

Heredabilidad y tendencias genéticas para caracteres del crecimiento en bovinos criollos

Gustavo Alfonso Ossa Saraz   Jorge Leonardo López Martínez   Martha Oliva Santana Rodríguez¹  
Jorge Luis Garcés Blanquiceth  

Centro de Investigación Turipaná. Montería, Córdoba. Colombia

Heritability and genetic trends for growth characteristics in Romosinuano creole cattle

Abstract. The heritability and genetic trends were estimated for birth weight, weaning, and 16 months of age of Colombian Creole cattle Romosinuano, to identify the genetic variability of the three characters. 4 032 records from 5 616 animals, including parents and descendants, obtained in the period from 1943 to 2018 at the Turipaná Research Center, were used. Six mixed animal models were adjusted for each character, using univariate analysis. The models included the contemporary group and the number of births as fixed effects, and as random effects, the effect of the animal, the maternal effect, and the effect of the permanent maternal environment, obtaining from the heritability estimates of the characteristics analyzed. Genetic trends were estimated by simple linear regression of the average genetic values over the year of birth of cattle. The heritability estimates for direct effects were higher than maternal heritability values, while the total heritability for birth weight, weaning and 16 months were equal to 0.17 ± 0.03 , 0.09 ± 0.02 and 0.06 ± 0.03 respectively, which indicates that large part of the variation in weights in the three ages is due to environmental factors more than genetic differences between the individuals analyzed. Genetic trends indicate that these three characters maintain variability through the years in the population studied.

Keywords: conservation of genetic resources, direct heritability, indigenous race, maternal heritability, productive behavior.

Resumen. Se estimaron las heredabilidades y las tendencias genéticas para los caracteres de peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad de bovinos criollos colombianos Romosinuano, con el fin de identificar la variabilidad genética de los tres caracteres. Se utilizaron 4 032 registros provenientes de 5 616 animales incluidos padres, madres y descendientes, obtenidos en el periodo comprendido entre los años 1943 al 2018 en el Centro de Investigación Turipaná. Se ajustaron seis modelos animales mixtos para cada carácter, mediante el análisis univariado. Los modelos incluyeron el grupo contemporáneo y el número de parto como efectos fijos, y como efectos aleatorios el efecto del animal, el efecto materno y el efecto del ambiente materno permanente, obteniéndose a partir de estos las estimativas de heredabilidad de los caracteres estudiados. Las tendencias genéticas fueron estimadas mediante regresión lineal simple del promedio de los valores genéticos sobre el año de nacimiento de los bovinos. Las estimaciones de heredabilidad para efectos directos fueron mayores a los valores de heredabilidad materna, mientras que la heredabilidad total para el peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses, fueron 0.17 ± 0.03 , 0.09 ± 0.02 y 0.06 ± 0.03 respectivamente, lo que indica que gran parte de la variación de los pesos en las tres edades se debe a factores ambientales más no a diferencias genéticas entre los individuos analizados. El coeficiente de regresión para las tendencias genéticas presentó valores tanto positivos como negativos y cercanos a cero. Como las estimativas de las heredabilidades de los caracteres estudiados fueron bajas indica que gran parte de la variación no se debe a factores genéticos sino a otros factores; las tendencias genéticas indican que estos tres caracteres mantienen la variabilidad a través de los años en la población estudiada.

Palabras claves: comportamiento productivo, conservación de recursos genéticos, heredabilidad directa, heredabilidad materna, raza autóctona.

Introducción

El inicio de la ganadería bovina colombiana ocurrió el 29 de julio de 1525, cuando Rodrigo de Bastidas desembarcó en la bahía de Santa Marta 200 hembras y los toros suficientes para su reproducción, los cuales se extendieron por todo el país, así como también por la introducción de otros bovinos por diferentes rutas. A

finales del año 1935 el gobierno de la época optó por un programa de conservación y preservación de la raza Romosinuano adquiriendo para este propósito 258 hembras y 12 toros provenientes de nueve propiedades, y se inició un programa de registros de caracteres productivos y reproductivos de los animales

(Ossa et al., 2013) el cual se continuó desde 1962 en el Centro de Investigación Turipaná hasta el presente.

El Romosinuano presenta gran aptitud para la producción cárnica producto de los caracteres adaptativos de importancia económica, la eficiencia reproductiva, tolerancia a enfermedades y parásitos, habilidad para soportar condiciones extremas de temperatura y humedad, y capacidad para utilizar pastos fibrosos (Martínez, et al, 2009), Además, su adaptación al trópico, alta fertilidad y docilidad, se consideran elementos clave para nuevos usos o potenciar su utilización en programas de cruzamiento (Florio, 2008). También ha sido objeto de estudios donde se han evaluado sus caracteres productivos, reproductivos (Martínez y Pérez, 2006) y el rendimiento en canal obtenido en plantas de sacrificio (Ossa et al, 2013).

Dentro de las características de importancia económica para el sistema de producción de carne bovino, el crecimiento tiene un lugar preferencial (Martínez et al., 2006); se han identificado muchos factores que influyen sobre este, siendo estos de orden genético, alimenticio, parasitario, entre otros (De las Heras et al., 2008). De otro lado, el crecimiento de los animales se mide mediante el peso a diferentes edades.

Un programa de conservación y preservación de cualquier raza tiene como objetivo mantener la variabilidad genética de la población, la cual puede ser comprobada mediante varios procedimientos, tales como: el coeficiente de consanguinidad, el tamaño de la población efectiva, y/o las tendencias genéticas.

Lush (1964) consideraba que cuando el coeficiente de consanguinidad promedio de una población fuera del 6%, era el punto de parar, mirar y escuchar, ya que indica que un alto porcentaje de los individuos de dicha población son primos hermanos; el tamaño efectivo de la población basada en el coeficiente de consanguinidad estimada por la regresión entre generaciones es una buena medida de la conservación y preservación de una raza. La heredabilidad, la repetibilidad, la correlación y las tendencias genéticas son los parámetros genéticos que sirven para evaluar las precisiones de las predicciones del valor genético de los animales y las respuestas genéticas de un plan y/o programa de mejoramiento genético y programas de conservación de una raza en particular (Ossa, 2017).

La heredabilidad de un carácter significa qué parte de la variación de este en la población se debe a factores genéticos y cuanto se debe a otras variaciones, y además indica cual es el método de selección más adecuado para mejorar dicho carácter (Ossa, 2017; Quijano y Echeverri, 2015; Domínguez-Viveros, et al. (2017)).

En la raza Romosinuano las estimativas de heredabilidad para el carácter peso al nacimiento han sido de 0.17 ± 0.06 para efectos directos y 0.087 ± 0.03 para efectos materno (Ossa et al., 2005). Las heredabilidades para peso al destete han sido de 0.10, 0.09 y 0.20 (Elzo et al., 1998; Manrique et al., 1996; Ossa et al., 1998) respectivamente, para los efectos directos de 0.17 ± 0.06 y 0.14 ± 0.05 y para efectos maternos de 0.087 ± 0.03 y 0.12 ± 0.03 (Manrique et al., 1996; Ossa et al., 2005). Para el peso a 16 meses de edad las heredabilidades reportadas para efecto directo, materno y total fueron de 0.33 ± 0.06 , 0.10 ± 0.04 y 0.38 respectivamente (Martínez y Pérez, 2006).

