

# Parámetros genéticos para crecimiento y reproducción en ganado *Simmental* mediante *parentesco* por *pedigrí* y *genómico*

Alejandro Amaya M1, 3 Ph.D; Rodrigo Martínez S2 Ph.D; Mario Cerón-Muñoz1\* Ph.D.

1Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo GAMMA, Medellín, Colombia.

2Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 Vía Mosquera. Bogotá D.C. Colombia.

3Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Bogotá D.C. Colombia.

Investigación publicada en la Revista MVZ Córdoba de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Córdoba, 2020; 25(1):e1520







Tradicionalmente, las evaluaciones genéticas están basadas en el análisis de información *genealógica* y *fenotípica* a través de los sistemas de ecuaciones de los modelos mixtos (1). Sin embargo, la disponibilidad de *marcadores genéticos tipo SNP* en las últimas décadas ha permitido a investigadores identificar genes de importancia productiva, medir la variabilidad genética y estimar valores genéticos genómicos. Esto ha sido recomendado especialmente para aquellas características con baja heredabilidad o difíciles de medir (2).

El *peso a los ocho meses de edad (W8M)*, la *edad al primer parto (AFC)*, y el *primer intervalo entre partos (FCI)* han sido usados como criterios de selección para incrementar la productividad y evaluar la eficiencia reproductiva en sistemas de producción bovina (2,3). La disminución de *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos*, reduce los costos de producción en las hembras de reemplazo y de terneros por año (4). Asimismo, la selección por un mayor crecimiento permite que los animales permanezcan menos tiempo en las praderas, lo cual disminuye el tiempo del ciclo de producción y aumenta la rentabilidad.

La estimación de parámetros genéticos con información genómica ha sido discrepante entre poblaciones de acuerdo con la estrategia de genotipado y las características evaluadas, especialmente para características reproductivas (5). No obstante, la inclusión de información genómica ha mostrado estimaciones más confiables, lo cual podría ser importante para características de baja heredabilidad (6). Entonces, el uso de la información genómica podría permitir a los criadores alcanzar un mayor progreso genético a través del incremento de la precisión y la reducción del intervalo generacional (7).

En Colombia, la raza *Simmental* es usada en sistemas de *doble propósito* y está actualmente distribuida a lo largo del territorio colombiano. Sin embargo, no hay estimaciones de parámetros genéticos, lo cual ha limitado el diseño e implementación de un programa de mejoramiento genético. Por lo tanto, el



objetivo de este estudio fue estimar parámetros genéticos para *peso a los ocho meses de edad (W8M)*, *edad al primer parto (AFC)* y *primer intervalo entre partos (FCI)* en ganado *Simmental* de Colombia utilizando modelo animal univariado y bivariados bajo el *mejor predictor lineal insesgado convencional (BLUP)* y *genómico en una etapa (ssGBLUP)*.

## Materiales y métodos

La aprobación por parte de un comité de ética no fue necesaria en este estudio debido a que todos los registros utilizados en los análisis provenían de una base de datos ya existente y no involucraron experimentos o procedimientos con los animales.

## Información de pedigrí y fenotípica

La información genealógica de la *Asociación de Criadores de Ganado Simmental de Colombia (AsoSimmental)* fue usada en este estudio. El archivo de pedigrí incluyó 27.986 animales nacidos desde 1975 hasta 2017 con 15 generaciones trazadas. El número de

registros para *peso a los ocho meses de edad (W8M)*, *edad al primer parto (AFC)* y *primer intervalo entre partos (FCI)* fue 481, 3.063 y 1.098 respectivamente. El archivo final de pedigrí para computar la matriz de parentesco tuvo 26.376, 27.037 y 26.650 animales para *ocho meses de edad*, *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos*, respectivamente.

