

Estudio morfométrico de pezuñas en genotipos bovinos criados en los humedales del Ñeembucú Paraguay

Rodríguez, I.^{1,4}; Núñez L.^{1,2,4}; Centurión L.M.^{3,4}; Caballero M.^{3,4} y Martínez-López O.R.^{1,2,3,4}

¹Facultad de Ciencias Veterinarias. UNA. San Lorenzo. Paraguay.

²Dirección General de Investigación Científica y Tecnológica. UNA. San Lorenzo. Paraguay.

³Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNA. San Lorenzo. Paraguay.

⁴Grupo de Investigación Recursos Zoogenéticos. Asunción. Paraguay.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Cápsula ungular.
Razas autóctonas.
Razas exóticas.
Adaptación morfológica.

ADDITIONAL KEYWORDS

Hoof capsule.
Local breeds.
Exotic breeds.
Morphological adaptation.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 06.06.2018
Aceptado/Accepted: 28.11.2018
On-line: 15.10.2019
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
mrodriguez@vet.una.py

RESUMEN

Se evaluó la morfometría de pezuñas en bovinos criados en los humedales del Ñeembucú y áreas de influencia. Participaron 80 hembras adultas agrupadas por genotipos en Criollo Ñeembucú; Criollo Pilcomayo; Nelore; Brahman y Brangus, analizándose Longitud muralla (LM); Altura pezuña (AP); Longitud talón (LT); Longitud pezuña (LP); Diagonal pezuña (DP); Grosor pezuña (GP). El análisis con el software R incluyó varianza paramétrica y no paramétrica, y en las pezuñas anterior medial y posterior lateral, Análisis de Componentes Principales, Discriminante Canónico y Clúster por el método de Ward. El Criollo Ñeembucú mostró mayores LM y AP, el Nelore las menores; la LT, reveló estabilidad longitudinal en nativos, no así en el Nelore. La LP fue mayor en Criollos, Nelore y Brangus. La DP mostró adecuado reparto de las cargas. El GP, mayor en el Nelore y Brangus, fue menor en el Brahman, con talones bajos y menores DP y LP. El ACP explicó más del 70% de la variación. El CP1 se asoció positivamente a DP, LP, LM, LT y AP; el CP2 fue vinculado a GP. El ADC explicó mejor la variabilidad entre genotipos, con valores elevados de GP en el Nelore y bajos en el Brahman. El método de Ward conformó grupos con la mayoría de los genotipos, revelando poca diferencia entre individuos; no obstante, algunos clústeres concentraron en grupos diferentes a la mayoría de los animales Nelore y Brahman.

Morphometric study of hooves in bovine genotypes reared in the wetlands of Ñeembucú, Paraguay

SUMMARY

There was an evaluation of the morphometry of hooves in bovines raised in Ñeembucú wetlands and areas of influence. There were 80 adult female participants grouped by genotypes in Criollo Ñeembucú, Criollo Pilcomayo, Nelore, Brahman and Brangus, analyzing Hoof wall length (HWL); Hoof Height (HH); Heel length (HEL); Hoof length (HOL); Diagonal Hoof (DH); Hoof thickness (HT). The analysis with statistical package R included parametric and non-parametric variance, and in anterior medial and posterior medial hooves, Analysis of main components, Canonical Discriminant and Cluster by the Ward method. The (HWL) and (HH) results were higher in the Ñeembucú Criollo and lower in Nelore. The (HEL), revealed longitudinal stability in natives, not in Nelore breed. The HOL was higher in Criollos, Nelore and Brangus, but smaller in the Brahman with low heels and low (DH) and (HOL). The Analysis of Major Components explained more than 70% of the variation. CP1 was positively associated to (DH), (HOL), (HWL), (HEL) and (HH). The CP2 was linked to (HT). The Canonical Discriminant Analysis (CDA) explained better the variability among genotypes, with elevated (HT) values in the Nelore and lower in the Brahman. The Ward Method conformed groups with most of the genotypes, revealing little difference among individuals. Nevertheless, some clusters concentrated in groups different from most of the Nelore and Brahman animals.