Las tendencias genéticas estimadas mediante regresión lineal simple del promedio de los valores genéticos sobre el año de nacimiento de los bovinos son un buen mecanismo para determinar si dentro de la población analizada se ha mantenido la variabilidad genética o ha existido mejoramiento genético, además de que permiten demostrar la efectividad de los programas de mejoramiento genético mediante la selección.

Con el fin de obtener mayor conocimiento sobre la raza criolla colombiana Romosinuano es indispensable estimar la heredabilidad de los caracteres de crecimiento utilizando metodologías que permitan predecir valores genéticos con adecuada precisión. Esto permitirá además de conservar un recurso genético tan importante, adoptar una actitud de evolución entre las fuerzas naturales (que permitieron la capacidad adaptativa de la raza) y el avance productivo (De Alba, 2003), siendo este último el ejercido por el criador al incorporar técnicas de mejoramiento genético. Por tanto, el objetivo del presente estudio consistió en estimar los parámetros genéticos (heredabilidad y valores genéticos) para caracteres de crecimiento en bovinos criollos Romosinuano, así como también calcular sus tendencias genéticas con el fin de verificar si se ha mantenido la variabilidad genética de la raza en el banco de germoplasma.

Metodología

Origen y características de los datos

Los datos genealógicos y productivos del ganado Romosinuano utilizados para llevar a cabo el estudio se obtuvieron del Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA), registrados durante el periodo comprendido entre los años de 1943 al 2018 en el Centro de Investigación Turipaná.

El hato Romosinuano en el Centro de Investigación Turipaná desde sus inicios ha sido manejado bajo el régimen de pastoreo. Actualmente predominan las gramíneas Angleton (*Dichanthium aristatum*) y Tanzania (*Megathyrus maximus* cv Tanzania). Los animales reciben sal mineralizada y agua a voluntad en sus respectivas praderas. Durante la época de sequía a los animales se les suministra ensilaje de maíz (*Zea mays*) para cubrir el déficit de forraje y ocasionalmente, pastorean en sistemas silvopastoriles compuestos por especies gramíneas, leguminosas herbáceas, especies arbustivas de ramoneo y árboles que aportan frutos o semillas que también son consumidos por los bovinos.

Los caracteres estudiados fueron los pesos al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad, siendo estos dos últimos pesos ajustados a los 240 y 480 días, respectivamente. Los pesos usados en el análisis fueron obtenidos de animales con medidas registradas entre los años de 1943 al 2019. Utilizando los meses en que el animal nació, fue destetado y alcanzó los 16

meses de edad, se formaron tres clases definidas como meses de época de lluvia (meses de julio a septiembre), de transición (meses de abril a junio y de octubre a diciembre) y de sequía (meses de enero a marzo). A partir de estas mismas variables (año y época) y teniendo en cuenta la variable sexo (macho o hembra), se conformaron los denominados grupos contemporáneos (año-época-sexo).

En la depuración de datos se tuvieron en cuenta los animales con padres conocidos, siendo considerados como padres representativos aquellos que tuvieran cinco descendientes en adelante. También se consideraron únicamente grupos contemporáneos con más de cinco observaciones para cada uno de los pesos. Para llevar a cabo la depuración fueron empleados los paquetes dplyr (Wickham et al., 2019a), tidyr (Wickham et al., 2019b) y stringr (Wickham et al., 2019) del software R 3.6.0 (R Core Team, 2019) especializado en el análisis estadístico de datos. Los datos genealógicos fueron depurados usando el paquete pedantics (Morrissey y Wilson, 2009) del mismo software estadístico.

La información final utilizada incluyó 4 032 registros de peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses. El archivo de pedigrí consistió en información registrada entre los años de 1943 al 2018, con un total de 5 616 animales (incluidos padres, madres y descendientes). Una descripción general de la estructura de la base de datos depurada se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estructura de la información para caracteres de crecimiento en terneros de la raza Romosinuano del Centro de Investigación de Turipaná.

Concepto	Peso al nacimiento	Peso al destete	Peso a los 16 meses
Registros de crecimiento, No.	4 032	4 032	4 032
Grupos contemporáneos, No.	194	201	187
Padres, No.	230	230	230
Madres, No.	1 649	1 649	1 649

Análisis estadístico

Con el propósito de establecer el modelo de mejor ajuste para el análisis univariado del peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad, el análisis estadístico fue dividido en dos pasos consecutivos. En primer lugar, se usaron medidas de bondad de ajuste una vez fueron ajustados distintos modelos de regresión múltiple, con el fin de identificar efectos fijos (o ambientales) importantes. Estas medidas fueron el R^2 ajustado, el estadístico C_p de Mallows y el criterio de información Bayesiano, los cuales permiten estimar componentes de varianza genéticos bajo un modelo parsimonioso (Burnham y Anderson, 2004; Corrales, 2016). De acuerdo con el

resultado obtenido se consideró incluir como efectos fijos en la modelación al número de parto de la vaca y a los grupos contemporáneos (cuya estructura se describió con anterioridad).

Una vez se seleccionó el mejor modelo (parsimonioso y con buena bondad de ajuste) para efectos fijos, mediante métodos gráficos se evaluaron las condiciones de normalidad y homocedasticidad de los residuos para cada uno de los pesos. Esto se llevó a cabo usando el paquete cannoball (Vanhove, 2018) del software estadístico R. Como resultado de este se verificó el cumplimiento de dichos supuestos (figura 1).



