

# Heritabilities, correlations, and genetic trends for reproductive traits of a multiracial cattle population in Colombia<sup>†</sup>

*Heredabilidades, correlaciones y tendencias genéticas para características reproductivas en una población bovina multirracial en Colombia*

*Herdabilidades, correlações e tendências genéticas para características reprodutivas em uma população multirracial na Colômbia*

Oscar David Vergara Garay <sup>1\*</sup>, Zoot, DrSci; Nicolás Martínez Humanes <sup>1</sup>, MVZ, MSc; Julio Mateo Flórez Murillo <sup>1</sup>, Est MVZ; Marcos Hernández Pérez <sup>1</sup>, Est MVZ; Roberto Almanza Loaiza <sup>2</sup>, MVZ; Clara Rúgeles Pinto <sup>1</sup>, MVZ, MSc; Juan Carlos Simanca Sotelo <sup>1</sup>, MVZ, Esp.

\*Autor para correspondencia: Oscar David Vergara Garay, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba, Km 7 vía Cereté-Ciénaga de Oro, Córdoba, Colombia, [overgara@correo.unicordoba.edu.co](mailto:overgara@correo.unicordoba.edu.co)

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba, Colombia. <sup>2</sup> Gencaribe, Hacienda Abastecedora de Carnes S.A, Planeta Rica, Colombia.

(Recibido: 16 de noviembre, 2014; aceptado: 7 de marzo, 2015)

## Abstract

The aim of this study was to estimate heritabilities, genetic correlations, heterosis and genetic trends for reproductive traits in a multiracial Angus-Brahman cattle population in the Colombian tropics. Records of age at first calving (EPP), first calving interval (PIEP) and second calving interval (SIEP) were evaluated from years 1993 to 2009. Data were analyzed using a tree-characteristic model that included the fixed effects of contemporary group (year-season for EPP, year-season-sex for PIEP and SIEP), direct additive genetic fixed effects of breed, individual heterosis; and direct additive genetic random effect of the animal, as well as the residual random effect. The variance components were estimated by the restricted maximum likelihood method, using the AIREML program. The estimated means were  $38.5 \pm 6.0$ ,  $18.4 \pm 3.7$ , and  $17.6 \pm 2.77$  months for EPP, PIEP and SIEP, respectively. The estimated heritabilities were  $0.32 \pm 0.09$  for EPP,  $0.04 \pm 0.01$  for PIEP, and  $0.14 \pm 0.05$  for SIEP. A low and negative genetic correlation between direct effects for EPP and SIEP ( $-0.07 \pm 0.23$ ) was found. Genetic trend for EPP and SIEP was not significant ( $p > 0.05$ ), while it was significant ( $p \leq 0.05$ ) for PIEP, although close to zero. The EPP heritability estimate suggests that genetic progress can be achieved for this feature through selection in few generations. Genetic trends indicate that the selection intensity applied to this multiracial population was not enough to influence its breeding values during the studied period.

## Key words

*Age at first calving, calving interval, genetic evaluation, heterosis.*

<sup>†</sup>Para citar este artículo: Vergara Garay OD, Martínez Humanes N, Flórez Murillo JM, Hernández Pérez M, Almanza Loaiza R, Rugeles Pinto C, Simanca Sotelo JC. Heredabilidades, correlaciones y tendencias genéticas para características reproductivas en una población bovina multirracial en Colombia. Rev CES Med Zootec. 2015; Vol 10 (1): 8-17.

## Resumen

El objetivo de este estudio fue estimar las heredabilidades, correlaciones genéticas, heterosis y tendencias genéticas para características reproductivas en una población bovina multirracial Angus-Brahman en el trópico bajo colombiano. Se evaluaron registros de edad al primer parto (EPP), primer intervalo entre partos (PIEP) y segundo intervalo entre partos (SIEP), desde el año 1993 hasta 2009. Los datos fueron analizados mediante un modelo tricarácter que incluyó los efectos fijos de grupo contemporáneo (año-época para EPP; año-época-sexo para PIEP y SIEP), efectos fijo genético aditivo directo de raza, heterosis individual; y los efectos aleatorios genéticos aditivos directos del animal y residual. Los componentes de varianza se estimaron por el método de máxima verosimilitud restringida, mediante el programa AIREML. Las medias estimadas fueron de  $38,5 \pm 6,0$ ,  $18,4 \pm 3,7$  y  $17,6 \pm 2,77$  meses para EPP, PIEP y SIEP, respectivamente. Las heredabilidades estimadas fueron  $0,32 \pm 0,09$  para EPP,  $0,04 \pm 0,01$  para PIEP y  $0,14 \pm 0,05$  para SIEP. Se encontró una baja correlación genética negativa entre efectos directos para EPP-SIEP ( $-0,07 \pm 0,23$ ). Las tendencias genéticas para EPP y SIEP fueron no significativas ( $p > 0,05$ ), mientras que para PIEP fue significativa ( $p \leq 0,05$ ), pero cercana a cero. El estimativo de heredabilidad para EPP, sugiere que a través de la selección en pocas generaciones se puede lograr progreso genético para esta característica en la población estudiada. Las tendencias genéticas indican que, la intensidad de selección aplicada a esta población multirracial no fue suficiente para influir sobre los valores de cría durante los años de estudio.

