

Relación de rasgos de conformación corporal en vacas Blanco Orejinegro

Hernán Medina Ríos, Edison Julián Ramírez Toro¹, William Burgos Paz² y Mario Cerón-Muñoz

Grupo de Investigación GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52 - 21 Medellín, Colombia

grupogamma@udea.edu.co

¹ *Investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación El Nus. San José del Nus, San Roque, Antioquia, Colombia*

² *Investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca, Colombia*

Resumen

La conformación corporal es una cualidad física que describe todas las áreas importantes del cuerpo de un animal y es usada como una parte fundamental del proceso de selección, ya que puede ser un buen indicador del tamaño, la composición y la estructura del cuerpo, así como de la calidad racial. El objetivo fue evaluar las relaciones de los rasgos de conformación (VO) de vacas de la raza blanco orejinegro (BON), utilizando el modelado de ecuaciones estructurales (SEM). Se analizaron 20 VO de 982 vacas de la raza BON de diferentes ganaderías de Colombia. Se utilizó un SEM que incluyó las variables latentes (VL) o puntajes corporales respecto a estructura, musculatura, patas y pies, ubre y balance corporal (E, M, P, U y B, respectivamente). Las variables VO de mayor influencia en la E, P y U fueron respectivamente: profundidad torácica, ángulo de la cuartilla y profundidad de la ubre, con cargas factoriales (cf) de 0.85, 0.89 y 0.64, y para la M la conformación de la pierna y el espesor del brazo (con cf superiores a 0.84). La E, M y U estuvieron relacionadas con B (coeficientes de trayectoria superiores a 0.70). Se concluyó que las VO influyen de forma diferente a su respectivo compuesto corporal y que al evaluar la conformación corporal de las vacas BON se deben tener en cuenta las relaciones entre compuestos y variables.

Palabras claves: *análisis multivariado, evaluación de tipo lineal, fenotipo, ganado de carne*

Relationship of body conformation traits in Blanco Orejinegro cows

Abstract

Body conformation is a physical attribute that describe all important areas of an animal's body and its used as a fundamental part of the selection process, since it can be a good indicator of the size, composition and structure of the body as well as breed quality. The objective was to evaluate the relationships of conformation traits (VO) of Blanco Orejinegro cattle (BON) dams, using structural equation modeling (SEM). Twenty VO in 982 lactating BON dams from different herds in Colombia were analyzed. An SEM was used including latent variables (VL) or body scores for structure, musculature, feet and legs, udder and body balance (E, M, P, U and B, respectively). The VO variables with the greatest influence in E, P and U were, respectively: thoracic depth, rear angle and udder depth, with loading factors (cf) of 0.85, 0.89 and 0.64, and for M the conformation of the leg and arm thickness (with cf greater than 0.84). The E, M and U were related to B (path coefficients greater than 0.70). It was concluded that the VO influenced their respective body compound differently and relationships between compounds and variables should be taken into account when body conformation of BON dams is evaluated.

Keywords: *multivariate analysis, linear type evaluation, phenotype, beef cattle*

Introducción

La evaluación de la conformación corporal de los bovinos tiene mucha importancia en los sistemas de producción. Los rasgos de tipo se refieren a la descripción de partes del cuerpo del animal en términos de conformación (White 1974) y se han relacionado con características productivas (Berry et al 2005; Mantovani et al 2005; Corrales et al 2011; Campos et al 2012). No obstante, la selección de características para aumentar la producción de carne o leche, puede resultar en una disminución en el mérito de algunos rasgos de conformación e influir en la salud de los animales (DeGroot et al 2002, Pérez-Cabal et al 2006, Lagrotta et al 2010, McLaren et al 2016), así como en la disminución de la vida productiva (longevidad) y aumentar el descarte por problemas locomotores, reproductivos, estructurales y de ubre (Campos et al 2012).

Según Schneider et al (2003), Berry et al (2005) y Daliri et al (2008), los rasgos de conformación tienen una influencia directa en el manejo de los animales y se relacionan con la rentabilidad del hato. Entonces, la selección de animales resistentes, eficientes y longevos, parte de la descripción de las fortalezas y debilidades del animal sobre las características esqueléticas, musculares y funcionales (Boligon y Albuquerque 2010).