## Genotipado y control de calidad

La población genotipada estuvo conformada por 718 animales usando el chip comercial *GenSeek Genomic Profiler-LD chip (GGP Bovine LD v4)* con 30.106 *SNP*. Para el control de calidad, los *SNP* con una ausencia de genotipado >10%, una frecuencia del alelo con menor frecuencia <0.05 y un valor  $p < 0.001$  para la prueba del equilibrio *Hardy-Weinberg*, fueron excluidos y los animales con una tasa de genotipado <90% también fueron excluidos usando PLINK (8). Un total de 661 animales y 22.395 *SNP* permanecieron después del control de calidad, y fueron usados para estimar los parámetros genéticos. El número de

animales con genotipos y fenotipos fueron 372 y 162 para *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos*, respectivamente. Los animales con registros para *peso a los ocho meses de edad* no tuvieron información genómica, pero estuvieron emparentados con la población genotipada.

## Condiciones ecológicas y de manejo.

En relación con las prácticas de producción de los ganaderos colombianos, las vacas en producción y los terneros son mantenidos en pastoreo todo el año. La dieta estuvo conformada por forraje, alimentos balanceados y suplementación mineral. La inseminación artificial es usada en lugar de la monta natural y no existen épocas fijas de reproducción, lo que significa que las vacas pueden ser inseminadas en cualquier mes del año.

## Análisis genético.

Los componentes de varianza fueron estimados usando modelo animal univariado (*peso a los ocho meses de edad*, *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos*), y bivariados (*peso a los ocho meses de edad* X *edad al primer parto* y *edad al primer parto* X *primer intervalo entre partos*). Los efectos fijos para *peso a los ocho meses de edad* fueron grupo contemporáneo (*sexo*, *año de nacimiento desde 2010 hasta 2015*, y *mes de nacimiento desde enero hasta diciembre*), y la covariable *edad*. El *peso a los ocho meses de edad* no incluyó efecto materno porque los animales evaluados fueron removidos de la madre y criados artificialmente. Los efectos fijos para *edad al primer parto* fue el año de nacimiento desde 1999 hasta 2014 y los efectos fijos para *primer intervalo entre partos* fueron año de nacimiento desde 2003 hasta 2015, y el hato. El efecto de la región no fue incluido para todas las características porque no fue significativo o no estuvo disponible. Los efectos aleatorios incluidos en todos los modelos fueron el animal y el residual.

En notación matricial, el modelo animal usado es:  $y = X\beta + Za + e$  donde  $y$  es el vector de registros productivos;  $\beta$  es

**Tabla 1.** Heredabilidades para el peso a los ocho meses de edad (W8M), edad al primer parto (AFC) y primer intervalo entre partos (FCI) usando análisis genético y genómico en ganado Simmental de Colombia.

Carácter	Modelo	Heredabilidades	
		Análisis genético	Análisis genómico
W8M	Univariado	0.26±0.15	0.26±0.15
	Bivariado con AFC	0.25±0.15	0.25±0.15
AFC	Univariado	0.22±0.04	0.20±0.04
	Bivariado con W8M	0.21±0.04	0.20±0.04
FCI	Bivariado con FCI	0.21±0.04	0.20±0.04
	Univariado	0.04±0.05	0.07±0.06
	Bivariado con AFC	0.05±0.05	0.08±0.06

el vector de efectos fijos;  $a$  es el vector de soluciones para el efecto genético directo y aleatorio del animal;  $e$  es el vector de efectos residuales;  $X$  y  $Z$ , son las matrices de incidencia relacionando  $\beta$  y  $a$  con  $y$ . El modelo asumió que  $E[y] = X\beta$ ;  $Var(a) = AGa$ ;  $Var(e) = I\sigma^2R$ , donde  $A$  es la matriz de parentesco por pedigrí,  $\otimes$  es el producto directo de *Kronecker*,  $G$  es la matriz de (co)varianza de efectos genéticos aditivos directos,  $I$  es la matriz de identidad y  $R$  es la matriz de (co)varianza de efectos residuales.

## Análisis genómico

Los componentes de varianza fueron estimados usando la metodología del *ssGBLUP*. Los mismos modelos univariados y bivariados descritos en la sección análisis genético fueron ejecutados, pero la matriz de parentesco por pedigrí ( $A$ ) fue reemplazada por la matriz  $H$ , así: donde,  $A_{11}$  es la matriz de parentesco por pedigrí de animales no genotipados,  $A_{22}$  es la matriz de parentesco por pedigrí de animales genotipados,  $A_{12}$  que es igual a  $A_{21}$  son matrices que contienen las relaciones de parentesco por pedigrí de los animales genotipados y no genotipados,  $G$  es la matriz de parentesco

genómico. Por lo tanto, la matriz  $H$  incluye el parentesco basado en el pedigrí y en la información genómica (9).