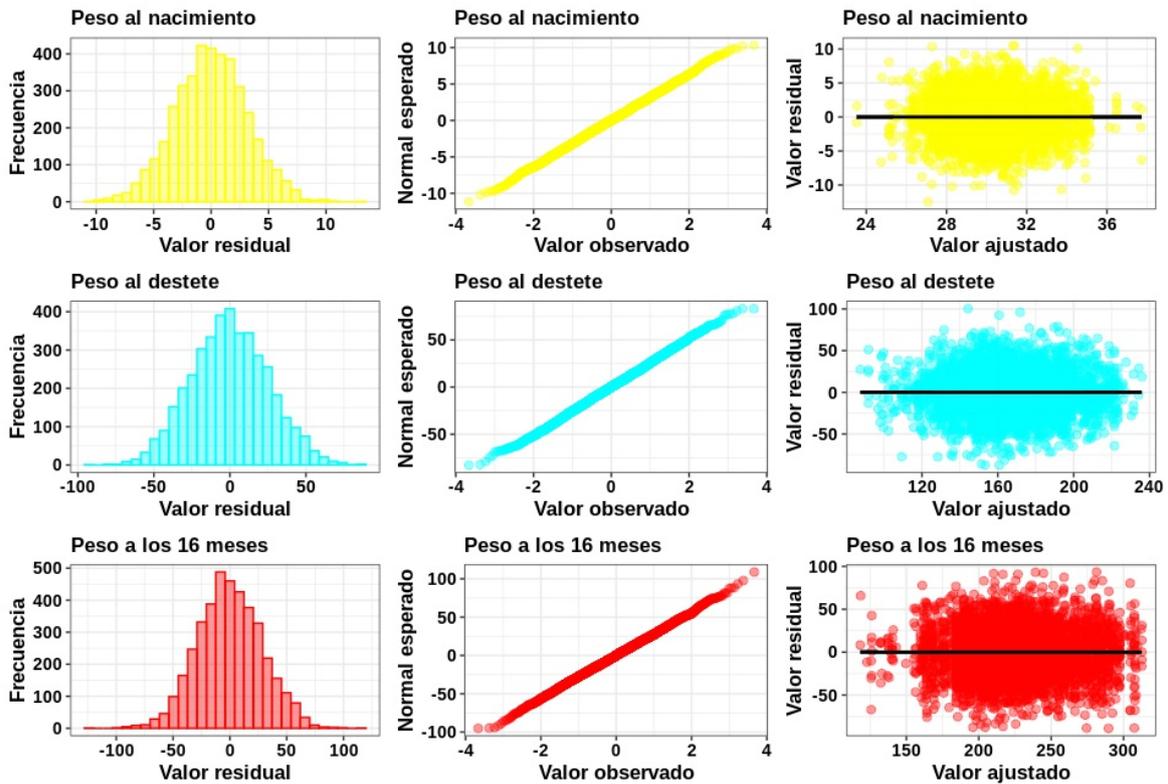


Figura 1. Resultado del análisis de los supuestos del modelo de regresión (normalidad y homogeneidad de varianza) para los distintos pesos en ganado criollo colombiano Romosinuano en el C.I. Turipaná.

El segundo paso consistió en la selección de efectos aleatorios importantes. Para esto fueron ajustados distintos modelos univariados para cada uno de los pesos haciendo uso de la familia de programas blupf90 (Misztal et al., 2018), considerando la estructura de efectos fijos del modelo óptimo previamente elegido. Dicha selección se llevó a cabo por comparación estadística entre pares de modelos, haciendo uso del criterio de información de Akaike calculado por el mismo programa blupf90. Dicho criterio precisa que el modelo con el menor valor es considerado como el de mejor ajuste (Acuña, Domínguez y Toro, 2012).

Los modelos animales univariados usados (en notación matricial) fueron los siguientes:

$$y = Xb + Z_1 a + e \quad [1]$$

$$y = Xb + Z_a a + Z_m m + e \text{ con } \text{cov}(a, m) = 0 \quad [2]$$

$$y = Xb + Z_a a + Z_m m + e \text{ con } \text{cov}(a, m) = A_{am} \quad [3]$$

$$y = Xb + Z_a a + Z_c c + e \quad [4]$$

$$y = Xb + Z_a a + Z_m m + Z_c c + e \text{ con } \text{cov}(a, m) = 0 \quad [5]$$

$$y = Xb + Z_a a + Z_m m + Z_c c + e \text{ con } \text{cov}(a, m) = A_{am} \quad [6]$$

donde y es un vector de observaciones para las características de crecimiento (peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad); b , a , m y c son los vectores de efectos fijos (número de parto y grupo contemporáneos), efectos genéticos aditivos directos, efectos genéticos aditivos maternos y efectos ambientales permanentes maternos, respectivamente; X , Z_a , Z_m y Z_c son las correspondiente matrices de incidencia que relacionan los efectos fijos, genéticos aditivos directos, genéticos aditivos maternos y ambientales permanentes maternos con el vector de observaciones y , respectivamente; e es el vector de efectos residuales; $_am$ es la covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; A es la matriz de correlaciones genéticas aditivas entre los individuos.

La varianza y la estructura de (co)varianza para los efectos aleatorios fueron:

$$V(a) = A\sigma_a^2, V(m) = A\sigma_m^2, V(c) = I_d\sigma_c^2, V(e) = I_n\sigma_e^2, \\ \text{cov}(a, m) = A\sigma_{am}$$

donde σ_a^2 es la varianza genética aditiva directa; σ_m^2 es la varianza genética aditiva materna; σ_c^2 es la varianza ambiental materna permanente; σ_e^2 es la varianza residual; I_d e I_n son la matrices de identidad con un orden igual al número de madres y de

registros respectivamente; A y σ_{am} fueron descritos previamente.

Estos modelos asumen, para los efectos aleatorios, las siguientes distribuciones:

$$(a, m) \sim N((0, 0), G_o \otimes A)$$

$$c \sim N(0, I_d \cdot c^2)$$

$$e \sim N(0, I_n \cdot e^2)$$

siendo $G_o = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & \sigma_{am} \\ \sigma_{am} & \sigma_m^2 \end{bmatrix}$ la matriz de (co)varianzas

de los efectos genéticos aditivos; A , I_d , I_n , c^2 y e^2 fueron descritos previamente; N es el supuesto que establece que los efectos aleatorios se distribuyen de forma normal, con media cero (0) y varianza igual a como fue descrita.

Con base en los modelos seleccionados mediante el proceso anterior se estimaron los componentes de varianza y los parámetros genéticos para los tres caracteres de crecimiento haciendo uso de la familia de programas blupf90 ya mencionado. El modelo univariado se obtuvo con un criterio de convergencia, basado en la función verosimilitud (-2logL), de $1 \times 10^{(-12)}$

con aproximadamente 111 iteraciones. En razón a que la familia de programas blupf90 no permitió calcular el error estándar de la heredabilidad (h^2), se calculó el error estándar aproximado de la misma con el método a mano descrito a continuación (Swiger et al., 1964):

$$\text{errorestándar}(h^2) = 4 \sqrt{\frac{2x(n-1)x(1-t)^2x[1+(k-1)xt]^2}{k^2x(n-s)x(s-1)}}$$

donde n es el número total de crías; k es el número ponderado de crías por reproductor dada la expresión:

$$\frac{1}{(R-1)x} \left[n - \left(\frac{\sum n_i^2}{n} \right) \right]$$

siendo R igual al número de reproductores, n al número total de crías y n_i al número de crías por reproductor; s es el número total de reproductores; y t es el coeficiente de correlación intraclase dada la expresión: $\left(\frac{1}{4} \right) x h^2$

Finalmente, haciendo uso de los resultados del análisis univariado, se calcularon las tendencias genéticas directas y maternas para las estimaciones de peso al nacimiento, al destete, y a los 16 meses de edad, mediante regresión lineal del promedio de los valores genéticos directos y maternos sobre el año de nacimiento.

Resultados y Discusión

El promedio general del peso al nacimiento de los bovinos de la raza Romosinuano fue de 30.33 ± 3.61 kg, (figura 2), siendo similar a 30.65 kg obtenido por Ossa et al. (2005) y ligeramente mayor que 29.2 kg (Abadía, 1976); también ligeramente mayor a la medida de peso al nacimiento obtenido en la raza criolla colombiana Blanco Orejinegro (27.54 ± 3.72 kg) y similar al de otra raza criolla como el Costeño con Cuernos (29.30 ± 3.6 kg) (Martínez y Gallego, 2012; Ossa et al., 2011). En general, al peso al nacimiento se le considera como una señal de la capacidad de la vaca de parir crías de tamaño ideal para evitar partos anormales o distócicos, siendo la misma uno de los caracteres más importantes en programas de selección (Martínez et al., 2012). Cabe señalar que gran parte de los trabajos realizados en las razas criollas colombianas demuestran que una de sus características más comunes e ideales es la producción de crías de bajo peso al nacimiento que contribuye a menor intervalo entre partos debido a la rápida involución uterina y a la reducción en el tiempo parto - nueva concepción (Hernández, 1970).