Un problema importante asociado con el uso de rasgos de tipo para evaluar la conformación corporal en programas de mejoramiento genético es el alto número de rasgos puntuados y sus interrelaciones (Mantovani et al 2005). De hecho, los rasgos que se refieren a la misma parte del cuerpo suelen mostrar una alta correlación genética (Corrales et al 2011; Duru et al 2012; Campos et al 2012). Es por eso que, el análisis de la conformación corporal requiere que los rasgos con un significado biológico similar y altas correlaciones se agrupen o reduzcan.

El modelo de ecuaciones estructurales (SEM) es una técnica estadística multivariada que se puede utilizar para reducir la dimensionalidad de los datos y explorar la relación entre rasgos con una mínima pérdida de información, derivando así una red de variables latentes no observadas (VL) a partir de variables observadas (VO) en los animales (Schumacker and Lomax 2010; Rosa et al 2011).

En vista de la importancia de este enfoque estadístico y la necesidad estudiar conjuntamente los rasgos, el objetivo de este trabajo fue evaluar las relaciones de las variables que miden la conformación corporal de las vacas de la raza blanco orejinegro (BON) a través de un modelo de ecuaciones estructurales.



Foto 1. Vacas BON lactantes con sus crías del hato (fotografía tomada por el primer autor)

Materiales y métodos

Datos fenotípicos

Se utilizaron puntajes de 20 rasgos de tipo en 982 vacas BON en etapa de lactancia, recolectados entre los años 2014 y 2019 por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en ganaderías del territorio colombiano. En la Foto 1 visualiza un hato de ganado BON.

La evaluación de los rasgos de tipo o VO se realizó adaptada del sistema de clasificación lineal definido por el Comité Internacional de Registro de Animales (ICAR, 2018). La evaluación se basó en puntuaciones visuales de los extremos biológicos de la morfología de las vacas, expresadas en una escala de uno (1) a nueve (9) puntos, aunque, en algunas VO los extremos no representan el puntaje óptimo o referente. En la Tabla 1 se indica la escala, los valores óptimos y la descripción de las VO que conforman las VL: estructura corporal (E), musculatura (M), patas y pies (P) y ubre (U).

Tabla 1. Descripción de los rasgos de conformación evaluados en ganado BON de Colombia

Variable latente	Rasgos	Escala 1 a 3	Escala 4 a 6	Escala 7 a 9
Estructura (E)	Longitud corporal (LCO)	Corto	Intermedio (7)	Largo
	Nivelación del dorso (NID)	Lordosis	Nivelado (5)	Xifosis
	Amplitud del pecho (AMP)	Estrecho	Intermedio	Ancho (9)
	Profundidad torácica (PTO)	Superficial	Intermedio	Profundo (9)
	Altura al sacro (ASA)	Bajo	Intermedio (6)	Alto
	Ángulo del anca (ANA)	Alto	Nivelado (5)	Bajo
	Amplitud de caderas (AMC)	Estrecho	Intermedio	Amplio (9)
Musculatura (M)	Lomo (LOM)	Poca musculatura	Musculatura intermedia	Musculatura evidente (9)
	Pierna (PER)	Poca musculatura	Musculatura intermedia	Musculatura evidente (9)
	Brazo (BRA)	Poca musculatura	Musculatura intermedia	Musculatura evidente (9)
Patas y pies (P)	Aplomos anteriores (APA)	Cerrados	Centrados (5)	Abiertos
	Ángulo del corvejón (ACO)	Recto	Intermedio (5)	Cerrado
	Ángulo de la cuartilla (ACU)	Bajo	Intermedio (5)	Alto
	Tamaño de la pezuña (TPZ)	Pequeño	Intermedio (5)	Grande
	Ángulo de la pezuña (APZ)	Bajo	Intermedio (5)	Alto
Ubre (U)	Inserción anterior (INA)	Débil	Intermedio	Fuerte (9)
	Ligamento central (LCE)	Débil	Intermedio	Fuerte (9)
	Profundidad de la ubre (PUB)	Alto	Intermedio (5)	Bajo
	Tamaño del pezón (TPZN)	Corto	Intermedio (5)	Largo
	Colocación de pezones (CPZN)	Cerrados	Centrados (5)	Abiertos

Escala usada por Agrosavia para ganado criollo; valores entre paréntesis indican el puntaje óptimo

Esquema del modelo propuesto

La construcción del SEM se realizó bajo las etapas propuestas por Schumacker y Lomax (2010), considerando un modelo jerárquico de segundo grado reflectivo (Becker et al 2012), con cuatro VL exógenas (E, M, P y U) y la VL balance corporal (B) como variable de segundo grado (Figura 1), con las hipótesis:

H₁: El B está influenciado positivamente por la E de las vacas.