Los componentes de varianza para el análisis genético y genómico fueron ejecutados usando el procedimiento del promedio de información por máxima verosimilitud restringida (*AI-REML*) incluido en la familia de programas del *BLUPF90* (10).

## Resultados

Los promedios para *peso a los ocho meses de edad* (*W8M*), *edad al primer parto* (*AFC*) y *primer intervalo entre partos* (*FCI*) fueron 247±37 kg, 1080±269 d y 464±106 d, respectivamente. Las heredabilidades para *peso a los ocho meses de edad*, *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos* con el análisis genético y genómico son mostradas en la (tabla 1).

Todos los modelos usados para estimar la heredabilidad de *edad al primer parto* y que incluyeron información genómica mejoraron ligeramente (a partir del tercer decimal) la precisión de la heredabilidad. Por otro lado, no hubo incrementos en las precisiones cuando se incluyó información genómica para *peso a los ocho meses de edad* y *primer intervalo entre partos*, pero



fueron ligeramente más altas con parentesco genómico (*a partir del tercer decimal*) que aquellas heredabilidades sin información genómica. Las correlaciones genéticas entre *peso a los ocho meses de edad* y *edad al primer parto* fueron medias y negativas con valores de -0.34 y -0.27 con y sin parentesco genómico, respectivamente. Respecto a las correlaciones genéticas entre *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos*, fueron positivas con valores de 0.23 y 0.25 con y sin parentesco genómico, respectivamente.

## Discusión

La media de *peso a los ocho meses de edad* fue mayor a lo reportado en una población de ganado *Brahmán* en Colombia, la cual presentó pesos inferiores (237±36 kg) a una edad mayor (270 días) (11). Los sistemas de producción de ganado *Simmental* en Colombia utilizan suplementos balanceados y forrajes de alta calidad nutricional, lo cual podría explicar parcialmente los pesos superiores encontrados en esta población. Sistemas de producción de *doble propósito* con la raza *Pardo Suizo* en México con similares condiciones ambientales y prácticas de manejo mostraron un peso a 240 días de 235±44 kg (12), valor muy similar al promedio reportado en este estudio.

El promedio de la *edad al primer parto* siempre fue más largo comparado con otros estudios reportados en razas taurinas. Por ejemplo, una población de ganado *Holstein* evaluada en Colombia presentó el valor más similar con un promedio de 962 días de edad al primer parto (13). Aunque los sistemas de producción de leche se han vuelto más intensivos en Colombia, el descarte de animales por *edad al primer parto* todavía no está implementado por los productores de ganado *Simmental* en Colombia. Eso podría contribuir a una *edad al primer parto* más larga. Además, el criterio para la primera inseminación en ganado *Simmental* ha sido el peso del animal, lo cual podría ser otro factor para incrementar la *edad al primer parto*, si la

ganancia media de peso desde el destete hasta la *edad al primer parto*, es baja.

La media de *primer intervalo entre partos* fue más alta comparada con una población de animales *Holstein* que tuvo 385 días (*FCI*) (14). Aunque las prácticas de manejo productivo y reproductivo de los sistemas de ganado *Simmental* son favorables e intensivas, los productores de ganado *Simmental* de Colombia mantienen animales con problemas reproductivos debido a la escasez de hembras. En el contexto anterior, los periodos de intervalos entre partos podrían ser más largos.

Las heredabilidades para *peso a los ocho meses de edad* coincidieron con los valores reportados por otros autores con valores desde 0.11 hasta 0.35 (15,16). Las heredabilidades directas estimadas para *peso a los ocho meses de edad* fueron más altas que las reportadas por Guillen et al (15) en una población cebuína en condiciones tropicales, pero muy similar a lo reportado por Kebede y Komlosi (17) quienes estimaron una heredabilidad directa de 0.26 en otra población de ganado *Simmental*. La población cebuína consultada tenía una alta intensidad de selección para peso al destete (25%), lo cual podría explicar parcialmente una menor varianza genética debido a procesos de selección. En Colombia, los resultados de *peso a los ocho meses de edad* indican que un importante mejoramiento para esa característica podría ser alcanzado mediante selección genética. Sin embargo, una mayor cantidad de registros fenotípicos y animales genotipados son aún necesarios para incrementar la precisión en las estimaciones, y consecuentemente el progreso genético.