INTRODUCCIÓN

La cápsula de la pezuña, adaptada a la tercera falange del dedo, encierra y protege tejidos blandos y

órganos profundos del pie (Greenough 2009, p. 8); las anomalías en su conformación, se traducen en deformidad, con el posterior quiebre del tejido queratinoso

e ingreso de agentes patógenos, capaces de desencadenar procesos mórbidos. En ese sentido, el desplazamiento rutinario del animal fomenta el equilibrio entre la formación y desgaste del tejido córneo, mientras que, la edad, peso, nutrición, manejo, aplomos, padecimiento de enfermedades podales y, fundamentalmente las condiciones medio ambientales, pueden constituir factores predisponentes para la deformación de las pezuñas (Cardona & Cano 2003, p. 251). La conformación anatómica de la pezuña, refleja su actividad funcional; por ello, en animales no claudicantes pueden ser valorados parámetros propios de una pezuña sana, tales como; longitud de muralla, altura de pezuña, longitud del talón, diagonal de pezuña, longitud de pezuña, entre otros. Los mismos fueron ampliamente estudiados en bovinos lecheros, sujetos a prácticas de manejo en ambientes controlados (Mohamadnia & Khaghani 2013, p. 246). Además, han sido analizadas características de tipo en vacas lecheras, incluida la conformación de las pezuñas, con el objetivo de evaluar su relación con los niveles de producción láctea (Corrales et al. 2011, p. 2508). De igual manera, las características anatómicas de las pezuñas fue señalada por Bonsma (1999, p. 10) en la selección del ganado para la eficiencia funcional y ha sido objeto de análisis, teniendo en cuenta, principalmente atributos tales como la pigmentación (Fernández et al. 2001, p. 120; Kayastha et al. 2011, p. 8) y uniformidad (Riera-Nieves et al. 2011, p. 301).

En otro orden de ideas, es importante destacar la adaptación de ciertos grupos genéticos a ecosistemas con características edafo-climáticas particulares, donde son capaces de responder productiva y reproductivamente de manera eficiente (Delgado 2012, p. 22). En Paraguay, constituyen claro ejemplo los bovinos de la genética local, representada entre otros, por el Criollo

Pilcomayo y Ñeembucú, criados en los humedales del Ñeembucú y áreas de influencia, donde las barreras naturales, han favorecido procesos de adaptación y selección natural por exposición prolongada a un medio particular (Martínez-López et al. 2010, p. 524).

En este contexto, la determinación de parámetros anatómicos de las pezuñas, podrá contribuir a identificar individuos adaptados a zonas menos favorecidas en cuanto a la oferta ambiental y forrajera, constituyendo una alternativa válida para el pequeño y mediano productor, bajo sistemas de cría extensiva, donde el desplazamiento del animal es un factor preponderante en la cosecha de su propio alimento. El objetivo del trabajo fue evaluar los parámetros anatómicos de pezuñas en diferentes genotipos bovinos criados bajo condiciones de producción extensiva en los humedales de Ñeembucú y áreas de influencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en fincas ganaderas ubicadas en los Humedales del Ñeembucú y áreas de influencia, afectando los departamentos de Ñeembucú, Misiones, Paraguari y Central, en las localidades de Isla Umbú, a -58.4116525 longitud oeste y -27.0466633 latitud sur; Nueva Italia, a -57.4756850 longitud oeste y -25.5138530 latitud sur; San Miguel, a -57.0502620 longitud oeste y -26.6252670 latitud sur; Caapucú a -57.1643630 longitud oeste y -26.2750150 latitud sur; todas, situadas en la Región Oriental del Paraguay, Ecorregión Chaco Húmedo (Bartrina 2007, p. 31). El tipo climático de Thornthwaite corresponde al subhúmedo húmedo, megatérmico y precipitación pluvial entre 1400 - 1600 mm/año.

Tabla I. Estadística descriptiva por grupos genéticos para Longitud de Muralla, Altura de Pezuña y Longitud de Talón (Descriptive statistics by genetic groups for Hoof Wall Length, Hoof Height and Heel Length).