H₂: El B está influenciado positivamente por la M de las vacas.

H₃: El B está influenciado positivamente por el conjunto de P de las vacas.

H₄: El B está influenciado positivamente por la U de las vacas.

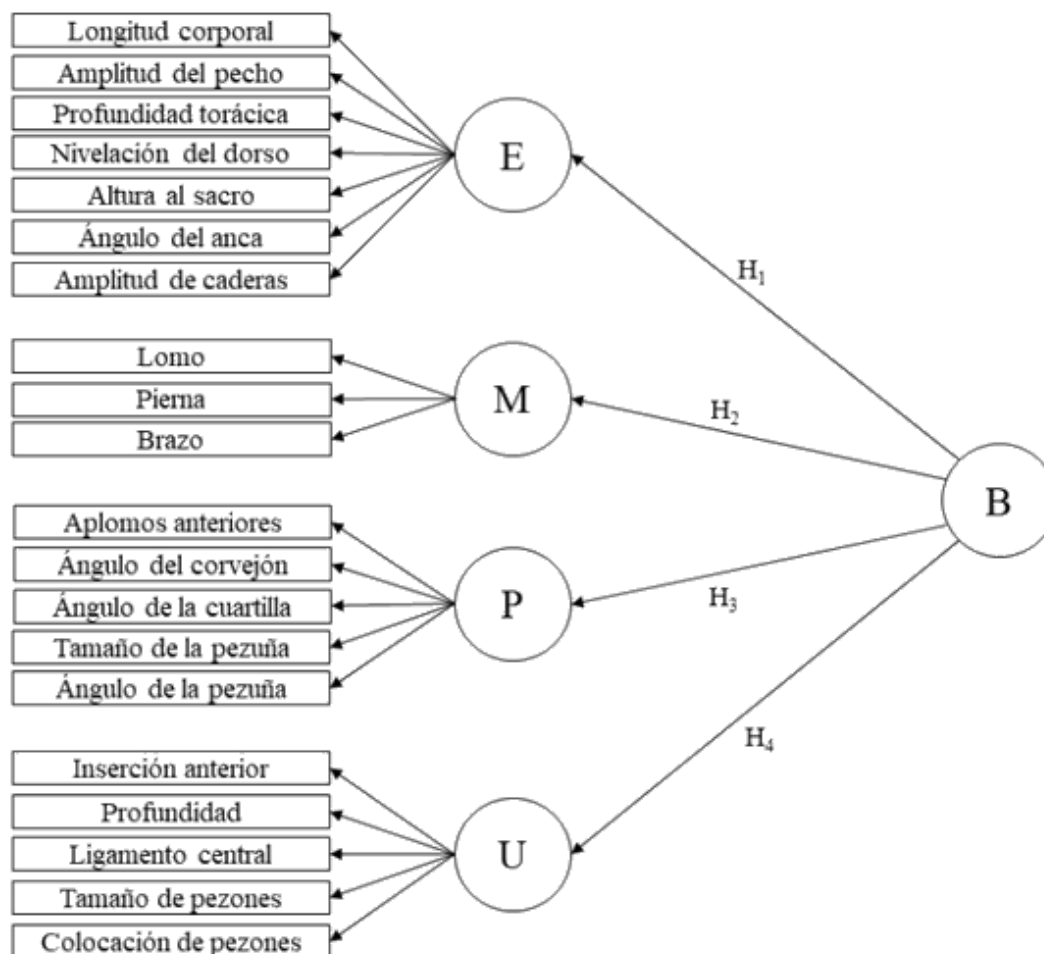


Figura 1. Estructura general preliminar del SEM para los rasgos de conformación en vacas BON (rectángulos y óvalos indican variables observadas y latentes, respectivamente; las flechas que conectan los círculos representan relaciones entre variables latentes (coeficientes de trayectoria); las flechas entre círculos y rectángulos indican la confiabilidad de los indicadores (cargas factoriales)

Análisis de datos

Las VO fueron transformadas restándoles el punto referente según la Tabla 1, con el propósito de unificar las escalas a cero. El desarrollo del SEM se basó en función de los criterios de calidad recomendados por Hair et al (2017), realizados en dos etapas. Primero se evaluó la validez de constructo del modelo de medida a través de la validez convergente, comprobando la magnitud, dirección y significancia de las cargas factoriales estandarizadas en cada VL, la varianza promedio extraída (AVE) y la confiabilidad de constructo (CR).