El peso al destete en la población de bovinos Romosinuano del presente estudio, presentó un valor promedio de 165.72 ± 34.46 kg (figura 2), valor menor

a los 182.88 ± 0.67 kg obtenidos en estudios previos de la misma raza, pero con menor número de registros ya que esta se evaluó el periodo 1980 a 2001 (Ossa et al., 2005). También el valor es menor al de otras razas bovinas como la Blanco Orejinegro (196.3 ± 31.4 kg), el Costeño con Cuernos (173.27 ± 23.71 kg) y la Lucerna (222 kg) (Cañas et al., 2008; Ossa et al., 2011; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2003) y mayor al de otras razas criollas colombianas como la Casanare (154 kg) y la Sanmartinero (161.13 ± 25.91 kg) (Martínez, 1999; Godoy y Rojas, 2008).

Con relación al peso a los 16 meses de edad, se encontró un promedio general de 226 ± 44 kg y un coeficiente de variación de 19.58 % (figura 2). En términos generales, no es mucha la diferencia en valor promedio del peso a los 16 meses de edad del presente estudio comparado con el de otras razas criollas colombianas como el Costeño con Cuernos, el Romosinuano (en estudios previos) y el Blanco Orejinegro, cuyos valores oscilaron entre 228.36 ± 27.64 a 269.65 ± 53.58 kg respectivamente (Vásquez et al., 2006; Ossa et al., 2011; Correa et al., 2011). Cabe destacar que después del destete, la cría bovina deja de lado la protección por parte de la madre y debe usar sus propios méritos para proveerse de alimento,

por lo cual, los pesos individuales como el peso a los 16 meses de edad indica el mérito genético propio del

individuo (Ossa et al., 2011) y es de gran importancia en sistemas de producción en pastoreo.

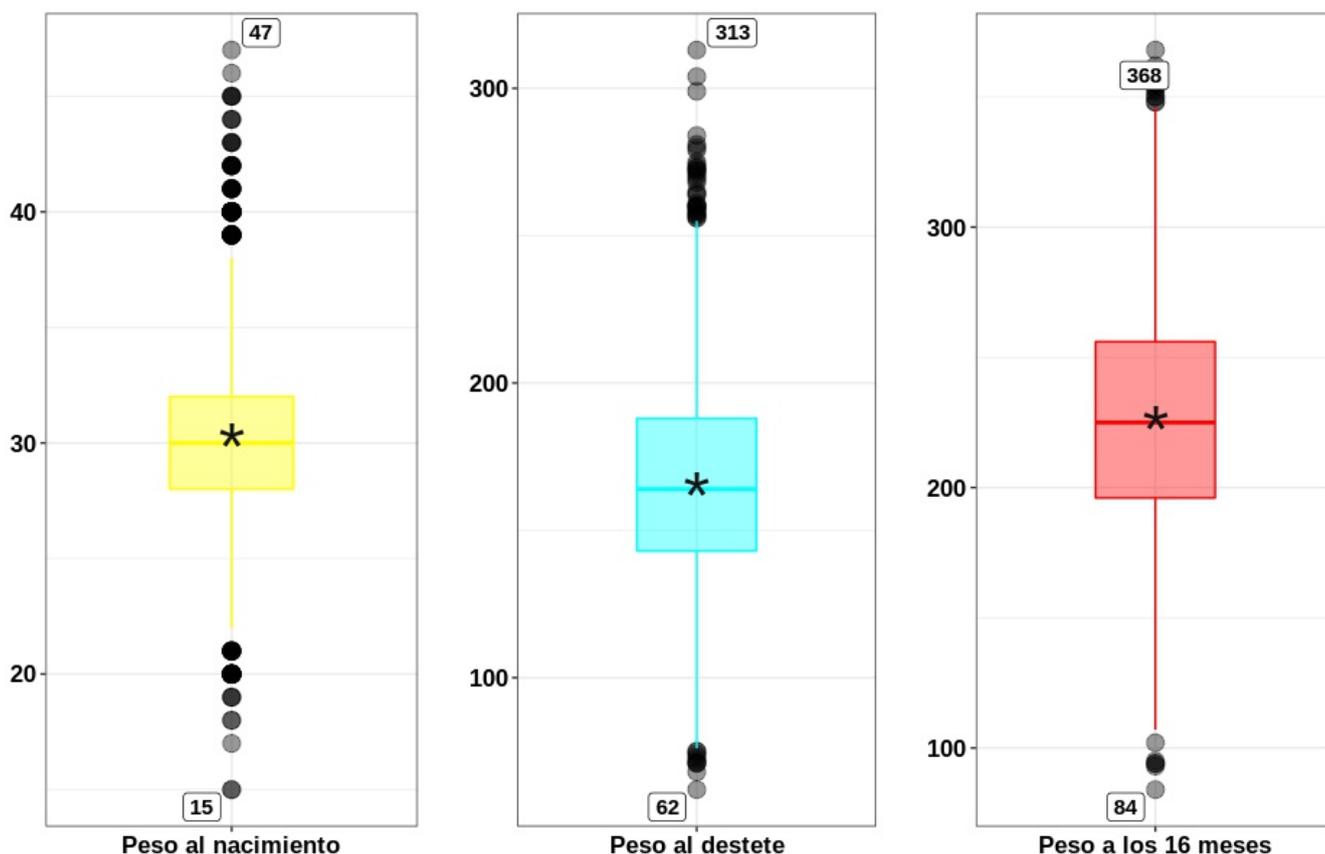


Figura 2. Resultado del análisis descriptivo para los distintos pesos en ganado criollo colombiano Romosinuano. El asterisco (*) en los gráficos de caja y bigotes, representan la media general de los valores fenotípicos de dichos pesos (en kg); por otra parte, en cada gráfica se observa también los valores mínimos y máximos.

La selección del modelo en relación con los efectos aleatorios se realizó de acuerdo con el criterio de información de Akaike (Cuadro 2). Los resultados presentados en esta muestran que, al considerar los efectos genéticos maternos, se mejora significativamente el valor de dicho criterio estadístico en comparación con el modelo que solo ajusta el efecto genético directo (Modelos 1 y 4). Por lo tanto, se determinó que los efectos maternos eran importantes fuentes de variación para los caracteres de crecimiento en bovinos de la raza Romosinuano. Por otra parte, el mejor modelo para los caracteres de peso al nacimiento y a los 16 meses incluyó los efectos genéticos directos y maternos, así como el efecto ambiental materno permanente (Modelo 5). El modelo apropiado para el peso al destete fue similar al anterior, excepto por la inclusión de la covarianza entre los efectos genéticos directos y maternos (Modelo 6).