Aunque las diferencias entre las heredabilidades para *peso a los ocho meses de edad* entre modelos univariado y bivariado incluyendo o no información genómica fueron pequeñas ( $p < 0.006$ ), una menor heredabilidad estimada en modelos bivariado pudo ser debida a la presencia de pocos animales en la base de datos con información para todas las características

(16). El incremento de la heredabilidad fue leve (0.0024) en modelos que incluyeron parentesco genómico. Esto fue coherente a lo reportado en otros estudios para características asociadas a crecimiento (2). Las leves diferencias encontradas podrían sugerir que la matriz de parentesco genómica y por pedigrí para los animales genotipados es similar, lo cual no alteraría en gran medida las estimaciones de los parámetros genéticos. Además, el hecho que no hubo animales con información genómica y fenotípica para *peso a los ocho meses de edad* podría explicar los cambios leves de las estimaciones.

Heredabilidades para *edad al primer parto* han variado considerablemente entre poblaciones taurus e indicus, variando desde 0.08 hasta 0.47 (18,19,20). Una población de *ganado criollo* en Colombia presentó un valor de 0.15 (21) y otras poblaciones de ganado *Holstein* en Colombia y Brasil tuvieron valores más bajos, desde 0.13 hasta 0.19 (13). Las diferencias en estimaciones podrían estar relacionadas con el tamaño de las bases de datos, los efectos incluidos en los modelos e incluso factores ambientales que no fueron registrados (22). Marques et al (18) encontraron una heredabilidad para *edad al primer parto* desde 0.16 hasta 0.18 y sugirieron que una disminución en esa característica podría ser hecha por selección genética. Por lo tanto, el progreso genético para *edad al primer parto* en ganado *Simmental* de Colombia podría ser posible.

Las diferencias en la heredabilidad para *edad al primer parto*, de acuerdo con los modelos fueron diferentes a lo reportado por Buzanskas et al (23), quienes observaron mayores heredabilidades para *edad al primer parto* en modelos univariado versus modelos bivariado. La varianza genética más baja pudo ser debido al uso de los *SNP*, los cuales podrían identificar un grado de parentesco menor entre algunos animales, y con ello disminuir la proporción de la varianza genética conocida (9). Por otro lado, el efecto del parentesco genómico sobre los errores estándar coincidió con los resultados

reportados por *Haile-Mariam et al (24)*, quienes reportaron errores estándar más bajos para estimaciones con información genómica comparado con modelos que solamente incluyeron matriz de parentesco por pedigrí.

Las heredabilidades reportadas para *primer intervalo entre partos* fueron menores comparadas con *peso a los ocho meses de edad* y *edad al primer parto*. Las estimaciones de heredabilidades para *primer intervalo entre partos* en ganado *Simmental* en Colombia fueron consistentes con las heredabilidades encontradas en otros estudios, las cuales variaron desde 0.01 a 0.011 para razas lecheras taurinas (3,14,19,25). Esas variaciones podrían ser dadas principalmente por diferencias en el ambiente, las cuales pueden estar relacionadas con los sistemas de alimentación y decisiones en los programas de monta estacional. Por otro lado, las razas taurinas han sido más seleccionadas por el desempeño reproductivo, lo cual reduce la varianza genética de las características en el tiempo. Aunque los productores todavía no han implementado un programa de mejora genética en Colombia, esa población de ganado proviene de poblaciones europeas y norte americanas intensivamente seleccionadas, lo cual podría explicar las bajas heredabilidades.