Genotipos	Estadístico	Longitud de Muralla				Altura de Pezuña				Longitud de Talón			
		AL	AM	PL	PM	AL	AM	PL	PM	AL	AM	PL	PM
CP	Media (mm)	68,00	65,49	65,10	66,08	58,75	55,35	55,80	55,29	44,16	40,97	39,92	35,70
	D.E. (±mm)	5,26	7,03	6,00	5,87	6,42	4,31	4,99	6,52	5,09	4,20	5,22	5,08
	CV %	7,73	10,73	9,22	8,88	10,93	7,79	8,95	11,80	11,53	10,25	13,09	14,22
CÑ	Media (mm)	67,51	64,46	67,81	66,15	66,20	61,41	62,21	60,77	46,34	40,59	43,32	35,32
	D.E. (±mm)	7,49	7,59	8,14	6,46	8,58	7,92	8,17	7,89	6,51	8,01	6,02	3,53
	CV %	11,10	11,78	12,01	9,76	12,96	12,90	13,13	12,98	14,06	19,73	13,89	9,99
NE	Media (mm)	63,88	62,83	59,96	61,93	55,33	52,06	51,59	48,41	50,57	44,96	40,85	38,40
	D.E. (±mm)	3,57	4,30	5,32	4,57	3,86	4,91	4,10	3,72	4,56	4,24	3,87	3,97
	CV %	5,59	6,84	8,88	7,37	6,98	9,43	7,95	7,68	9,02	9,43	9,47	10,33
BH	Media (mm)	63,85	62,51	62,61	60,49	60,50	55,87	56,97	56,84	40,83	35,41	34,31	30,66
	D.E. (±mm)	3,04	4,70	3,09	3,70	5,65	3,55	4,44	4,59	4,25	4,20	3,76	2,68
	CV %	4,76	7,51	4,94	6,12	9,35	6,35	7,80	8,08	10,41	11,86	10,96	8,76
BG	Media (mm)	63,47	62,89	63,73	61,60	59,38	57,33	56,89	54,86	46,72	41,27	39,54	34,10
	D.E. (±mm)	4,17	4,87	5,06	4,75	4,08	4,77	3,90	4,10	6,41	4,43	7,68	6,65
	CV %	6,47	7,74	7,94	7,71	6,88	8,32	6,85	7,48	13,72	10,72	19,42	19,49

CP: Criollo Pilcomayo; CÑ: Criollo Ñeembucú; NE: Nelore; BH: Brahman; BG: Brangus; D.E.: desvío estándar; CV: coeficiente de variación; mm: milímetros; AL: Anterior lateral; AM: Anterior medial; PL: Posterior lateral; PM: Posterior medial.

Cabe destacar que debido a las características edafoclimáticas propias de la región, ésta se destina a actividades de cría y recría para la producción de terneros; por esta razón, el grupo en evaluación estuvo constituido por hembras adultas, bajo sistema de producción extensivo, en praderas constituidas por pastizales y en algunos casos, potreros de gramíneas implantadas como ser *Paspalum sp.*, *Cynodon sp.* y *Brachiarias sp.*, con suplementación mineral durante el periodo invernal.

La evaluación fue realizada durante el verano 2016, agrupando las hembras por genotipos en Criollo Ñeembucú, Criollo Pilcomayo, Brangus, Nelore y Brahman; siendo los dos primeros locales, originalmente criados en la región y los tres últimos exóticos, instalados, difundidos y tradicionalmente utilizados en la zona. Se conformaron cinco grupos, cada uno con 16 hembras bovinas no claudicantes, líneas de aplomos normales y pezuñas uniformes.

Para la medición de las pezuñas lateral y medial, de los miembros anterior y posterior lado izquierdo, fueron conducidas al corral de aparte e ingresadas al brete y caja de operaciones, procediendo a la identificación a través de botones numerados aplicados en el pabellón auricular, lado izquierdo. Una vez inmovilizadas, fueron elevados secuencialmente los miembros torácico y pelviano, registrando los siguientes datos: Longitud de muralla (LM), medida desde el límite proximal del perioplo, hasta el vértice de la pezuña, siguiendo el borde dorsal de la muralla; Altura de pezuña (AP), desde el límite proximal del perioplo, hasta el borde distal de la tapa, sobre la superficie abaxial de la muralla; Longitud del talón (LT), desde el límite proximal con la piel pilosa del talón, hasta una línea que une los extremos axial y abaxial de la línea alba, en la superficie solar de la pezuña; Longitud de pezuña (LP) en la superficie solar de