Muchos de los caracteres de interés zootécnico en especies bovinas, suelen ser producto de la

contribución genética tanto de la madre como de su descendencia (Quintanilla y Piedrafita, 2000). En este sentido, en la literatura científica existe una extensa revisión donde se ha reconocido que los efectos indirectos de la madre (o efectos maternos) suponen una fuente importante de variación genética y ambiental para caracteres de crecimiento, como bien se pudo evidenciar en este estudio. A este respecto, Ekiz (2003), en un estudio llevado a cabo en corderos Merinos Turcos, pudo determinar la importancia de los efectos maternos sobre distintos caracteres productivos, al ajustar doce modelos animales diferentes incluyendo o no el efecto genético materno. Así mismo, Van Wyk et al. (2003) y Valerio et al. (2015), haciendo uso del logaritmo de la función de verosimilitud, pudieron identificar aquel modelo que consideraba los efectos directos y maternos como el que se ajustaba mejor a un análisis de características productivas y reproductivas en ovinos de la raza Dormer y Junin, respectivamente. Por otra parte, Saldarriaga et al. (2020) eligieron para caracteres de crecimiento en bovinos Blanco orejinegro, aquel

modelo que permitiera describir mejor cada situación en particular, a partir del uso de distintos métodos para la selección de modelos, como el criterio de

información de Akaike, el criterio de información Bayesiano, el R^2 ajustado y la suma de cuadrados del error.

Cuadro 2. Valores del criterio de información de Akaike para caracteres de crecimiento de terneros de la raza Romosinuano en tres modelos diferentes, con el mejor modelo en negrita.

Modelo	Peso al nacimiento	Peso al destete	Peso a los 16 meses
[1]	20 356.35	36 283.21	37 359.84
[2]	11 600.16	27 389.26	28 574.06
[3]	11 601.80	27 386.37	28 575.65
[4]	20 358.35	36 285.21	37 361.84
[5]	11 594.71	27 333.04	28 543.05
[6]	11 595.96	27 332.88	28 544.57

Según Hohenboken (1985), el efecto materno puede definirse como cualquier contribución al fenotipo de un individuo atribuible al fenotipo de su madre, sin considerar los efectos mendelianos debidos a los genes transmitidos por la misma a su descendencia, los cuales forman parte del efecto genético directo. Para los caracteres de crecimiento, como los tratados en este estudio, el efecto materno puede entenderse como la diferencia en la expresión fenotípica de los individuos causada por las diferencias en el ambiente aportado por la madre, siendo su capacidad lechera (o la nutrición del ternero) el determinante principal de los efectos maternos sobre dichos caracteres.

En poblaciones de bovinos manejados bajo el sistema de producción de carne existen tres estimativas de heredabilidad a saber, efecto directo, materno y total. Bajo cualquiera de estos efectos la heredabilidad indica qué parte del carácter estudiado se debe a variaciones genéticas entre los animales, y qué tanto se debe a otras variaciones, independiente del tipo de efecto. Las estimaciones de los componentes de varianza y parámetros genéticos ajustados usando los modelos más apropiados para los caracteres de crecimiento, se presentan en el cuadro 3. En el caso del peso al nacimiento, los parámetros genéticos reportados en Romosinuano fueron 0.17 ± 0.06 para la heredabilidad aditiva directa (h_a^2), y 0.087 ± 0.03 para la heredabilidad aditiva materna (h_m^2) (Ossa et al., 2005); en la raza criolla Costeño con Cuernos 0.28 ± 0.05 para la heredabilidad aditiva directa (h_a^2), de 0.08 ± 0.03 para la heredabilidad aditiva materna (h_m^2) y de 0.23 ± 0.04 para la heredabilidad total (h_t^2) Ossa et al. (2008) y en la raza criolla Sanmartinero los valores para los parámetros (h_a^2 , h_m^2 y h_t^2) de 0.15 ± 0.05 , 0.05 ± 0.04 y 0.18 , respectivamente (Martínez et al., 2009). Las estimaciones del peso al nacimiento en el presente estudio fueron de 0.16 ± 0.03 , 0.03 ± 0.02 y 0.17 ± 0.03 para la h_a^2 , h_m^2 y h_t^2 , respectivamente, los cuales concuerdan con el rango de valores de la literatura citado anteriormente.

En relación con el peso al destete, los valores estimados de heredabilidad (aditiva directa, aditiva materna y total) reportados en la literatura son generalmente de magnitud media. Los valores de heredabilidad obtenidos en el presente estudio (0.10 ± 0.03 , 0.09 ± 0.02 y 0.09 ± 0.02 , para la h_a^2 , h_m^2 y h_t^2 , respectivamente) fueron generalmente menores a los valores informados en la literatura, los cuales variaron entre 0.11 ± 0.04 a 0.48 ; 0.03 ± 0.02 a 0.13 ± 0.05 , y 0.24 ± 0.04 a 0.38 para la h_a^2 , h_m^2 y h_t^2 , respectivamente (Ramírez-Valverde et al., 2007; Ossa et al., 2008; Martínez et al., 2009; Guillén et al., 2012; Martínez et al., 2018); la heredabilidad bajo el efecto directo fue superior a la heredabilidad bajo el efecto materno, por consiguiente, si se desea mejorar dicho carácter, la selección de los machos y hembras se debe realizar de acuerdo con sus valores genéticos.

De otro lado, la correlación genética entre efectos directos y maternos para el peso al destete fue de -0.38 , valor que coincide (en signo) con lo reportado en la literatura (Ekiz, 2003; Martínez y Pérez, 2006; Ossa et al., 2008), y contrario a lo reportado por otros autores (Valerio et al., 2015; Domínguez-Viveros et al., 2017) donde dicha correlación fue positiva.

Según Lewis y Beatson (1999), la correlación genética negativa entre efectos directos y maternos (el cual es una característica común en análisis recientes de datos de campo) podría ser producto de la estructura de datos disponibles más que debido a la existencia de una verdadera relación biológica antagónica entre dichos efectos. La correlación genética entre efectos directos y maternos para el peso al nacimiento y a los 16 meses de edad no se presentan en este estudio, debido a que la misma no pareció tener efecto significativo alguno al ser incluidos previamente en la selección de los mejores modelos para los efectos aleatorios.

Respecto al peso a los 16 meses, los valores de h_a^2 , h_m^2 y h_t^2 , respectivamente, fueron de 0.06 ± 0.03 , 0.02 ± 0.02 y 0.06 ± 0.03 , siendo los mismos inferiores a los estimados para el peso al destete en este estudio, debido a que a los 16 meses de edad las diferencias en la expresión fenotípica de los terneros causadas por las diferencias en la capacidad lechera de las vacas son menores (Plasse et al, 2002). Estos valores de

heredabilidad se consideran de baja magnitud, lo que demuestra el reducido efecto que ejercen los genes tanto maternos como aquellos propios del animal sobre el peso a los 16 meses de edad, contrario a las condiciones ambientales que al parecer tienen una participación importante sobre el carácter en mención dado los mismos valores de heredabilidad.

Cuadro 3. Componentes y relaciones de varianza (\pm error estándar) para caracteres de crecimiento en terneros de la raza Romosinuano del Centro de Investigación de Turipaná.