La segunda etapa consistió en evaluar los criterios de calidad primarios del modelo estructural, que implican la relevancia y la significancia estadística de los coeficientes de trayectoria (CT; coeficientes de regresión estandarizados).

Para el ajuste del modelo se verificó la prueba de bondad de ajuste χ^2 e índices de ajuste alternativos, incluidos CFI, NFI, TLI, RMSEA y SRMR (Schreiber et al 2006). El método de estimación de los parámetros utilizado fue máxima verosimilitud robusta (MLM) debido a la no normalidad del conjunto de datos (Holgado-Tello et al 2018). Todo el análisis fue realizado con el paquete lavaan (Rosseel 2012) del software R-project (R Core Team 2022).

Resultados y discusión

Medias descriptivas

Los promedios de los puntajes de los rasgos de tipo se presentan en la Tabla 2. Los puntajes medios variaron de 3.10 ± 0.87 (profundidad de la ubre, -1.90 del óptimo) a 6.09 ± 1.16 (longitud del cuerpo, 0.02 del óptimo), es decir, para estos dos rasgos las vacas BON tienen capacidad esquelética mediana y ubres altas. Los puntajes promedio de altura al sacro (5.86 ± 1.05) y nivelación del dorso (5.26 ± 0.60) indicaron que las vacas presentan una tendencia rectilínea entre la cruz y el sacro (línea dorso-lumbar).

En la E, la longitud del cuerpo obtuvo la mayor puntuación promedio (6.09 ± 1.16), seguida de la altura al sacro (5.86 ± 1.05). Para la M, el rasgo de mayor puntaje promedio fue el ancho del lomo (5.21 ± 1.23). En cuanto al conjunto de P, los aplomos anteriores promediaron 5.01 ± 0.30 , lo que indica que la mayoría de los animales tienen dirección normal de los miembros en toda su longitud. Finalmente, dentro de los rasgos de la U, la colocación de los pezones mostró el puntaje promedio más alto (5.14 ± 0.65), seguido por el tamaño de los pezones (5.04 ± 0.95) y el ligamento central (4.10 ± 1.68).

Los aspectos fenotípicos de los rasgos de tipo se han documentado en diferentes razas como Holstein (Schneider et al 2003; Corrales et al 2011; Campos et al 2012), Gyr (Lagrotta et al 2010), Jersey (Berry et al 2005, Roveglia et al 2019) y Simmental (Yanar et al 2020), mientras que no se ha reportado estos rasgos para el ganado BON. En el presente estudio, los rasgos que presentaron un puntaje promedio cercano al referente de la raza fueron todas las VO del conjunto de patas y pies, la nivelación del dorso (5.26 ± 0.60), el ángulo del anca (5.69 ± 0.65), el tamaño del pezón (5.04 ± 0.95) y la colocación de pezones (5.14 ± 0.65). Las anteriores VO no hacen parte de M y reflejan la aptitud funcional basada en la calidad de los aplomos delanteros y traseros, rectitud de la línea dorsal con ancas firmes y facilidad en el amamantamiento de la cría.