la pezuña, desde el vértice, hasta una línea que une los extremos axial y abaxial de la línea alba; Diagonal de la pezuña (DP) desde el vértice, hasta el límite proximal de la banda perióplica que cubre al talón; Grosor de pezuña (GP) a nivel del borde distal de la tapa, en la parte abaxial de la línea blanca (Mohamadnia & Khaghani 2013, p. 246). Todas las mediciones se expresaron en milímetros, utilizando vernier digital, con rango de medición de 150 milímetros y precisión de 0,01 mm. Los datos se analizaron con el software R (R Core Team 2018) estimando medidas de tendencia central y dispersión; la distribución teórica de las observaciones se verificó con el test de Kolmogorov – Smirnov, aplicando análisis de varianza y test de Tukey como prueba *pos hoc* en las variables de distribución paramétrica; mientras que, en las no paramétricas, se utilizó el test de Kruskal Wallis y el contraste Dunn. Las pezuñas anterior medial y posterior lateral, más propensas a padecer lesiones podales, fueron sometidas a análisis de Componentes Principales; a fin de discriminar y agrupar las poblaciones en estudio fueron utilizados Análisis discriminante canónico y Clúster utilizando análisis jerárquico mediante la distancia Euclidea y el método de Ward.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Observando resultados descriptivos, la longitud de muralla (LM) reveló medias superiores en animales de la genética local, frente a aquellos de origen exótico (Tabla I); en ese sentido, el Criollo Ñeembucú mostró pezuñas laterales con murallas más largas que las mediales, en los miembros anterior y posterior (67,51 mm y 67,81 mm, respectivamente). En este punto, cabe destacar que es razonable esperar mayor LM en las pezuñas laterales, sobre todo del miembro posterior, debido

Tabla II. Estadística descriptiva por grupos genéticos para Longitud de Pezuña, Diagonal de Pezuña y Grosor de pezuña (Descriptive statistics by genetic groups for Hoof Length, Diagonal Hoof and Hoof Thickness).

Genotipos	Estadístico	Longitud de Pezuña				Diagonal de Pezuña				Grosor de pezuña			
		AL	AM	PL	PM	AL	AM	PL	PM	AL	AM	PL	PM
CP	Media (mm)	73,87	75,34	71,95	69,38	117,29	115,86	110,42	106,70	4,62	4,84	5,33	5,37
	D.E. (±mm)	6,94	7,23	8,15	6,38	7,07	8,03	8,71	7,30	0,96	0,99	0,90	1,00
	CV %	9,39	9,60	11,33	9,20	6,03	6,93	7,89	6,84	20,74	20,49	16,83	18,86
CÑ	Media (mm)	76,93	77,26	71,22	70,33	117,87	115,10	110,90	107,23	5,57	5,66	5,06	5,37
	D.E. (±mm)	11,63	11,11	13,05	9,53	15,51	15,39	16,62	13,71	0,86	1,00	0,96	1,03
	CV %	15,11	14,39	18,33	13,55	13,16	13,37	14,99	12,78	15,36	17,64	19,05	19,10
NE	Media (mm)	70,40	71,87	69,91	67,71	113,62	111,41	106,01	100,51	6,37	6,86	6,64	6,46
	D.E. (±mm)	6,30	6,00	7,90	6,08	6,59	5,12	5,14	4,87	1,47	0,97	1,42	0,89
	CV %	8,95	8,34	11,31	8,98	5,80	4,60	4,85	4,85	23,03	14,14	21,36	13,82
BH	Media (mm)	64,93	64,41	60,85	58,52	107,65	100,71	100,78	96,51	4,20	4,94	3,76	4,21
	D.E. (±mm)	3,80	4,11	6,08	4,81	4,46	12,2	4,70	5,24	1,28	0,87	0,87	0,66
	CV %	5,85	6,38	10,00	8,22	4,15	11,94	4,67	5,43	30,46	17,68	23,27	15,64
BG	Media (mm)	67,39	69,16	66,02	60,97	113,10	109,17	105,56	100,58	6,27	6,70	6,21	5,91
	D.E. (±mm)	10,14	9,14	7,65	9,24	8,73	8,54	10,21	7,01	1,48	1,53	1,89	1,95
	CV %	15,05	13,21	11,59	15,16	7,72	7,82	9,67	6,97	23,58	22,86	30,44	33,03

CP: Criollo Pilcomayo; CÑ: Criollo Ñeembucú; NE: Nelore; BH: Brahman; BG: Brangus; D.E.: desvío estándar; CV: coeficiente de variación; mm: milímetros; AL: Anterior lateral; AM: Anterior medial; PL: Posterior lateral; PM: Posterior medial.