## Palabras clave

*Edad al primer parto, evaluación genética, heterosis, intervalo entre partos.*

## Resumo

O objetivo desse estudo foi estimar as herdabilidades, correlações genéticas, heterose e tendências genéticas para características reprodutivas em uma população bovina multirracial Angus-Brahman no trópico baixo colombiano. Avaliaram-se registros de idade ao primeiro parto (EPP), primeiro intervalo entre partos (PIEP) e segundo intervalo entre partos (SIEP), desde 1993 até 2009. Os dados foram analisados mediante um modelo tricarácter que incluiu os efeitos fixos do grupo contemporâneo (ano-época para EPP, ano-época-sexo para PIEP e SIEP), efeito fixo genético aditivo direto da raça, heterose individual e os efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos do animal e residual. Os componentes de variância estimaram-se pelo método de máxima verossimilhança restrita, mediante o programa AIREML. As medias estimadas foram de  $38,5 \pm 6,0$ ,  $18,4 \pm 3,7$  e  $17,6 \pm 2,77$  meses para EPP, PIEP e SIEP, respectivamente. As herdabilidades estimadas foram,  $EPP = 0,32 \pm 0,09$ ;  $PIEP = 0,04 \pm 0,01$ ;  $SIEP = 0,14 \pm 0,05$ . Encontrou-se uma correlação genética negativa baixa entre os efeitos diretos para EPP-SIEP ( $-0,07 \pm 0,23$ ). As tendências genéticas para EPP e SIEP foram não significativas ( $p > 0,05$ ), enquanto que para PIEP foi significativa ( $p \leq 0,05$ ), mas perto de zero. O estimativo de herdabilidade para EPP, sugere que a través da seleção em poucas gerações é possível lograr progreso genético para esta característica na população estudada. As tendências genéticas indicam que, a intensidade de seleção aplicada a esta população multirracial não foi suficiente para influir sob os valores de cria durante os anos de estudo.

## Palavras chave

*Idade ao primeiro parto, avaliação genética, heterose, intervalo entre partos.*

## Introducción

En Colombia, la ganadería bovina afronta problemas de productividad; entre los cuales se destacan la baja eficiencia reproductiva y el incipiente desarrollo de planes de mejoramiento animal. En busca de mejorar la productividad, los ganaderos del país han venido implementando cruzamientos de ganado de razas *Bos indicus* con *Bos taurus*. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para ser eficaces en la producción es necesario implementar programas de mejoramiento genético basados en criterios de selección sobre caracteres productivos y reproductivos<sup>8</sup>, por lo que para

sistemas de producción que poseen animales cruzados, se hace necesario la utilización de modelos de evaluación genética multirracial que permitan una evaluación más eficaz.

El desempeño reproductivo es un factor de alto impacto en los costos de producción y determina en gran parte las ganancias de un sistema productivo, pues este se ve influenciado por el periodo y la eficiencia de reproducción, los cuales se evalúan mediante ciertos parámetros<sup>5, 25</sup>. Entre los caracteres reproductivos que tienen mayor importancia en un sistema de producción bovina están la edad al primer parto y el intervalo entre

partos. El conocimiento de los parámetros genéticos de estas características, nos permitirán tomar decisiones con el fin de mejorar la eficiencia reproductiva de la población evaluada.

Una vez desplegado un programa de mejoramiento genético, periódicamente debe verificarse su eficiencia, una forma de promover este monitoreo es evaluar el progreso genético alcanzado por el rebaño a lo largo del tiempo, o mediante la evaluación del cambio en la ganancia genética anual de los animales. Una forma de evaluar este progreso es a través del cálculo de la tendencia genética de la población, con la que se hace posible cuantificar qué parte de la variación anual del rebaño es genética y si hay limitantes ambientales en su expresión<sup>32</sup>, por lo que es necesario que el cambio fenotípico se descomponga en sus componentes genéticos y de medio ambiente<sup>13, 29, 33</sup>.

En vista que el conocimiento de la evaluación genética en una población es importante y que la estimación de parámetros genéticos nos permite conocer la variación aditiva y el grado de asociación que existe entre las características de interés económico, para la Hacienda la Abastecedora es importante que se realicen este tipo de estudio, ya que uno de los objetivos de esta empresa es mejorar las características reproductivas con el fin de mejorar su eficiencia reproductiva y disminuir el intervalo generacional, por lo que este estudio tuvo como objetivo estimar las heredabilidades, correlaciones, heterosis y tendencias genéticas para edad al primer parto, primer intervalo entre partos y segundo intervalo entre partos en una población multirracial Angus-Brahman en la Hacienda la Abastecedora en el trópico bajo colombiano.

## Materiales y métodos

### Localización

El estudio se realizó en la Hacienda La Abastecedora S.A, localizada en el municipio de Planeta Rica, Córdoba, (Colombia). La zona pertenece a la clasificación agroecológica de bosque seco húmedo tropical, ubicado a 8° 17' 15" Latitud Norte y 75° 73' 55" Longitud Oeste, altitud de 100 msnm, temperatura media de 28 °C, humedad relativa de 80% y precipitación media anual de 1503 mm.

### Animales y datos

La información de los animales evaluados fue tomada de la base de datos de la hacienda La Abastecedora, en la que había animales de diferentes proporciones de las razas Angus y Brahman (Tabla 1). Para la característica

EPP (edad al primer parto) se utilizaron 305 registros, para el PIEP (primer intervalo entre partos) 276 registros y para el SIEP (segundo intervalo entre partos) 169 registros desde el año 1993 hasta 2009, con 618 animales en la genealogía. Cabe resaltar que el bajo número de registros para las características evaluadas, se debe a que la información proviene de un solo rebaño y a que la toma de registros en los sistemas de producción del trópico bajo colombiano es una limitante para la implementación de programas de mejoramiento genético.

