan correlaciones positivas con el intervalo entre partos, lo que sugiere que las vacas con buenas ubres (es decir, con las puntuaciones más altas para los rasgos de la ubre) presentan largos intervalos entre partos. Según estudios de Veerkamp y Brotherstone⁴⁴ y Kadarmideen y Wegmann⁴⁵, la condición corporal presenta correlaciones genéticas negativas con PU.

El LIG, IAU, CPA y ANUP presentan los coeficientes de regresión más altos en el análisis realizado, variando entre 0.31-0.65, lo cual indica que son características que van a presentar más cambios en los bovinos a medida que en el proceso de selección se busque reemplazar un alelo (-) por un alelo (+). Las características mencionadas anteriormente hacen referencia básicamente a características que influyen en la conformación de la ubre y es por esto que se compara con otro tipo de evaluación fenotípica que es la calificación de la

condición corporal, la cual según estudios de Veerkamp y Brotherstone⁴⁶ y Kadarmideen y Wegmann⁴⁷, presenta correlaciones genéticas negativas con el LIG y ANUP.

Conclusión

La tendencia de selección en los últimos años ha producido un incremento en las concentraciones sanguíneas de la BGH, lo cual afecta en una proporción moderada la composición y el tamaño de la ubre principalmente, mostrándose un debilitamiento del LIG, incremento del ANUP, mayor PU y modificaciones en la CPA de la ubre.

Agradecimientos

Universidad Nacional de Colombia, Cooperativa Colanta y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Referencias bibliográficas

- GIGLI, I. Marcadores moleculares en bovinos de razas lecheras. En: Taurus. Revista de reproducción animal. Junio de 2010. Vol. 12, N° 46, p. 42-46
- CONGRESO INTERNACIONAL MARCADORES MOLECULARES EN PRODUCCION ANIMAL. (1: 28-29, julio, 2011: Medellín, Colombia). Memorias. Medellín: cooperativa Colanta, Ministerio de agricultura y desarrollo rural y Universidad Nacional de Colombia. 2011. 91 p.
- DYBUS, A. Associations of growth (GH) and Prolactin (PRL) genes polymorphisms with milk production traits in Polish Black and White cattle. En: Animal Science Papers and Reports. 2002. Vol. 20, N° 4, p. 203-212.
- LOPEZ HERRERA, Albeiro; et al. Marcadores moleculares en producción bovina. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011. 275 p.
- Ibid.; 275 p.
- DYBUS; Op cit., p. 203-212.
- CONGRESO INTERNACIONAL MARCADORES MOLECULARES EN PRODUCCION ANIMAL.; Op Cit., 91 p.
- DECHOW, C. D.; *et al.* Heritabilities and correlations among body condition score, dairy form and selected linear type traits. En: Journal of dairy science. 2003. Vol. 86, N°6, p. 2236-2242.
- VEERKAMP, R. F. & BROTHERSTONE, S. Genetic correlations between linear type traits, food intake, live weight and condition score in holstein friesland dairy cattle. En: animal science. 1997. Vol. 64, p. 385-392.
- PRYCE, J. E.; COFFEY, M. P. & BROTHERSTONE, S. The genetic relationship between calving interval, body condition score and linear type and management traits in registered Holsteins. En: Journal of Dairy Science. 2000. Vol. 83, p. 2664-2671.
- VEERKAMP, R. F.; *et al.* Genetic correlation between days until start of luteal activity and milk yield, energy balance and live weights. En: Journal of Dairy Science. 2000. Vol. 83, p. 577-583.
- WORLD HOSLTEIN FRIESIAN FEDERATION – WHFF. Evaluación morfológica internacional del vacuno de leche: programa armonización de tipo. England: WHFF, 2005. 154 p.
- SAMBROOK, J.; FRITSCH, E. & MANIATIS, T. Molecular Cloning. A laboratory manual. 2nd ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989.
- DYBUS, A. Associations of growth (GH) and prolactin (PRL) genes polymorphisms with milk production traits in polish black and White cattle. En: Animal Science Papers and Reports. 2002. Vol. 20, N° 4, p. 203-212
- Ibid., p. 203-212
- SAS. User's Guide: statistics [Programa para computador]. Version 9th edition. Cary (NC), USA. SAS Institute Inc, 2002.
- ECHEVERRI ZULUAGA, José Julián; VÁZQUEZ ARAQUE, Neil Aldrin y GALLO GARCÍA, Yuliana Marcela. Polimorfismo del gen de la Somatotropina Bovina y su asociación con características de importancia en la producción lechera. En: Revista Lasallista de Investigación. 2010. Vol. 7, N° 1, p. 58-65.
- WALL, E.; COFFEY, M. P. & BROTHERSTONE, S. Body trait profiles in holstein-friesians modeled using random regression. En: Journal of Dairy Science. 2005. Vol. 88, p. 3663-3671.
- DECHOW, C. D.; *et al.* Heritability and correlations for body condition score and dairy form within and across lactation and age. En: Journal of Dairy Science. 2004. Vol. 87, p. 717-728.
- BEAVER, Barbara M.; BEAVER, Robert J. y MENDENHALL, William. Introducción a la probabilidad y estadística. 12^a ed. México: Cengage Learning, 2008. 753 p.
- CORRALES, J.; *et al.* Parámetros genéticos de características de tipo y producción en gana-