a la distribución desigual del peso, con sobrecarga en la pezuña externa y en respuesta a la estabilidad de la unión ilio-sacral (González & Ramos 2002, pp. 60–1; König & Liebich 2008, pp. 266–67; Sisson, Grossman & Getty 2000, p. 408). En cuanto a los demás genotipos, tuvieron un comportamiento similar al descrito precedentemente, excepto el Criollo Pilcomayo y el Nelore, que registraron mayores LM en la pezuña posterior medial y no en la lateral; destacándose este último genotipo, con el menor valor en la pezuña posterior lateral (59,96 mm). Este hecho podría suponer una sobrecarga anormal, en la pezuña interna del miembro posterior izquierdo, durante la fase de inclinación derecha del desplazamiento y mayor rigidez en la interconexión pezuña externa - interna - eje del miembro (González & Ramos 2002, p. 61). En cuanto a la variabilidad, en el Criollo Ñeembucú fue media (10 – 20%) y baja (<10%) en el Criollo Pilcomayo, evidenciando este último, mayor uniformidad. Tras la aplicación del test de Tukey y las comparaciones entre medias de los rangos y su varianza (**Tabla III**) fue posible detectar que la LM de las pezuñas lateral y medial del miembro anterior, fueron similares en todos los genotipos ($p>0,05$); de igual manera, no se registraron diferencias entre el Criollo Ñeembucú, Criollo Pilcomayo y Brangus en cuanto a la LM posterior lateral (67,81 mm; 65,10 mm y 63,73 mm, respectivamente), que resultaron ser las más elevadas, y diferentes estadísticamente, al Nelore, cuya LM fue claramente menor (59,96 mm). Los largos mensurados en la genética nativa, coincidieron con lo reportado por Riera-Nieves et al. (2011, p. 301) en un grupo de bovinos de la raza Carora, con pezuñas de 5 a 7,5 cm, consideradas de largo normal o medio. Es importante tener en cuenta que, desde el punto de vista zootécnico, la ocurrencia de pérdidas de hasta 10% en la producción cárnica, se encuentra asociada a la falta de cuidados de la pezuña (Cardona & Cano 2003, p. 249); con LM excesivos, índices de conversión alimenticia menos eficientes y menores ganancias diarias de peso; esta situación fue evaluada en la raza Bonsmara, que mostró mejores índices de conversión alimenticia, con LM por debajo de 6,5 cm (Bonsma 1999, p. 10).

Referente a la altura de pezuña (AP), el Criollo Ñeembucú presentó medias superiores frente a los demás genotipos (**Tabla I**), siendo evidente en las laterales, anterior (66,20 mm) y posterior (62,21 mm) junto a mayores DE ($\pm 8,58$ mm y $\pm 8,17$ mm, respectivamente); contrariamente, el Nelore tuvo las menores AP, en todas las pezuñas. Es menester destacar que, todos los genotipos tuvieron AP laterales mayores a las mediales y sus valores fueron declinando, al confrontarlos con la LM, en consonancia con la disminución del largo en dirección dorso - palmar/plantar, situación congruente con la relación 2:1, existente entre la longitud de la muralla y la altura del talón (Cardona & Cano 2003, p. 250). Estadísticamente, las diferencias entre los genotipos nativos fueron significativas (**Tabla III**), principalmente en la anterior lateral, anterior medial y posterior lateral; por otro lado, y a nivel de la pezuña posterior medial, el Nelore se distinguió de los demás genotipos ($p<\alpha$), al ser el de menor AP, con 48,41mm. Los valores mencionados se encontraron por debajo de los reportados por Mohamadnia y Khaghani (2013, p.

247) en lecheras con retraso en la preñez y mantenidas en estabulación libre.