Tabla 2. Rasgos de conformación corporal de vacas BON en hatos colombianos

Variable latente VL	Rasgos Lineales VO	Ref	Mín	Máx	Media \pm DE	Medi	Desvío referente*
Estructura (E)	Longitud corporal (LCO)	5	3	9	6.09 ± 1.16	6	-0.91 ± 1.16
	Nivelación del dorso (NID)	5	3	8	5.26 ± 0.60	5	0.27 ± 0.60
	Amplitud del pecho (AMP)	9	2	9	5.58 ± 1.23	6	-3.42 ± 1.23
	Profundidad torácica (PTO)	9	2	8	5.60 ± 1.16	6	-3.40 ± 1.16
	Altura al sacro (ASA)	5	2	9	5.86 ± 1.05	6	-0.14 ± 1.05
	Ángulo del anca (ANA)	5	4	8	5.69 ± 0.65	5	0.69 ± 0.65
	Amplitud de caderas (AMC)	9	2	9	5.47 ± 1.19	5	-3.54 ± 1.19
Musculatura (M)	Lomo (LOM)	9	2	8	5.21 ± 1.23	5	-3.72 ± 1.23
	Pierna (PER)	9	1	8	4.61 ± 1.41	5	-4.40 ± 1.41
	Brazo (BRA)	9	1	8	4.21 ± 1.21	4	-4.79 ± 1.21
Patas y pies (P)	Aplomos anteriores (APA)	5	3	7	5.01 ± 0.30	5	0.01 ± 0.30
	Ángulo del corvejón (ACO)	5	2	7	5.14 ± 0.50	5	0.14 ± 0.50
	Ángulo de la cuartilla (ACU)	5	2	8	4.83 ± 0.48	5	-0.17 ± 0.48
	Tamaño de la pezuña (TPZ)	5	3	7	5.06 ± 0.43	5	0.06 ± 0.43
	Ángulo de la pezuña (APZ)	5	2	6	4.86 ± 0.49	5	-1.15 ± 0.49
Ubre (U)	Inserción anterior (INA)	9	1	9	3.40 ± 1.52	3	-5.60 ± 1.52
	Ligamento central (LCE)	9	1	9	4.10 ± 1.68	4	-4.90 ± 1.68
	Profundidad de la ubre (PUB)	5	1	6	3.10 ± 0.87	3	-1.90 ± 0.87
	Tamaño del pezón (TPZN)	5	1	9	5.04 ± 0.95	5	0.04 ± 0.95
	Colocación de pezones (CPZN)	5	2	9	5.14 ± 0.65	5	0.14 ± 0.65

VL: variable latente; VO: rasgos lineales; DE: desviación estándar; * transformación (variable original menos el valor referente de cada característica); Ref: Referente; Mín: Mínimo; Máx: Máximo; Medi: Mediana

Modelo estructural

El análisis del modelo propuesto mostró que ocho VO presentaron cargas factoriales (cf) inferiores a 0.4 o no fueron significativas ($p > 0.05$), con lo cual se reespecificó el modelo sin estas variables, conforme lo recomendado por Hair et al (2017). La confiabilidad compuesta y las varianzas promedio extraídas de las VL fueron de 0.50 y

0.29 para U, 0.60 y 0.37 para P, 0.78 y 0.51 para E y 0.79 y 0.56 para M, respectivamente. Dado que la confiabilidad compuesta fue superior a 0.6 para los modelos de medición, excepto para U, se demostró que los modelos de medición son confiables y sólo dos valores de la varianza media extraída superaron el valor mínimo aceptable de 0.50, según lo indicado por Fornell y Larcker (1981).

Al evaluar la bondad de ajuste del modelo de medición, se encontró un ajuste adecuado a los datos (Tabla 3). Aunque el valor p de χ^2 fue altamente significativo ($p < 0.01$) contrario a lo recomendado por Hair et al (2017), donde la probabilidad de la prueba debe ser no significativa, Byrne (2001) recomendó que el ajuste de parsimonia por tasa χ^2 /gl no debe ser mayor de cinco. En este caso, el valor de la tasa χ^2 /gl fue 4.6.

Tabla 3. Indicadores de bondad de ajuste del modelo SEM para rasgos conformación en vacas de la raza BON

Indicador	Valor
Chi-cuadrado (χ^2), con 50 gl	243.16*
χ^2 /gl	4.63
Índice de ajuste normado (NFI)	0.93
Índice de Tucker-Lewis (TLI)	0.93
Índice de bondad de ajuste comparativo (CFI)	0.94
Raíz del residuo cuadrático medio de aproximación (RMSEA)	0.06
Residual cuadrático medio estandarizado de la raíz (SRMR)	0.04