- do holstein del departamento de Antioquia. En: Revista MVZ Córdoba. 2011. Vol. 17, N°1, p. 2870-2877.
22. WATTIAUX, M. A. Dairy essentials: Reproduction and genetic selection. En: Babcock institute for international dairy research and development. N° 17, p. 65-68.
 23. WALL, E.; *et al*, Op cit., p. 3663–3671.
 24. CALCEDO, V. La hormona del crecimiento (BST) en la producción y el consumo de leche. En: Revista Estudios Agrosociales y Pesqueros. 2000. Vol. 186, p. 227-245.
 25. ECHEVERRI, Z.; *et al*, Op cit., p. 58-65.
 26. VEERKAMP, R.; *et al*, Op cit., p. 385–392.
 27. DECHOW, C.; *et al*, Op cit., p. 2236-2242.
 28. DECHOW, C.; *et al*, Op cit., p. 717–728.
 29. KADARMIDEEN, H. N. and WEGMANN, S. Genetic parameters for body condition score and its relationship with type and production traits in Swiss Holsteins. En: Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86, p. 3685–3693.
 30. PRYCE, J. E.; *et al*, Op cit., p. 2664–2671.
 31. PRYCE, J. E.; COFFEY, M. P. & SIMM, G. The relationship between body condition score and reproductive performance. En: Journal of Dairy Science. 2001. Vol. 84, p. 1508–1515.
 32. VEERKAMP, R.; *et al*, Op cit., p. 385–392.
 33. PRYCE, J. E.; *et al*, Op cit., p. 2664–2671.
 34. DAL ZOTTO, R.; *et al*. Heritabilities and genetic correlation of body condition score and calving interval with yield, somatic cell score, and linear type traits in Brown Swiss cattle. En: Journal of dairy science. 2007. Vol. 90, p. 5737-5743.
 35. PRYCE J. E.; *et al*, Op cit., p. 2664–2671.
 36. VEERKAMP and BROTHERSTONE, Op cit., p. 385–392.
 37. BROTHERSTONE, S. R; VEERKAMP, F. & Hill, W. G. Genetic parameters for a simple predictor of lifespan of Holstein-Friesian dairy cattle and its relationship to production. En: Journal of Animal Science. 1997. Vol. 65, p. 31–37.
 38. DECHOW, C.; *et al*, Op cit., p. 2236-2242.
 39. *Ibid.*, p. 2236-2242.
 40. KOENEN, E. P. C. and GROEN, A. F. Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. En: Journal of dairy science. 1998. Vol. 81, p. 1709–1713.
 41. ROYAL, M. D.; *et al*. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. En: Journal of dairy science. 2002. Vol. 85, p. 3071–3080.
 42. DADATI, E.; KENNEDY, B. W. & BURNSIDE, E. B. Relationships between conformation and calving interval in Holstein cows. En: Journal of Dairy Science. 1986. Vol. 69, p. 3112–3119.
 43. DAL ZOTTO, R.; *et al*, Op cit., p. 5737–5743.
 44. VEERKAMP, R.; *et al*, Op cit., p. 385–392.
 45. KADARMIDEEN, H.; *et al*, Op cit., p. 3685–3693.
 46. VEERKAMP, R.; *et al*, Op cit., p. 385–392.
 47. KADARMIDEEN, H.; *et al*, Op cit., p. 3685–3693.