En relación a la longitud del talón (LT), conforme se aprecia en la **Tabla I**, el Nelore tuvo los mayores valores, principalmente en la pezuña anterior lateral (50,57 mm); mientras que, en el Brahman fueron bajas y con menores dispersiones en torno a la media, sobre todo en la pezuña posterior medial ($\pm 2,68$ mm), en la que además se registró la menor longitud (30,66 mm). La evaluación de la LT, implica la valoración del desarrollo de la parte proximal de la almohadilla digital, estructura que funciona absorbiendo fuerzas de choque durante la marcha, más aún en el miembro pelviano, que toca el plano de sustentación en primera instancia, con la porción lateral de los talones (Greenough 2009, p. 22); en ese sentido, Greenough (2009, p. 138) indicó una profundidad promedio de 3,8 cm en bovinos Holstein. Siguiendo la misma línea de análisis, Mohamadnia y Khaghani (2013, p. 247) reportaron alturas de 3,00 a 4,00 cm en vacas lecheras, mientras que Corrales et al. (2011, p. 2509) informaron un promedio de 4,79 cm en ganado Holstein de Antioquia, Colombia. En general, los resultados obtenidos en este estudio, coincidieron con lo publicado por dichos autores. En cuanto a las diferencias detectadas entre los genotipos, cabe destacar que si bien es cierto el Nelore obtuvo puntuaciones superiores, éstas no fueron estadísticamente diferentes ($p>\alpha$) a las registradas en los nativos, sobre todo a nivel de las pezuñas anterior medial y posterior lateral (**Tabla III**). En este punto, cabe destacar que, Greenough (2009, p. 166) observó la importancia de valorar la estabilidad longitudinal de las pezuñas, considerando el desarrollo del talón asociado a la longitud de muralla. En ese sentido, la evaluación de ambos parámetros en este estudio, reflejó un crecimiento balanceado en los nativos, con mayores LM y LT, por lo tanto, equilibrio entre las cargas que soporta la pezuña en sus mitades anterior y posterior; no así en el Nelore, que mostró falta de estabilidad longitudinal al presentar menores LM y mayores LT, más claramente en la pezuña posterior lateral. Estas observaciones coincidieron con los resultados publicados por Vargas et al. (2017, pp. 2380–82) en dicho grupo genético, que reveló incidencia de problemas y puntuaciones desfavorables en la pezuña, en 5% y 7%, respectivamente; destacando además importantes pérdidas económicas por la incapacidad manifiesta de realizar funciones productivas y reproductivas satisfactorias, más allá del mérito genético alcanzado en cuanto a rasgos de crecimiento y carcasa.

En cuanto a la longitud de pezuña (LP), las medidas de resumen que describen el comportamiento de dicho parámetro, se observan en la **Tabla II**. Los valores de la III y IV pezuña, anterior y posterior, fueron mayores en la genética local. En el miembro torácico, la LP medial fue mayor a la lateral, tanto en el criollo Ñeembucú (77,26 mm vs 76,93 mm) como Pilcomayo (75,34 mm vs 73,87 mm); mientras que en el miembro pelviano se verificó una situación inversa, siendo la LP lateral, mayor en ambos genotipos. Estos parámetros presentaron, en general, elevada uniformidad en el criollo Pilcomayo, con CV bajos. Analizando las significancias estadísticas (**Tabla III**), los nativos mostraron un comportamiento similar entre sí y frente al Nelore, sobre todo en la

pezuña posterior lateral; no así frente al Brahman, que registró LP bajas, constituyendo una característica distintiva entre éste y los criollos ($p < \alpha$). Cabe destacar que König y Liebich (2008, p. 357), al describir la mecánica de apoyo durante el desplazamiento, manifestaron que la superficie de contacto con el plano de sustentación está dada por el borde solar de la pared córnea, la suela, y 40 a 60 % de la almohadilla digital. En relación a este hecho, una mayor LP, tal como la registrada en los nativos y el Nelore, propiciaría mayor contacto durante la marcha y amortiguación de las fuerzas de choque. Por otro lado, Perusia (2001, p. 75) señaló una relación entre la suela y el talón de 3:1, la que no fue observada en los genotipos evaluados en este estudio.

La diagonal de pezuña (DP) mostró en los criollos, medias con puntuaciones superiores en las pezuñas laterales frente a las internas, sobre todo en las del miembro anterior (**Tabla II**), situación que, desde el punto de vista biomecánico, resulta fisiológicamente razonable, ya que el animal soporta mayores cargas en el tren anterior, por la localización del centro de gravedad, más próximo al miembro torácico, que al pelviano (König & Liebich 2008, p. 266). Cabe destacar que, el Criollo Pilcomayo e integrantes de la genética exótica, mostraron mayor concentración de las dispersiones en torno a la media, obteniendo en general CV por debajo de 10%. Los valores de DP más bajos correspondieron al Brahman, que resultaron estadísticamente diferentes de los consignados en los nativos (**Tabla III**), excepto para la pezuña posterior lateral, donde distancias me-

Tabla III. Significancia estadística de los parámetros evaluados en los diferentes genotipos (Statistical significance of the parameters evaluated in the different genotypes).