*valor altamente significativo ($p < 0.01$); gl: grados de libertad

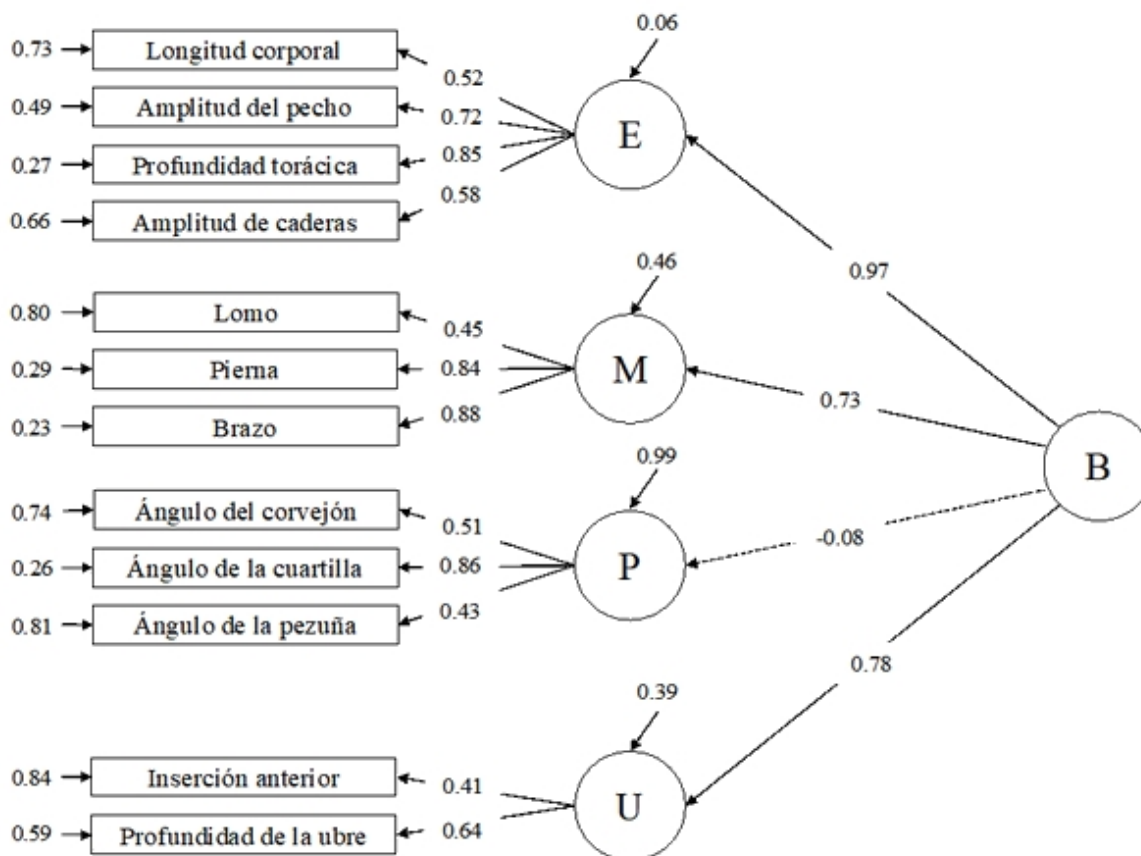


Figura 2. Modelo SEM con las variables latentes estructura (E), musculatura (M), patas y pies (P), ubre (U) y balance corporal (B) de vacas BON en Colombia

Las VO con cf mayores a 0.80 fueron PTO para E; BRA y PER para M y ACU para P, las VO de U tuvieron cf menores a 0.65 (Figura 2). La evaluación del modelo estructural mostró que todas las relaciones para probar los supuestos subyacentes al balance corporal (B) de las vacas fueron significativas ($p < 0.01$), excepto el conjunto de patas y pies ($p > 0.05$), por lo cual se rechazó H_3 . Sin embargo, la P no se excluyó del modelo final dada la

importancia en la producción, pues condiciona la movilidad y desplazamiento del animal. La estructura corporal (E) fue el parámetro que más influyó en el balance corporal (B) de las vacas al indicar un coeficiente de trayectoria de 0.97. Luego, la ubre tuvo mayor influencia que la musculatura sobre el balance corporal (CT=0.78 y CT=0.73, respectivamente).

En la Figura 3 se indican los valores predichos de las VO y de B. En el caso de la E, M y P, las vacas evaluadas no llegaron al valor referente en todas las variables que conformaron estos compuestos, lo que reflejó que pocos individuos lleguen a un balance funcional adecuado, evidenciando la necesidad de incluir estas características en programas de mejora genética.