Los animales fueron manejados en pastoreo rotacional en praderas de *Dichantium aristatum*, *Cynodon nlemfuensis*,

**Tabla 1.** Número de animales de acuerdo a la proporción de Angus para EPP, PIEP y SIEP.

Característica	Proporción de Angus			
	0,0	0,375	0,5	0,75
EPP	232	4	42	27
PIEP	213	4	36	23
SIEP	127	0	28	14

EPP: Edad al primer parto; PIEP: Primer intervalo entre partos; SIEP: Segundo intervalo entre partos

*Braquiaria decumbens*, *Braquiaria humidicola*, *Braquiaria mutica* y *Braquiaria dictyoneura*, con suministro permanente de sal mineral (con 8% de fósforo para hembras de levante y 6% de fósforo para novillas y vacas) y agua. Durante la época seca, los animales son suplementados con heno de *Dichantium aristatum* y con silo de maíz (*Zea mays*).

En esta hacienda las hembras cruzadas entran a primer servicio a una edad aproximada de 18 a 19 meses y con un peso aproximado de 340 kg. Las vacas son manejadas en un programa de inseminación artificial (IA), en el cual se implementa amamantamiento restringido, que consiste en dejar mamar a las crías aproximadamente por una hora al día; si la vaca queda preñada en los primeros 4 meses posterior al parto, la cría se deja mamar hasta 3 meses antes del siguiente parto y si la vaca no se preña hasta los 6 meses posterior al parto se desteta, para buscar preñarla más rápidamente. Después de mamar, las crías son encerradas y reciben alimentación a base de heno y alimento balanceado. Para las novillas, por lo general se utiliza monta natural. A las vacas se les hace un primer servicio por inseminación artificial, en caso que la vaca repita celo se hace un segundo servicio y si no quedan

preñadas pasan a monta natural; para este servicio se tiene en cuenta la circunferencia escrotal de los toros, en busca de una mayor precocidad en la novillas. Además, en la hacienda algunas veces se dejan hembras con aproximadamente un año de días abiertos antes de ser descartadas. En la hacienda se maneja aproximadamente de 15 a 18 vacas o novillas por reproductor. Luego que el reproductor sale de monta se le aplica un tratamiento con vermifugación intraruminal, vitaminas y minerales y posterior a esto, entran a descanso por un periodo mínimo de 45 días.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{b1} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{b2} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{b3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 \\ 0 & H_2 & 0 \\ 0 & 0 & H_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

Dónde:

$y_i$  = vector of observaciones para EPP ( $i = 1$ ), PIEP ( $i = 2$ ) y SIEP ( $i = 3$ );

$f_i$  = vector de efectos fijos de grupo contemporáneo (año y época para EPP; año, época y sexo para PIEP y SIEP);

$b_i$  = vector de efectos fijos directos de la raza para EPP, PIEP y SIEP; 2 razas: 1 = Angus, 2 = Brahman;

$h_i$  = vector de efectos fijos de heterosis directa para EPP, PIEP y SIEP;

$c_i$  = vector de efectos aleatorios genéticos aditivos directos de la vaca para EPP, PIEP y SIEP;

$e_i$  = vector de residuales para EPP, PIEP y SIEP;

$X_i$  = matriz incidencia que relaciona los registros de EPP, PIEP y SIEP a los efectos fijos ambientales de grupo contemporáneo;

$Z_{bi}$  = matriz incidencia que relaciona los registros de EPP, PIEP y SIEP a los efectos fijos de la raza a través de la fracción esperada de raza en las vacas

$H_i$  = matriz incidencia que relaciona los efectos de heterosis directa de EPP, PIEP y SIEP a través de la fracción esperada de heterocigosis en las vacas, donde la heterocigosis esperada = prob (raza  $j$  del padre de la vaca)  $\times$  prob (raza  $k$  de la madre de la vaca) + prob (raza  $k$  del padre de la vaca)  $\times$  prob (raza  $j$  de la madre de la vaca),  $j \neq k$  = Angus, Brahman; y

$Z_i$  = matriz incidencia que relaciona la EPP, PIEP y SIEP a los efectos aleatorios genéticos aditivos.

## Predicciones genéticas y parámetros genéticos

Los datos fueron analizados mediante procedimientos de modelos mixtos multicarácter<sup>11, 12, 23</sup>. Los componentes de varianzas y covarianzas fueron analizados utilizando el procedimiento de máxima verosimilitud restringida<sup>10</sup>. Para ello se utilizó el software de la Universidad de Georgia (AIREMLF90), el cual utiliza algoritmo de información promedio<sup>19, 30</sup>.

El modelo tricarácter utilizado fue:

La matriz de varianza-covarianza del vector de efectos genéticos aleatorios fue igual a  $G = A * G_0$ , donde  $G_0$  fue una matriz de varianzas y covarianzas entre EPP, PIEP y SIEP de efectos genéticos aditivos. La matriz de varianza-covarianza del vector de residuales fue igual a  $R = I * \sigma_e^2$ , donde  $\sigma_e^2$  fue la varianza residual común a todos los animales en la población.

Los valores genéticos fueron calculados como una suma ponderada de los efectos genéticos de la raza y los efectos aleatorios<sup>7</sup>. Tal que, el valor genético para la vaca  $ij$  podría ser igual a:

$$\hat{u}_{ij} = g_i^0 + \hat{c}_{ij}$$

Dónde:

$\hat{u}_{ij}$  = valor genético para la vaca  $ij$ .

$g_i^0$  = solución generalizada de mínimos cuadrados para el grupo genético  $i$ .

$\hat{c}_{ij}$  = predicción genética para la vaca  $ij$  como una desviación de  $i$  grupo genético.