Variables	Genotipos	AL	AM	PL	PM
LM	CP	68,00 _a	65,49 _a	65,10 _b	66,08 _c
	CÑ	67,51 _a	64,46 _a	67,81 _b	66,15 _{bc}
	NE	63,88 _a	62,83 _a	59,96 _a	61,93 _{abc}
	BH	63,85 _a	62,51 _a	62,61 _{ab}	60,49 _a
	BG	64,47 _a	62,89 _a	63,73 _b	61,60 _{ab}
AP	CP	58,75 _{ab}	55,35 _{ab}	55,80 _{ab}	55,29 _b
	CÑ	66,20 _c	61,41 _c	62,21 _c	60,77 _b
	NE	55,33 _a	52,06 _a	51,59 _a	48,41 _a
	BH	60,50 _{bc}	55,87 _{abc}	56,97 _{bc}	56,84 _b
	BG	59,38 _{bc}	57,33 _{bc}	56,89 _b	54,86 _b
LT	CP	44,16 _{ab}	40,97 _b	39,92 _b	35,70 _{bc}
	CÑ	46,34 _{bc}	40,59 _b	43,32 _b	35,32 _{bc}
	NE	50,57 _c	44,96 _b	40,85 _b	38,40 _c
	BH	40,83 _a	35,41 _a	34,31 _a	30,66 _a
	BG	46,72 _{bc}	41,27 _b	39,54 _{ab}	34,10 _{ab}
LP	CP	73,87 _b	75,34 _c	71,95 _b	69,38 _c
	CÑ	76,93 _b	77,26 _c	71,22 _b	70,33 _c
	NE	70,40 _{ab}	71,87 _{bc}	69,91 _b	67,71 _{bc}
	BH	64,93 _a	64,41 _a	60,85 _a	58,52 _a
	BG	67,39 _a	69,16 _{ab}	66,02 _{ab}	60,97 _{ab}
DP	CP	117,29 _b	115,86 _b	110,42 _a	106,70 _c
	CÑ	117,87 _b	115,10 _b	110,90 _a	107,23 _{bc}
	NE	113,62 _{ab}	111,41 _b	106,01 _a	100,51 _{ab}
	BH	107,65 _a	100,71 _a	100,78 _a	96,51 _a
	BG	113,10 _{ab}	109,17 _{ab}	105,56 _a	100,58 _{ab}
GP	CP	4,62 _{ab}	4,84 _a	5,33 _b	5,37 _{ab}
	CÑ	5,57 _{bc}	5,66 _{ab}	5,06 _b	5,37 _{ab}
	NE	6,37 _c	6,86 _c	6,64 _c	6,46 _b
	BH	4,20 _a	4,94 _a	3,76 _a	4,21 _a
	BG	6,27 _c	6,70 _{bc}	6,21 _{bc}	5,91 _b

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña; CP: Criollo Pilcomayo; CÑ: Criollo Ñeembucú; NE: Nelore; BH: Brahman; BG: Brangus. AL: Anterior lateral; AM: Anterior medial; PL: Posterior lateral; PM: Posterior medial. Medias agrupadas por variables, con letra diferente por columnas son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Tabla IV. Análisis de autovalores, proporción de la varianza explicada y la varianza acumulada en la pezuña anterior medial (Analysis of eigenvalues, proportion of variance explained and cumulative variance in the anterior medial hoof).

Variabes	Autovalores	Proporción Varianza Explicada	Varianza Acumulada
LM	3,01	0,50	0,50
AP	1,23	0,20	0,71
LT	0,69	0,12	0,82
LP	0,49	0,08	0,90
DP	0,41	0,07	0,97
GP	0,16	0,03	1,00

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón, LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña

didadas desde el vértice del estuche córneo, hasta el límite proximal de la banda perióptica, fueron similares en todos los genotipos ($p > \alpha$). Los resultados coincidieron en general, con los mencionados por Greenough (2009, p. 166) en vacas Holstein adultas, excepto en el Brahman, cuya DP posterior medial (96,51 mm) fue menor a 10 - 14 cm referidos por dicho autor.