	Peso al nacimiento	Peso al destete	Peso a los 16 meses
Componentes de varianza			
Aditiva directa (σ_a^2)	1.67	69.97	49.15
Aditiva materna (σ_m^2)	0.31	62.09	13.47
Covarianza directa y materna (σ_{am})	----	-25.15	----
Ambiente materno permanente (σ_c^2)	0.63	136.75	122.25
Residual (σ_e^2)	8.03	439.80	678.23
Fenotípica (σ_p^2)	10.64	683.46	86.10
Relaciones de varianza			
Aditiva directa (h_a^2)	0.16 ± 0.03	0.10 ± 0.03	0.06 ± 0.03
Aditiva materna (h_m^2)	0.03 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.02 ± 0.02
Total (h_t^2)	0.17 ± 0.03	0.09 ± 0.02	0.06 ± 0.03
Correlación genética entre efectos directos y maternos (ρ_{am})	----	-0.38	----

La varianza fenotípica σ_p^2 fue igual a $\sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2 + \sigma_{am}$; la heredabilidad total h_t^2 fue igual a $\frac{\sigma_a^2 + 0.5\sigma_m^2 + 1.5\sigma_{am}}{\sigma_p^2}$; la correlación genética entre efectos directos y maternos (ρ_{am}) fue igual a $\frac{\sigma_{am}}{\sqrt{\sigma_a^2 \times \sigma_m^2}}$

En términos generales, los valores de heredabilidad estimados en los caracteres de crecimiento en la población de terneros Romosinuano fueron de baja magnitud; lo que indica que gran parte de la variación de los diferentes caracteres se debe a factores ambientales mas no genéticos.

Con respecto a las tendencias de los valores genéticos anuales de los efectos directos y maternos para los tres caracteres de crecimiento en la raza criolla colombiana Romosinuano (Cuadro 4 y figura 3), se observaron comportamientos variables en dichos

valores, con distintas líneas de tendencia. Para el peso al nacimiento, la regresión lineal del promedio de los valores genéticos directos y maternos sobre el año de nacimiento, dieron como resultado un incremento genético promedio anual de 0.0026 kg/año (valor p de 0.0005) y de -0.0007 kg/año (valor p de 0.002), respectivamente. Para el peso al destete y a los 16 meses de edad, la regresión lineal promedio de los valores genéticos directos y maternos sobre el año de nacimiento dieron resultados similares a los del peso al nacimiento, con incrementos genéticos promedios anual prácticamente inexistentes (~ 0.0).

Cuadro 4. Regresiones lineales de las tendencias genéticas directas y maternas para caracteres de crecimiento en terneros de la raza Romosinuano del Centro de Investigación Turipaná.

Carácter	Ecuación de regresión lineal		r ² ajustado	
	Directa	Materna	Directa	Materna
Peso al nacimiento	-4.91+0.0026x	1.48-0.0007x	0.003	0.002
Peso al destete	-381+0.194x	116.28-0.06x	0.14	0.03
Peso a los 16 meses	-529.7+0.27x	41.14-0.02x	0.21	0.00

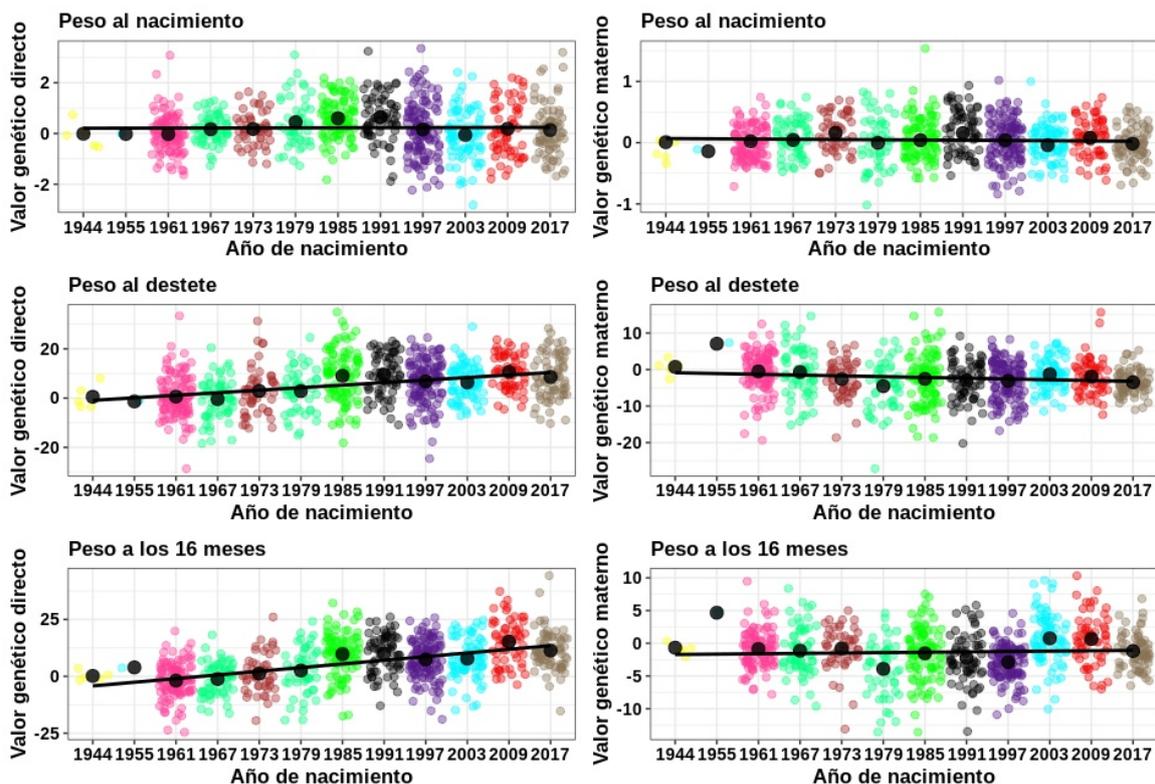


Figura 3. Tendencias anuales de los valores genéticos directos y maternos para caracteres de peso en terneros de la raza Romosinuano del C. I. Turipaná. El punto negro en cada una de las gráficas representa el promedio general de los valores genéticos (representados en puntos de colores) en cada año de nacimiento; por otra parte, la línea marca la tendencia de los valores genéticos a lo largo de los años de nacimiento.

El resultado de este estudio difiere del obtenido por Martínez et al. (2009) llevado a cabo en el bovino criollo Sanmartinero en el cual se reportó un comportamiento creciente en el peso al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad dadas las tendencias genéticas directas y maternas, evidenciando por lo tanto progreso genético para dichos caracteres. No obstante, se asemeja al reportado por Ossa et al. (2014)

en un estudio llevado a cabo en caracteres de crecimiento en la raza Romosinuano (previo a este estudio) que reveló tendencias genéticas para los efectos genéticos directos cercanas a cero, sugiriendo pocos cambios en los valores genéticos directos de la población durante el tiempo, y poco progreso genético alcanzado en los mismos caracteres.

Conclusiones

Las estimativas de la heredabilidad fueron bajas indicando que las variaciones de los caracteres de la población dependen en baja proporción de la variación de los genotipos y en alta proporción de otras variaciones. Las tendencias genéticas obtenidas bajo los efectos directos y maternos indican que, si bien los coeficientes de regresión a veces presentan

valores positivos o negativos, estos son muy cercanos a cero; por lo tanto, la variabilidad genética se ha mantenido constante a través de los años en la población bovina Romosinuano.