Los grupos genéticos en esta población multirracial fueron definidos como una suma ponderada de los efectos de la raza, es decir:

$$g_i^0 = \sum_{i=1}^B p_{ij} b_i^0$$

Dónde:

$B$  = número de razas.

$p_{ij}$  = fracción de la raza  $i$  en la vaca  $ij$ .

$b_i^0$  = solución generalizada de mínimos cuadrados para la raza.

Los estimados de componentes de varianza y covarianza fueron usados para calcular las heredabilidades y las correlaciones genéticas y fenotípicas de los caracteres estudiados. Los errores estándar de los estimados de heredabilidad y correlaciones fueron calculados usando el método Delta<sup>16</sup>.

Las tendencias genéticas se calcularon a través de la regresión lineal de los valores genéticos promedios anuales sobre año, mediante el procedimiento REG de Statistical Analysis System<sup>26</sup>.

## Resultados

La media para EPP fue  $38,5 \pm 6,0$  meses, para el PIEP fue  $18,4 \pm 3,70$  meses y para el SIEP fue  $17,6 \pm 2,77$  meses.

Los estimados de efectos de raza directos y de heterosis para EPP, PIEP y SIEP se presentan en la tabla 2.

Los estimados de heredabilidad, correlaciones genéticas y correlaciones fenotípicas para EPP, PIEP y SIEP se presentan en la tabla 3.

En la tabla 4, se observan las ecuaciones de regresión de las tendencias genéticas para las características en estudio. Además, se puede notar que las tendencias genéticas para EPP y SIEP no fueron significativas, caso contrario ocurrió para PIEP.

Las tendencias genéticas para la EPP, PIEP y SIEP se observan en las figuras 1, 2 y 3, respectivamente.

**Tabla 2.** Estimados de efectos directos de raza (desviados de Brahman) y de heterosis para EPP, PIEP y SIEP.

<i>Efecto</i>	<i>EPP (año)</i>	<i>PIEP (mes)</i>	<i>SIEP (mes)</i>
Angus	$0,513 \pm 0,113$ ( $p > 0,05$ )	$-0,687 \pm 0,772$ ( $p > 0,05$ )	$2,76 \pm 0,412$ ( $p > 0,05$ )
Heterosis directa	$-0,81 \pm 0,078$ ( $p < 0,001$ )	$-1,74 \pm 0,535$ ( $p > 0,05$ )	$-1,23 \pm 0,281$ ( $p > 0,05$ )

**Tabla 3.** Heredabilidad (diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para EPP, PIEP y SIEP.

<i>Característica</i>	<i>EPP</i>	<i>PIEP</i>	<i>SIEP</i>
EPP	$0,32 \pm 0,09$	$0,85 \pm 0,40$	$-0,07 \pm 0,23$
PIEP	$-0,02 \pm 0,08$	$0,04 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,23$
SIEP	$-0,05 \pm 0,29$	$0,02 \pm 0,19$	$0,14 \pm 0,05$

**Tabla 4.** Tendencias de valores genéticos directos para EPP, PIEP y SIEP.

<i>EPP (año/año)</i>	<i>PIEP (mes/año)</i>	<i>SIEP (mes/año)</i>
$-0,0017 \pm 0,0073$ ( $p > 0,05$ )	$0,0246 \pm 0,0114$ ( $p < 0,05$ )	$0,0058 \pm 0,0166$ ( $p > 0,05$ )

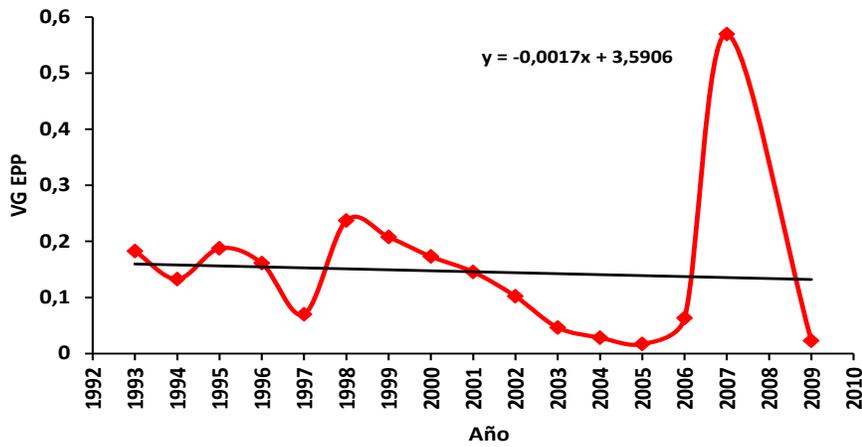


Figura 1. Tendencias genéticas para la edad al primer parto (EPP).

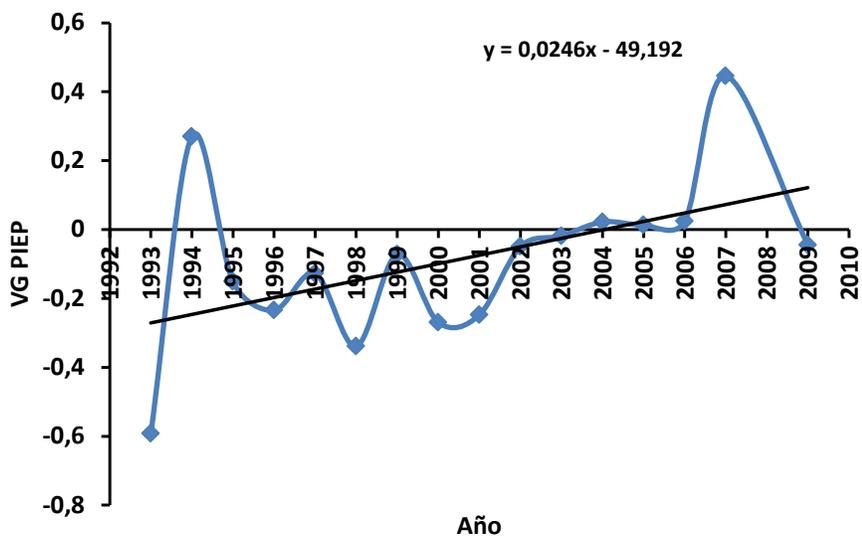


Figura 2. Tendencias genéticas para el primer intervalo entre partos (PIEP).