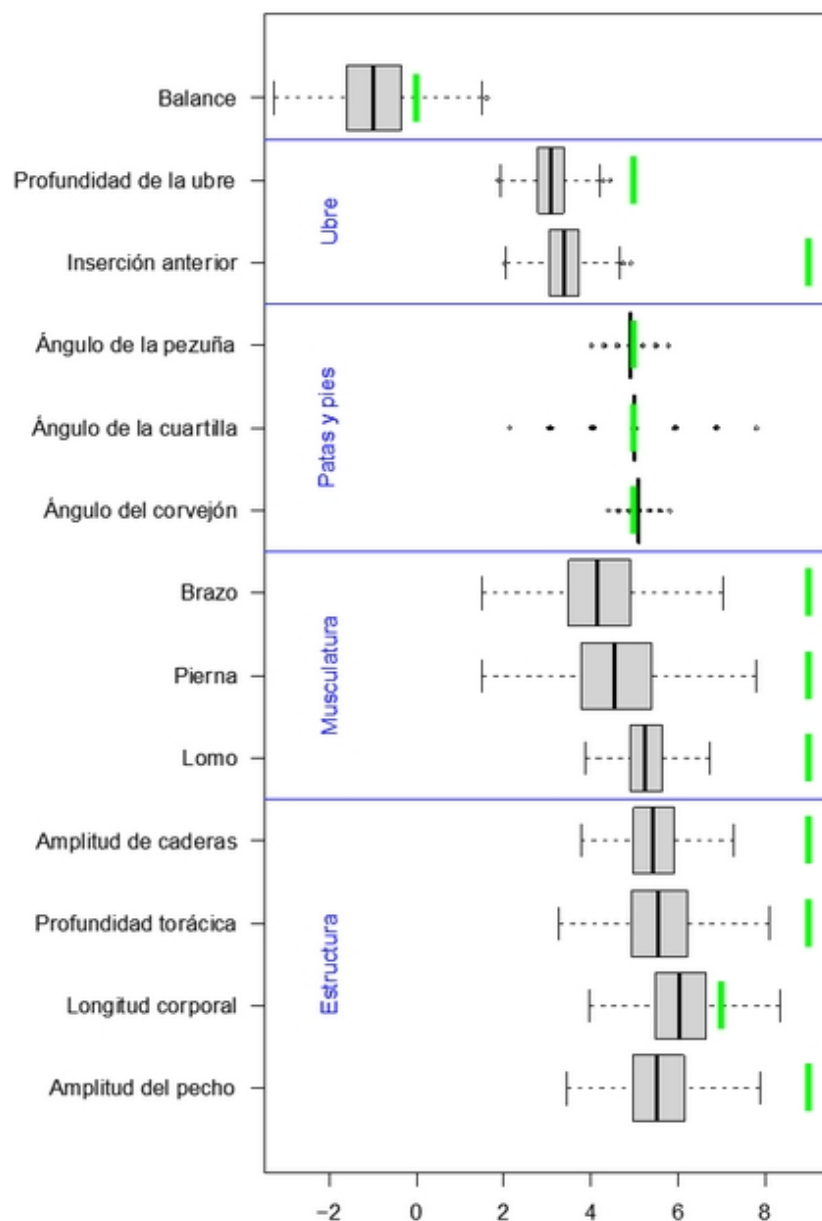


Figura 3. Valores predichos de los rasgos de conformación y del Balance corporal de vacas BON en Colombia y su relación con el valor de referencia para la raza (línea verde)

Conclusiones

- Las vacas BON son de talla mediana, con evidente predominio en el desarrollo de los planos superiores de la grupa. Se presenta debilidad y alta variabilidad en la inserción anterior y ligamento central de la ubre, lo que requiere mayor atención en la selección de animales. Caso contrario al conjunto de patas y pies, donde estas

características indican que los animales tienen aplomos correctos.

- En la selección de vacas BON por conformación corporal se debe considerar en conjunto los rasgos de E, M y U que conlleven a un balance corporal funcional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA adscrita al Ministerio de Agricultura de Desarrollo Rural de Colombia-MADR por la financiación de este trabajo a través de su agenda de investigación en los proyectos ID1000684 e ID1001258. Igualmente al Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA, proyecto BGA1000882), así como a los productores adscritos a la Red de productores de la Raza Blanco Orejinegro por suministrar parte de la información utilizada. También agradecen el apoyo del Grupo de Investigación en Agrociencias, Biodiversidad y Territorio - GAMMA de la Universidad de Antioquia.