Conflicto de intereses: Los autores partícipes de esta publicación realizaron aportes significativos al manuscrito, están de acuerdo y expresan que no existe conflicto de intereses que impida su realización

Reconocimientos

Este artículo se deriva de los resultados e información obtenidos en desarrollo del proyecto: "Generación de recomendaciones técnicas basadas en el confort y el bienestar animal para mejorar la fertilidad de los bovinos en el trópico", ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, en el marco de la Agenda Dinámica

Corporativa, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). En el proyecto enunciado participaron: Miguel Andrés Arango Argoti, Mauricio Álvarez de León, José Henry Velásquez, Sonia Daryuby Ospina Hernández, William Orlando Burgos Paz, Jaime Humberto Bernal Riobo, Betty Jazmín Gutiérrez Rodríguez, Mauricio

Álvarez de León, José Guillermo Velásquez, Héctor Guillermo Onofre Rodríguez, José Evelio González Moreno, William Andrés Correa, Galindo, Otoniel Pérez, Yesid José Abuabara Pérez, Juan Esteban Pérez García, Erly Luisana Carrascal Triana, Juan Carlos Fernández Niño, Ángel David Osten Blanco, Jaime

Cardozo Cerquera, Eliana Neira Rivera, Diana Carolina Moya Romero. También se agradece al Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) del cual es parte integral el hato Romosinuano que se conserva en Turipaná.

Cuidado y uso de animales: Esta investigación no utilizó animales, es resultado del análisis de datos históricos del hato Romosinuano de Turipaná en el cual se cumplen las normas de manejo animal.

Literatura Citada

- Abadía, J. 1976. "El Romosinuano, raza noble productora de carne". Revista el "Siglo". Pág.2-5. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/548/1/MONOGRAFIA%20FINAL%20%20IMPRI-MIR.pdf>
- Burnham, K. P. and D. R. Anderson. 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological methods y research*, 33: 261-304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Cañas, J., J. Ramírez, O. Arboleda, J. Ochoa, O. Vergara, M. Cerón. 2008. Estimación de parámetros genéticos para el peso al destete en ganado Blanco Orejinegro (Bon) en el noroccidente colombiano. *Revista MVZ Córdoba*, 13(1): 1138-1145. <https://doi.org/10.21897/rmvz.405>
- Corrales, J. D. 2016. Selección y estimación de parámetros genéticos en bovinos lecheros (tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Argentina. <https://core.ac.uk/download/pdf/144233733.pdf>
- Correa, E. D., Martínez, R., y Echeverri J. 2011. Caracterización productiva de una población de bovinos Blanco Orejinegro (Bon) en siete hatos colombianos. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 434-436. http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2011/Correa2011_1_434_436.pdf
- De Alba, J. 2003. Conversaciones con ganaderos de Colombia. En: *Razas criollas y colombianas puras, memoria convenio 135-01* (pp. 28-48). Bogotá: Produmedios.
- De las Heras-Torres, J., Osorio-Arce, M., Segura Correa, J., Aranda-Ibáñez, E., Aguilar-Acuña, J. A., Domínguez, A. H. y Toro, E. M. 2012. Una comparación entre métodos estadísticos clásicos y técnicas metaheurísticas en el modelamiento estadístico. *Scientia et Technica*, 68-77. <https://doi.org/10.22517/23447214.1647>
- Domínguez-Viveros, J., F. Rodríguez-Almeida, R. Núñez-Domínguez, R. Ramírez-Valverde y J. Ortega-Gutiérrez. 2017. Parámetros genéticos para caracteres asociados a la curva de crecimiento de bovinos. *Tropicarne. Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 81-88. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.971>
- Ekiz, B. (2003). Estimates of maternal effects for pre- and post- weaning daily gain in Turkish Merino lambs. *Turkish journal of veterinary and animal sciences*, 29, 399-407. <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet-05-29-2/vet-29-2-32-0309-23.pdf>
- Elzo, M.A., C. Manrique, Ossa, G.A., y Acosta, O. 1998. Additive and nonadditive genetic variability for growth traits in the Turipana Romosinuano x Zebu multibreed herd. *J. Animal Science*, 76:1539-1549. <https://doi.org/10.2527/1998.7661539x>
- Florio, J. 2008. Uso de los bovinos criollos en cruzamientos con otras razas bovinas en América Latina, con énfasis en Ganadería Doble Propósito. En: *Desarrollo Sostenible de la Ganadería Doble Propósito*. C. González-Stagnaro, E Soto Belloso (eds.). Fundación GIRARZ. Ediciones Astro DATA, S.A. Maracaibo-Venezuela. Capítulo X: 116 – 126. http://www.avpa.ula.ve/libro_desarrollosost/pdf/capitulo_10.pdf
- Garduza, A., Ávila S., Quiroz, V., Granados, Z., y Báez, R. 2011. Época de parición y número de parto sobre el crecimiento predestete de becerros en el trópico mexicano. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 63-66. http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2011/Garduza2011_1_63_66.pdf
- Guillén A, Guerra D, Ávila N, Palacios A, Ortega R y Espinoza J. 2012. Parámetros y tendencias genéticas del peso al destete y a los 18 meses de edad en ganado Cebú bermejo de Cuba. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(1): 19-31. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000100002
- Godoy L F y Rojas L E. 2008. Efectos del medio y herencia sobre el peso al destete en terneros de la raza Sanmartinero. Tesis para optar al título de Zootecnista. Universidad de Cundinamarca, programa de Zootecnia, Fusagasugá, 25 p. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3845/1/063.pdf>