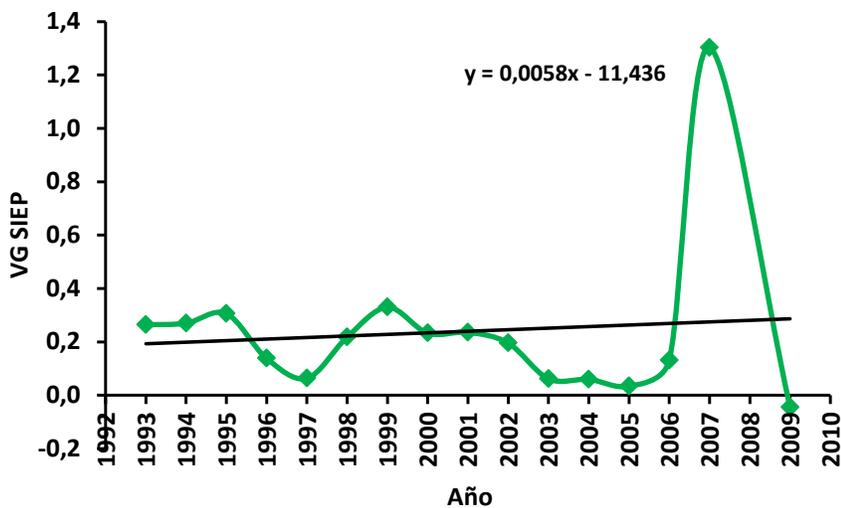


Figura 3. Tendencias genéticas para el segundo intervalo entre partos (SIEP).

## Discusión

### Descripción de los datos

La media obtenida ( $38,5 \pm 6,0$  meses) para la EPP fue similar ( $38,7 \pm 0,14$ ;  $37,7 \pm 10,1$ ;  $39,5 \pm 5,32$  y  $38,9 \pm 3,9$  meses) a lo reportado en ganado Romosinuano<sup>21</sup>, en Cebú<sup>22</sup>, en Indubrasil<sup>24</sup>, y en una población de ganado cruzado que poseía cruces de Cebú-Pardo Suizo, Cebú-Criollo, Cebú-Holstein y Sahiwal-Simmental<sup>32</sup>, respectivamente.

Edades al primer parto inferiores fueron reportadas en ganado Brahman<sup>8</sup> ( $36,3 \pm 4,9$ ), en Nelore<sup>3, 15</sup> ( $35,1 \pm 3,1$  y  $35,4 \pm 3,8$ ) y en la raza Hanwoo<sup>14</sup> ( $23,5 \pm 2,2$ ). Mientras que, en la raza Nelore se han reportaron edades superiores ( $45,1^1$  y  $41,9^{27}$  meses, respectivamente).

La EPP obtenida en esta investigación se considera buena, teniendo en cuenta el sistema de producción basado en pastoreo con gramíneas de mediana calidad nutricional y los factores ambientales que afectan la disponibilidad de forraje, determinado así la producción de leche de las madres y el crecimiento de las crías, lo cual confirma la capacidad de adaptación del cruce Angus-Brahman a las condiciones adversas, en cuanto a clima, disponibilidad y calidad de forraje, del trópico bajo colombiano. No obstante se puede obtener un valor mucho menor para esta característica asegurando una mejor alimentación y nutrición e implementando buenas prácticas de manejo para las novillas.

La media para el PIEP ( $18,4 \pm 3,70$  meses) fue similar ( $17,2 \pm 0,13$  y  $18,2 \pm 4,73$  meses) a la reportada en ganado Chianina<sup>1</sup> y en Blanco Orejinegro<sup>25</sup>. Mientras que en la raza en Sanmartinero<sup>18</sup>, Nelore<sup>27</sup> y en ganado cruzado<sup>31</sup> se encontraron mejores resultados ( $15,8 \pm 3,8$ ;  $15,3 \pm 3,2$  y  $15,6 \pm 0,3$  meses, respectivamente).

En cuanto la media del SIEP ( $17,6 \pm 2,77$  meses), se han reportado intervalos entre parto menores ( $16,2 \pm 4,4$  y  $15,1 \pm 0,13$  meses) en ganado en Blanco Orejinegro<sup>25</sup> y en Nelore<sup>27</sup>. Los amplios intervalos entre partos encontrados en este estudio, sugieren que se deben mejorar las condiciones de alimentación y manejo reproductivo de los animales, además de retar a las novillas a ser servidas a una menor edad, con el fin de mejorar la eficiencia reproductiva del hato.