Referencias

- Becker J, Klein K and Wetzels M 2012** Hierarchical latent variable models in pls-sem: guidelines for using reflective-formative type models. *Long Range Planning*, 45(5-6):359-394. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2012.10.001>
- Berry D, Harris B, Winkelman A and Montgomerie W 2005** Phenotypic associations between traits other than production and longevity in New Zealand dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 88(8):2962-2974. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72976-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72976-3)
- Boligon A e Albuquerque L 2010** Correlações genéticas entre escores visuais e características reprodutivas em bovinos Nelore usando inferência bayesiana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(12):1412-1418. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200011>
- Byrne B M 2001** Structural Equation Modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey.
- Campos R, Cobuci J, Costa C and Neto J 2012** Genetic parameters for type traits in Holstein cows in Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(1):2150-2161. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001000003>
- Corrales J, Cerón-Muñoz M, Cañas J, Herrera A y Calvo S 2011** Relación entre características de tipo y producción de leche en vacas Holstein de Antioquia, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2):2507-2513. <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/1014/1241>
- Daliri Z, Hafezian S, Shad Parvar S and Rahimi G 2008** Genetic relationships among longevity, milk production and linear type traits in Iranian Holstein Cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(4):512-515. <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2008.512.515>
- DeGroot B, Keown J, Van Vleck L and Marotz E 2002** Genetic parameters and responses of linear type, yield traits, and somatic cell scores to divergent selection for predicted transmitting ability for type in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 85(6):1578-1585. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74227-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74227-6)
- Duru S, Kumlu S and Tuncel E 2012** Estimation of variance components and genetic parameters for type traits and milk yield in Holstein cattle. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 36(6):585-591. <https://doi.org/10.3906/vet-1012-660>
- Fornell C and Larcker D 1981** Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1):39-50. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Hair J, Hult G, Ringle C, Sarstedt M, Richter N and Hauff S 2017** Partial Least Squares Strukturgleichungsmodellierung (PLS-SEM). Verlag Franz Vahlen GmbH Munich.
- Holgado-Tello P, Morata-Ramírez M and Barbero M 2018** Confirmatory factor analysis of ordinal variables: a simulation study comparing the main estimation methods. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 36(3):601-617. <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/apl/a.4932>
- International Committee for Animal Recording (ICAR) 2018** Guidelines for conformation recording of dairy cattle, beef cattle and dairy goats. Section 5 Conformation Recording. <https://www.icar.org/Guidelines/05-Conformation-Recording.pdf>
- Lagrotta M, Euclides R, Verneque R, Júnior M, Pereira R e Torres R 2010** Relação entre características morfológicas e produção de leite em vacas da raça Gir. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(4):423-429. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000400011>

- Mantovani R, Cerchiaro I and Contiero A 2005** Factor analysis for genetic evaluation of linear type traits in dual purpose breeds. Italian Journal of Animal Science, 4(2):31-33. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.2s.31>
- McLaren A, Mucha S, Mrode R, Coffey M and Conington J 2016** Genetic parameters of linear conformation type traits and their relationship with milk yield throughout lactation in mixed-breed dairy goats. Journal of Dairy Science, 99(7):5516-5525. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10269>
- Pérez-Cabal M, García C, González-Recio O and Alenda R 2006** Genetic and phenotypic relationships among locomotion type traits, profit, production, longevity, and fertility in Spanish dairy cows. Journal of Dairy Science, 89(5):1776-1783. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72246-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72246-9)
- R Core Team 2022** R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rosa G, Valente B, de los Campos G, Wu X, Gianola D and Silva M 2011** Inferring causal phenotype networks using structural equation models. Genetics Selection Evolution, 43(6):1-13. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-43-6>
- Rosseel Y 2012** lavaan: An R Package for Structural Equation. Journal of Statistical Software, 48(2):1-36. <https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02>
- Roveglia C, Niero G, Bobbo T, Penasa M, Finocchiaro R, Visentin G, Lopez-Villalobos N and Cassandro M 2019** Genetic parameters for linear type traits including locomotion in Italian Jersey cattle breed. Livestock Science, 229:131-136. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.023>
- Schneider M, Dürr J, Cue R and Monardes H 2003** Impact of type traits on functional herd life of Quebec Holsteins assessed by survival analysis. Journal of Dairy Science, 86(12):4083-4089. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74021-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74021-1)
- Schreiber J, Nora A, Stage F, Barlow E and King J 2006** Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: a review. The Journal of Educational Research, 99(6):323-338. <https://doi.org/10.3200/JOER.99.6.323-338>
- Schumacker RE and Lomax RG 2010** A beginner's guide to structural equation modeling, 3 ed. New York: Routledge Taylor and Francis Group.
- White J M 1974** Role of conformational and managerial traits in dairy cattle breeding. Journal of Dairy Science 57(10):1267-1278. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85051-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85051-4)
- Yanar M, Guler O, Diler A, Aydin R and Koçyiğit R 2020** Appraisal of linear type traits in Simmental cows reared on high altitude of eastern Turkey. Journal of Agricultural Sciences, 26(3):331-338. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.532130>

Received 16 February 2022; Accepted 24 April 2022; Published 3 June 2022