Las variaciones de las heredabilidades para *primer intervalo entre partos* estuvieron en acuerdo con lo reportado por *Haile y Price (26)*, donde la heredabilidad varió desde 0.03 hasta 0.06. Los incrementos observados de la heredabilidad en los modelos bivariado con y sin información genómica pueden ser debidos a la correlación genética positiva entre *primer intervalo entre partos* y *edad al primer parto*, dirigiendo a una mayor explicación de la varianza genética aditiva. Igualmente, el uso simultáneo de modelos bivariado y parentesco genómico es favorable para las características con una menor cantidad de registros y generalmente permite explicar una mayor cantidad de la varianza genética (27).

Mayores relaciones entre la matriz de parentesco por pedigrí y genómico podría dirigir a estimaciones más precisas y a su vez podrían capturar una mayor varianza genética aditiva. La correlación entre la matriz genómica y por pedigrí fue alta ( $>0.8$ ), lo cual indica una buena calidad de pedigrí. Esto podría explicar parcialmente las discrepancias en las estimaciones de la varianza genética aditiva para *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos* al incluir información genómica. Sin embargo, el bajo número de animales genotipados en este estudio y la densidad del chip de genotipado tienen que ser considerado entre las diferencias de las estimaciones, lo cual podría afectar la varianza de las características evaluadas (24).

La correlación genética entre *peso a los ocho meses de edad* y *edad al primer parto* fue igual a lo reportado por *Chin-Collin et al (3)*, quienes reportaron un valor negativo de -0.34. Sin embargo, otros estudios han reportado valores cercanos a cero y ligeramente negativos de -0.02 (12). Las heredabilidades y la correlación genética indican una oportunidad para estas características para ser incluidas en un programa de mejoramiento genético. Eso optimizaría el progreso genético porque animales con mayor *peso a los ocho meses de edad* tendrían una *edad al primer parto* más corta. La mayor correlación genética incluyendo información genómica pudo estar asociada a una mayor relación de los efectos poligénicos de animales genotipados y no genotipados, lo cual contribuye con la construcción de la matriz de parentesco genómica y las diferencias encontradas (28).

La correlación genética entre *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos* coincidió con lo reportado por *Gutiérrez et al (22)* en razas de carne. Sin embargo, *Rocha et al (21)* y *Chin-Colli et al (3)* reportaron correlaciones genéticas negativas entre estas características con valores de -0.43 y -0.26, respectivamente. Las diferencias respecto a esas poblaciones están posiblemente asociadas con diferentes criterios de

selección que cambian la estructura genética a través del tiempo y la magnitud de las heredabilidades y las correlaciones genéticas. En Colombia, la disponibilidad y el uso simultáneo de toros tipo carne y leche que provienen de Europa y Norte América pueden estar afectando actualmente la estructura de la raza y las estimaciones de parámetros genéticos.

Aunque las heredabilidades y las correlaciones genéticas para *edad al primer parto* y *primer intervalo entre partos* fueron bajas, su inclusión en programas de mejoramiento genético podría ser una estrategia confiable para incrementar la productividad debido al efecto económico (29). Adicionalmente, esos resultados en la población de ganado *Simmental* en Colombia sugieren que la selección de animales con un valor genético más alto para *peso a los ocho meses de edad* y un valor genético más bajo para *edad al primer parto* representaría una mayor eficiencia reproductiva. Por otro lado, la inclusión de la *edad al primer parto* en esquemas de selección genética podría ser considerada para incrementar el progreso genético para características asociadas con fertilidad (30).

En conclusión, el uso de información genómica mediante la metodología del *ssGBLUP* podría optimizar el mejoramiento genético para las características evaluadas debido a los incrementos en las precisiones y las heredabilidades. Aunque las diferencias en los errores estándar y las heredabilidades entre las estimaciones con parentesco por pedigrí y genómico fueron muy pequeñas en esta población, estrategias como el genotipado de un mayor número de animales que estén más emparentados con la población no genotipada podría mejorar las estimaciones significativamente. Asimismo, una mayor recolección de información fenotípica es crucial para obtener un mayor beneficio del potencial ofrecido por la selección genómica en programas locales de mejoramiento genético. ■

**Bibliografía disponible en:** [geneticabovina.fer@gmail.com](mailto:geneticabovina.fer@gmail.com)