### Efecto de raza

Los efectos genéticos directos de raza fueron estimados como desviaciones de Brahman (Tabla 2). El efecto

directo de raza para la EPP de esta población fue positivo ( $0,513$  años =  $187$  días) y no significativo ( $p > 0,05$ ). Esto indica que bajo las condiciones tropicales de esta población, las novillas Brahman o con altas proporciones de Brahman, tienen similares desempeños para EPP, respecto a animales Angus. Estos resultados difieren a los reportados para las razas Angus ( $-281 \pm 42$  días;  $p < 0,001$ ) y Blanco Orejinegro ( $-162 \pm 32$  días;  $p < 0,001$ ) respecto a la raza Brahman<sup>32</sup>.

Los efectos genéticos directos de raza fueron negativos para el PIEP ( $-0,687$  meses =  $21$  días) y positivo para SIEP ( $2,76$  meses =  $83$  días). Sin embargo, no se encontró efecto significativo ( $p > 0,05$ ) entre Angus respecto al Brahman. Estos resultados sugieren que el PIEP y SIEP de los animales Angus de esta población, serán similares a los de raza Brahman o con altas proporciones de Brahman. De igual manera en una población multirracial en Colombia<sup>32</sup>, no encontraron deferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para el PIEP ( $-6,9 \pm 51,5$  y  $-6,5 \pm 39,4$  días) y el SIEP ( $-94,9 \pm 50,1$  y  $18,4 \pm 32,3$  días) en animales Angus y Blanco Orejinegro desviados del Cebú, respectivamente. Aunque, los animales Bos taurus tienden a ser más precoces respecto a los Bos indicus<sup>20</sup>, en este estudio no se encontró diferencia significativa para ninguna de las características estudiadas para el efecto de raza, lo cual sugiere que las condiciones del trópico bajo en que se encuentra el sistema de producción, afectan el desempeño reproductivo de los animales con altas proporciones de Angus.

### Efecto de heterosis

El estimado de heterosis directa para EPP fue negativo ( $-0,81$  años =  $-294$  días;  $p < 0,001$ ). Este valor sugiere que la EPP está influenciada por los efectos genéticos no aditivos interraciales, por lo que el cruzamiento entre las razas evaluadas es una alternativa para mejorar la EPP. Este resultado es mejor al reportado en una población de ganado multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú ( $-26,0 \pm 21,0$  días) en Colombia<sup>32</sup> y en F1 Pardo Suizo-Cebú ( $-76 \pm 17$  días) en México<sup>17</sup>.

Los efectos de heterosis directa para el PIEP ( $-1,74$  meses =  $-52$  días) y SIEP ( $-1,23$  meses =  $-37$  días) del presente estudio no fueron significativos ( $p > 0,05$ ), lo cual indica que el cruzamiento no tuvo efecto sobre el PIEP y SIEP. De igual manera, no se encontró efecto de heterosis directa en una población de ganado multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú en Colombia<sup>32</sup>.

### Heredabilidades, correlaciones genéticas y fenotípicas

El valor de heredabilidad para la EPP (Tabla 3) fue similar al reportado en las razas Angus ( $0,28 \pm 0,06$ ) en USA<sup>4</sup>, Brahman ( $0,30 \pm 0,04$ ) en Colombia<sup>6</sup>, Nelore ( $0,27 \pm 0,15$ ) en Brasil<sup>9</sup>, Sanmartinero ( $0,34 \pm 0,22$ ) en Colombia<sup>18</sup> y en ganado de carne ( $0,30$ ) en Irlanda<sup>2</sup>. Varios trabajos realizados en las razas Brahman e Indubrasil bajo condiciones tropicales, reportan valores de heredabilidad para EPP superiores ( $0,46 \pm 1,4$  y  $0,39 \pm 0,19$ ) a los del presente estudio<sup>8, 24</sup>.

El valor estimado de heredabilidad para la EPP de este estudio se considera moderado. La mayoría de valores reportados en la literatura para esta característica son bajos, lo cual se atribuye a la influencia ambiental que se ejerce sobre esta característica o que la reproducción esta mayormente controlada por efectos genéticos no aditivos, por lo que no se espera que haya una buena respuesta a la selección para este carácter<sup>15, 21, 25</sup>.

El valor de heredabilidad obtenido en este estudio para el PIEP y SIEP fue bajo (Tabla 3). Este valor es similar al encontrado en una población de bovinos cruzados de las razas Angus-Blanco Orejinegro-Cebú<sup>32</sup> (PIEP =  $0,11 \pm 0,006$  y SIEP =  $0,18 \pm 0,11$ ) y en ganado Brahman<sup>6</sup> (PIEP =  $0,11 \pm 0,03$ ). De igual manera, otros autores reportan valores de heredabilidad bajos ( $0,03 \pm 0,13$  y  $0,13 \pm 0,014$ ) para el PIEP en las razas Nelore<sup>1</sup> y Chianina<sup>9</sup>, respectivamente.

Los valores de heredabilidad encontrados para el PIEP y SIEP, indican que este parámetro está altamente influenciado por factores ambientales. Por lo tanto, se podría afirmar que la respuesta a la selección directa para estos caracteres en pocas generaciones será leve, así que la estrategia de mejoramiento para esta población sería, además de la selección, implementar mejores sistemas de manejo alimenticio y reproductivo.

La correlación genética entre EPP-PIEP encontrada fue positiva y alta ( $0,85 \pm 0,40$ ; Tabla 3), indicando que al seleccionar para disminuir la EPP se podría reducir el PIEP, considerando que aunque la correlación es alta, el error estándar también es alto. Este valor es mayor al reportado en ganado multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú<sup>32</sup> ( $0,33$ ). Una correlación negativa fue encontrada en la raza Nelore<sup>9</sup> ( $-0,92$ ).