- Hernández, B.G. 1970. Effect of year, season, age of dam and sex of calf on calving interval and growth rate of Romosinuano cattle. M. Sc. Thesis. University of Nebraska, Lincoln, Ne., USA. 140P. <http://www.ganadocriollo-colombiano.com/razas-2/romosinuano-romo?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- Hohenboken W.D. 1985. Maternal effects, pp., 135- 149. En: World Animal Science, Vol. A4. General and Quantitative Genetics. A.B. Chapman (Ed.). Elsevier. Amsterdam. https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2000/96A-1/96A-1_01.pdf
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. En: <http://www.R-project.org/>.
- Lewis, R.M. y Beatson, P.R. 1999. Choosing maternal-effect models to estimate (co)variances for live and fleece weight in New Zealand Coopworth sheep. Livestock Production Science. 58(2), 137-150. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00197-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00197-3)
- Lush, J.L. 1964. Melhoramento genético dos animais domésticos. Rio de Janeiro, Centro de publicações técnicas da Aliança-ASAID.
- Manrique, C., Ossa, G.A., y Acosta, O. 1996. Factores genéticos y ambientales afectan el peso al destete de terneros Romosinuano. En: Memorias 3er Congreso Iberoamericano de razas Autóctonas y Criollas. Santafé de Bogotá. 421 pp
- Martínez, C. G. 1999. Censo y caracterización de los sistemas de producción del ganado criollo y colombiano. Memorias Seminario 'Censo y Caracterización de los Sistemas de Producción del Ganado Criollo y Colombiano'. Santafé de Bogotá. pp. 13-64
- Martínez, G., Álvarez, L. Á y Martínez, V. 2009a. Conservación, caracterización y utilización de los bovinos criollos en Colombia. En: X Simposio iberoamericano sobre conservación y utilización de recursos zoogenéticos (pp. 23-51). Palmira: UNIMEDIOS. <http://www.uco.es/conbiand/pdf/palmira2009.pdf>
- Martínez, R., y Pérez, J. E. 2006. Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento en el ganado criollo colombiano Romosinuano. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 7(1), 25-32. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num1_art:56
- Martínez, R., Onofre, G., y Polanco N. 2009b. Parámetros genéticos y tendencias para características de crecimiento en el ganado criollo Sanmartinero en los Llanos Orientales de Colombia. Revista Corpoica - Ciencia y tecnología agropecuaria, 10(2), 196-204. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4499/449945027007>
- Martínez, R. y Gallego, J. 2012. Evaluación productiva de la raza Bon. En: Eficiencia productiva de la raza Bon en el trópico colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia, 32 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19535>
- Martínez, R., Vásquez, R., Gallego, J., Lopera, J., y Gómez Y. 2012. Evaluación del crecimiento y rendimiento en canal de la raza Bon y sus cruces. En: Eficiencia productiva de la raza Bon en el trópico colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia, 180-181 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19545>
- Martínez, R., Ramírez, R., Núñez, R., y García J. 2018. Parámetros y tendencias genéticas de variables de crecimiento para bovinos Romosinuano en México. Revista de investigación de la Universidad De La Salle Bajío, 10(2): 310-325. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1595>
- Misztal, I., S. Tsuruta, D. Lourenco, Y. Masuda, I. Aguilar, A. Legarra, y Z. Vitezica. 2018. Manual for BLUPF90 family of programs. http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all6.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2003. Situación de los recursos zoogenéticos en Colombia. Bogotá: Produmedios. <http://hdl.handle.net/11348/3952>
- Morrissey, M. B., y Wilson, A. J. 2009. Pedantics: an R package for pedigree-based genetic simulation, and pedigree manipulation, characterization, and viewing. En: <https://github.com/cran/pedantics>. <https://europepmc.org/article/med/21565076>
- Ossa, G.A., Manrique y L. Torregroza. 1998. Factores genéticos y ambientales que afectan el peso al nacimiento de terneros Cebú-Brahman. Revista de Medicina Veterinaria. Universidad de Córdoba 3(1): 3-8.
- Ossa, G. A., M. Suárez, y J. E. Pérez. 2005. Efectos del medio y herencia sobre el peso al nacimiento de terneros de la raza Romosinuano. MVZ-Córdoba, 10(1): 564-572. <https://doi.org/10.21897/rmvz.471>
- Ossa, G. A., Pérez, J. E., Guerra, D., González-Peña, D., Jiménez, F., Gallego, J., Onofre, G., y Polanco, N. 2008. Parámetros y tendencias genéticos de rasgos de crecimiento de la raza criolla colombiana Costeño con Cuernos. Ciencia y tecnología ganadera, 2(3): 133-139.
- Ossa, G., Abuabara, Y., Pérez, J. y Martínez, G. 201). El ganado criollo colombiano Costeño con Cuernos.



- Animal Genetic Resources, 48, 101-107. <http://www.fao.org/3/i2200t/i2200t12.pdf>
- Ossa, G., David, A., Santana, M., Reza, S., Pérez, J., y Abuabara, Y. 2013. Formación, desarrollo y caracterización fenotípica de los caracteres productivos y reproductivos del ható Romosinuano del banco de germoplasma de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14, 231-243. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v14n2/v14n2a10.pdf>
- Ossa, G., Narváez, J., Noriega, J., Pérez, J. y Vergara, O. D. 2014. Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento en una población de ganado criollo Romosinuano. *Livestock research for rural development*, 26(10), Article #191. <http://www.lrrd.org/lrrd26/10/ossa26191.html>.
- Ossa, G.A. 2017. Mejoramiento genético animal aplicado a los sistemas de producción de carne. Medellín – Colombia. Universidad Nacional. Segunda Edición. 357 p.
- Plasse, D., Verde, O., Arango, J., Camaripano, L., Fossi, H., Romero, R., Rodríguez C., Rumbos, J. 2002. (Co)variance components, genetic parameters and annual trends for calf weights in a Brahman herd kept on floodable savanna. *Genetics and Molecular Research*, 1(4):282-297.
- Quintanilla, R., y Piedrafita, J. 2000. Efectos maternos en el peso al destete del ganado vacuno de carne: una revisión. *Información Técnica Económica Agraria*, 96(1), 7-39. https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2000/96A-1/96A-1_01.pdf
- Quijano, J. H., y Echeverri, J. J. 2015. Heredabilidad. En J H Quijano y Echeverri J J. *Genética cuantitativa aplicada al mejoramiento animal* (p. 207). Bogotá, Colombia: AGRARIAS.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. En: <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Valverde, R., Hernández-Alvarez, O., Núñez-Domínguez, R., Ruíz-Flores, A. y García-Muñiz, J. 2006. Análisis univariado vs multivariado en la evaluación genética de variables de crecimiento en dos razas bovinas. *Agrociencia*, 41, 271-282. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-
- Saldarriaga- Saldarriaga A., González-Herrera, L.G., Londoño-Gil, M., Rincón Florez, J.C., López-Herrera, A. 2020. Best linear model to explain variability in the growth in Blanco Orejinegro cattle and effect of the serological status for bovine viral diarrhoea and bovine leukosis. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 41, n. 4, p. 1385-1398. <https://doi.org/10.5433/1679->
- Swiger, L. A., Harvey, W. R., Everson, D. O y Gregory, K. E. 1964. The variance of intraclass correlation involving groups with one observation. *Biometrics*, 20, 818-826. <https://doi.org/10.2307/2528131>
- Valerio, D., Gutiérrez, G. y Chávez, J. 2011). Efectos genéticos directo y materno sobre el crecimiento de ovinos de la raza Junin. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(1): 28-35. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10921>
- Vanhove, J. 2018. Cannonball: tools for teaching statistics. En: <https://github.com/janhove/cannonball>.
- Van Wyk, J. B., Fair1, M. D., y Cloete, S. 2003. Revised models and genetic parameter estimate for production and reproduction traits in the Elsenburg Dormer sheep stud. *South African Journal of Animal Science*, 33(4): 213-222. <https://www.ajol.info/index.php/sajas/article/view/3777>
- Vásquez, R., Martínez, R., Ballesteros, H., Grajales, H., Abuabara, Y., y Pérez, J. 2006. Evaluación de la producción y la calidad de la carne bovina de las razas Romosinuano, Cebú y sus cruces. En: *El ganado Romosinuano en la producción de carne en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia, 44 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12818>
- Wickham, H. 2019. stringr: simple, consistent wrappers for common string operations. En: <https://github.com/tidyverse/stringr>.
- Wickham, H., François, R., y Henry L. 2019b. tidy: tidy messy data. En: <https://github.com/tidyverse/tidy>.
- Wickham, H., François, R., Henry, L., y Müller, K. 2019a. dplyr: a grammar of data manipulation. En: <https://github.com/tidyverse/dplyr>.