La correlación genética entre EPP-SIEP fue baja ( $-0,07 \pm 0,23$ ; Tabla 3), sugiriendo esto que hay poca asociación genética entre estos caracteres y que al seleccionar hembras más precoces, poco se logrará en la disminución

del segundo intervalo entre partos. Resultados superiores ( $0,40 \pm 0,36$  y  $0,97$ ) fueron reportados en una población multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú<sup>32</sup> y en ganado Nelore<sup>9</sup>. La correlación genética entre PIEP-SIEP fue positiva, aunque baja ( $0,16 \pm 0,23$ ; Tabla 3), por lo que es recomendable seleccionar vacas con un PIEP corto para obtener un SIEP también corto.

Las correlaciones fenotípicas entre EPP-PIEP, EPP-SIEP y PIEP-SIEP fueron cercanas a cero ( $-0,02 \pm 0,08$ ,  $-0,05 \pm 0,29$  y  $0,02 \pm 0,19$ , respectivamente), por lo tanto se puede afirmar que las variables estudiadas no se encuentran correlacionadas (tabla 3). Estos valores son inferiores ( $0,40 \pm 0,04$ ; EPP-PIEP), pero similares ( $0,09 \pm 0,05$ ; EPP-SIEP y  $0,09 \pm 0,05$  PIEP-SIEP) a los reportadas en ganado cruzado Angus-Blanco Orejinegro-Cebú<sup>32</sup>.

### Tendencias genéticas

La tendencia genética para EPP fue no significativa ( $p > 0,05$ ; Tabla 4), indicando que durante el periodo evaluado para esta característica no hubo progreso genético. Estos valores presentaron un comportamiento muy variable durante el periodo evaluado (Figura 1).

Reducciones significativas ( $-6,26$  días/año;  $p < 0,001$ ) de la EPP fueron reportadas en ganado multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú<sup>32</sup>. Mientras que, en vacas Nelore se reportó una tendencia baja<sup>15</sup> ( $0,06$  días/año); sin embargo, los autores a pesar de obtener valores bajos para esta característica, consideraron que el progreso genético debe ser tenido en cuenta, ya que los cambios genéticos fueron estables, permanentes y acumulativos.

Las tendencias genéticas anuales para el PIEP y SIEP fueron positivas (Tabla 4), siendo la tendencia genética para el PIEP cercana a cero, pero significativa ( $p < 0,05$ ), mientras que para el SIEP no fue significativa ( $p > 0,05$ ). Estos valores fueron superiores, en términos matemáticos, mas no productivos, respecto a los reportados en una población multirracial Angus-Blanco Orejinegro-Cebú, en la que se obtuvieron para PIEP un valor de  $-0,32 \pm 0,09$  ( $p < 0,01$ ) días/año y de  $-1,16 \pm 0,48$  ( $p < 0,05$ ) días/año para SIEP<sup>32</sup>.

El PIEP presentó valores genéticos negativos en el año 1993 y desde 1995 hasta el 2003, con un aumento considerable en el año 1994 y 2007 (Figura 2). Mientras que, el SIEP presentó valores genéticos positivos durante todo el periodo de estudio (Figura 3). En términos generales, las tendencias genéticas estimadas fueron cercanas a cero, lo cual sugiere que durante los

años de estudio no hubo progreso genético para estas características en la población, por lo que un programa de mejoramiento genético para estas características necesita ser implementado.

## Conclusiones

La heredabilidad estimada para EPP, sugiere que a través de la selección se puede lograr progreso genético para esta característica en la población estudiada. Las heredabilidades para PIEP y SIEP, sugieren que además de la selección se debe mejorar las condiciones de nutrición y manejo en el periodo periparto para disminuir los intervalos entre partos en la población. Las tendencias genéticas indican que, la intensidad de selección aplicada a esta población multirracial para características reproductivas estudiadas no fue suficiente para influir sobre los valores de cría durante los años de estudio.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios y personal administrativo de la Hacienda Abastecedora S.A, por facilitar la información para el desarrollo de ésta investigación.

## Referencias

1. Azevêdo DM, Filho R, Bozzi R, Forabosco F, Malhado CH. Parâmetros genéticos e fenotípicos do desempenho reprodutivo de fêmeas Chianina. *R Bras Zootec* 2006b; 35(3): 982-987.
2. Berry DP, Evans RD. Genetics of reproductive performance in seasonal calving beef cows and its association with performance traits. *J Anim Sci* 2014; 92(4): 1412-1422.
3. Boligon AA, Baldi F, Albuquerque LG. Genetic correlations between heifer subsequent rebreeding and age at first calving and growth traits in Nellore cattle by Bayesian inference. *Genet Mol Res* 2012; 11(4): 4516-4524.
4. Bormann MJ, Wilson DE. Calving day and age at first calving in Angus heifers. *J Anim Sci* 2010; 88(6): 1947-1956.
5. Casas E, Tewolde A. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos de carne en el trópico húmedo. *Arch Latinoam Prod Anim* 2001; 9(2): 68-73.
6. Duitama O, González L, Garcia D, Farah M, Da Fonseca R. Productividad acumulada y su relación genética con características reproductivas en hembras Brahman. *Rev MVZ Córdoba* 2013; 18(Supl): 3658-3664.
7. Elzo MA, Wakeman DL. Covariance components and prediction for additive and nonadditive preweaning growth genetic effects in an Angus-Brahman multibreed herd. *J Anim Sci* 1998; 76(5): 1290-1302.
8. Estrada-León RJ, Magaña JG, Segura-Correa JC. Parámetros genéticos para caracteres reproductivos de vacas Brahman en un hato del sureste de México. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2008; 8(3): 259-263.
9. Gressler MG, Pereira JC, Bergmann JA, Andrade VJ, Paulino MF, Gressler SL. Aspectos genéticos do peso à desmama e de algumas características reprodutivas de fêmeas Nelore. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2005; 57(4): 533-538.
10. Harville DA. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. *J Am Stat Assoc* 1977; 72(358): 320-340.
11. Henderson CR. Multiple traits sire evaluation using the relationship matrix. *J Dairy Sci* 1976; 59(4): 769-774.
12. Henderson CR, Quaas RL. Multiple trait evaluation using relative's records. *J Anim Sci* 1976; 43(6): 1188-1197.
13. Holanda MCR, Barbosa SBP, Ribeiro AC, Santoro KR. Tendências genéticas para crescimento em bovinos Nelore em Pernambuco, Brasil. *Arch Zootec* 2004; 53(202): 185-194.
14. Hyeong KE, Iqbala A, Kim JJ. A genome wide association study on age at first calving using high density single nucleotide polymorphism chips in Hanwoo (*Bos taurus coreanae*). *Asian-Australas J Anim Sci* 2014; 27(10): 1406-1410.
15. Laureano MMM, Boligon AA, Costa RB, Forni S, Severo JL P e Albuquerque LG. Estimativas de herdabilidade e tendências genéticas para características de crescimento e reprodutivas em bovinos da raça Nelore. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2011; 63(1): 143-152.

16. Lindgren BW. Statistical theory. Third ed. Macmillan Publishing Co. Inc., New York. 1976.
17. Magaña JG, Segura JC. Heritability and factors affecting growth traits and age at first calving of Zebu beef heifers in south-eastern Mexico. *Trop Anim Health Prod* 1997; 29: 185–192.
18. Martínez-Villate GC, Martínez-Correal G, Manrique-Perdomo C. Estimación de parámetros genéticos de edad al primer parto e intervalo entre partos de vacas criollas Sanmartineras (SM). *Orinoquia* 2009; 13(2): 113-125.
19. Misztal I. BLUPF90 - a flexible mixed model program in Fortran 90. University of Georgia, pp. 1–24. <http://nce.ads.uga.edu/html/projects/>; 1997.
20. Nogueira GP. Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. *Ani Reprod Sci* 2004; 82–83: 361–372.
21. Ossa GA, Suárez MA, Pérez JE. Factores ambientales y genéticos que influyen la edad al primer parto y el intervalo entre partos en hembras de la raza criolla Romosinuano. *Rev Corpoica Cien y Tecno Agrop* 2007; 8(2): 74-80.
22. Pérez MP, Guerra D, González-Peña D. Parámetros genéticos del crecimiento y la reproducción en ganado Cebú. *Rev Med Vet* 2009; (17): 77-84.
23. Quaas RL, Pollak EJ. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. *J Anim Sci* 1980; 51(6): 1277–1287.
24. Ríos-Utrera Á, Hernández-Hernández VD, Amezcua-Manjarréz E, Zárate-Martínez JP. Heredabilidad de características reproductivas de vacas Indubrasil. *Agron Mesoam* 2013; 24(2): 293-300.
25. Rocha JF, Gallego JL, Vásquez RF, Pedraza JA, Echeverri J, Cerón-Muñoz MF, Martínez R. Estimación de parámetros genéticos para edad al primer parto e intervalo entre partos en poblaciones bovinas de la raza Blanco Orejinegro (BON) en Colombia. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2012; 25(2): 220-228.
26. SAS/STAT: Guide for Personal Computer [programa de ordenador]. Versión 9.1.3 Cary (NC): SAS Institute Incorporation; 2007.
27. Silveira JC, McManus C, Mascioli A, Silva LO, Silveira AC, Garcia JA, Louvandini H. Fatores ambientais e parâmetros genéticos para características produtivas e reprodutivas em um rebanho Nelore no estado do Mato Grosso do Sul. *Rev Bras Zootec* 2004; 33(6): 1432-1444.
28. Suárez M, Ossa GA, Pérez J. Factores ambientales y genéticos que influyen sobre la edad al primer parto en hembras de la raza Romosinuano. *Rev MVZ Córdoba* 2006; 11(1): 738-743.
29. Torres-Vázquez JA, Valencia-Posadas M, Castillo-Juárez H, Montaldo HH. Tendencias genéticas y fenotípicas para características de producción y composición de la leche en cabras Saanen de México. *Rev Mex Cienc Pec* 2010; 1(4): 337-348.
30. Tsuruta S. A modification of REMLF90. with computing by the Average-Information Algorithm. University of Georgia, pp. 1–2. <http://nce.ads.uga.edu/html/projects/Readme.aireml.>; 1999.
31. Vergara OD, Botero L, Martínez C. Factores ambientales que afectan la edad al primer parto y primer intervalo de partos en vacas del sistema doble propósito. *Rev MVZ Córdoba* 2009a; 14 (1): 1594-1601.
32. Vergara OD, Elzo MA, Cerón-Muñoz MF. Genetic parameters and genetic trends for age at first calving and calving interval in an Angus-Blanco Orejinegro-Zebu multibreed cattle population in Colombia. *Livest Sci* 2009b; 126: 318-322.
33. Weber T, Rorato PRN, Lopes JS, Comin JG, Dornelles MA, de Araújo RO. Parâmetros genéticos e tendências genéticas e fenotípicas para características produtivas e de conformação na fase pré-desmama em uma população da raça Aberdeen Angus. *Rev Bras Zootec* 2009; 38(5): 832-842.