En cuanto al grosor del borde distal de la tapa (GP), los resultados en la **Tabla II** revelaron medias superiores en el Nelore y Brangus; mientras que, el Brahman se caracterizó por menores GP y una marcada concentración de las observaciones en torno a la media, en las pezuñas anterior medial, posterior lateral y posterior medial ($\pm 0,87$ mm; $\pm 0,87$ mm; $\pm 0,66$ mm, respectivamente). Por otro lado, se observaron valores promedio superiores de GP en el miembro torácico del Criollo Ñeembucú, Brahman y Brangus, al ser confrontados con los del miembro pelviano; mientras que, en el Criollo Pilcomayo este comportamiento fue inverso. En general, el parámetro en evaluación mostró CV de medios a altos, en todos los grupos. Siguiendo la línea del análisis, el ANOVA detectó diferencias globales entre los genotipos. En la **Tabla III** se observan los resultados del test de comparación de medias, que discriminó dos grupos entre los integrantes de la genética transnacional; por un lado, el de mayor GP, integrado por el Nelore y Brangus y por el otro, el de menor GP constituido por el Brahman ($p < \alpha$). Es importante considerar que el

grosor de la línea blanca, unión vulnerable e inestable entre el tejido córneo de la muralla y la suela, está afectada por la altura de las lamillas epidérmicas, estimada en promedio en 4 - 5 mm (König & Liebich 2008, p. 360). En ese sentido, el GP en los nativos fue similar a dicho valor; mientras que, en los exóticos, fue superior, con excepción del Brahman, cuya media resultó ser menor (3,76 mm) en la pezuña posterior lateral, más propensa a sufrir patologías podales (Perusia 2001, pp. 66-9; Solano et al. 2016, pp. 6832-34).

El Análisis de Componentes principales explicó las variaciones observadas en las pezuñas anterior medial y posterior lateral. En cuanto a la pezuña anterior medial, cabe destacar que, con apenas dos componentes, se pudo explicar el 71% de la variación total, que constituyó un valor alto (**Tabla IV**). Las variables DP, LP, LM, LT y AP se relacionaron positivamente al primer componente, verificándose mayor peso de asociación entre el CP1 y los tres primeros parámetros, en coincidencia con el valor de los autovectores, estimados en 0,53; 0,48; 0,46, respectivamente (**Tabla V**). La **Figura 1**, reveló una mayor agrupación de las observaciones en el Criollo Pilcomayo y en el Brahman, frente a los demás grupos genéticos. De igual manera, cabe destacar que el grupo de los nativos y el Brahman mostraron mayor inercia, asociándose al primero, valores elevados y al segundo, bajos. Las variables DP, LP y LM, se correlacionaron positivamente entre sí. La variabilidad introducida por el segundo componente, correspondió al GP, cuyo coeficiente fue 0,67, asociándose al Nelore, con valores positivos y superiores, mientras que, en el Brahman, la dirección de las observaciones fue opuesta.

En cuanto a la pezuña posterior lateral, la variación explicada fue mayor (79%) a la anterior medial, con igual número de componentes (**Tabla VI**). Las variables que integraron los CP1 y CP2 fueron idénticas a las descritas en la III pezuña del miembro anterior, con pesos similares o próximos (**Tabla VII**). Las observaciones más distantes de cero, sobre la proyección del CP1, pertenecieron a los nativos y el Brahman; mientras que, aquellas correspondientes al Nelore en la misma dirección que GP (CP2), estuvieron asociadas a valores altos y fueron opuestos al Brahman. Los resultados descritos revelaron congruencia con lo manifestado por Greenough (2009, p. 138) sobre la DP, su heredabilidad y alta repetibilidad, puntualizando que dicha medida,

Tabla V. Autovectores de los dos primeros componentes principales en la pezuña anterior medial (Eigenvalues of the first two main components in the anterior medial hoof).

Variabes	CP ₁	CP ₂
LM	0,46	-0,25
AP	0,32	-0,55
LT	0,39	0,43
LP	0,48	-0,05
DP	0,53	0,06
GP	0,18	0,67

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón, LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña; CP₁: Primer Componente Principal; CP₂: Segundo Componente Principal.

incluye entre otras, a la LP; condición que fue verificada en este estudio.

Al igual que en la pezuña anterior medial, se observó mayor agrupación en el Criollo Pilcomayo y Brah-

man, sumándose, además, el Nelore, para la pezuña posterior lateral (Figura 2). Esta condición es congruente con las correlaciones genéticas reportadas por varios autores, entre las características de conformación y

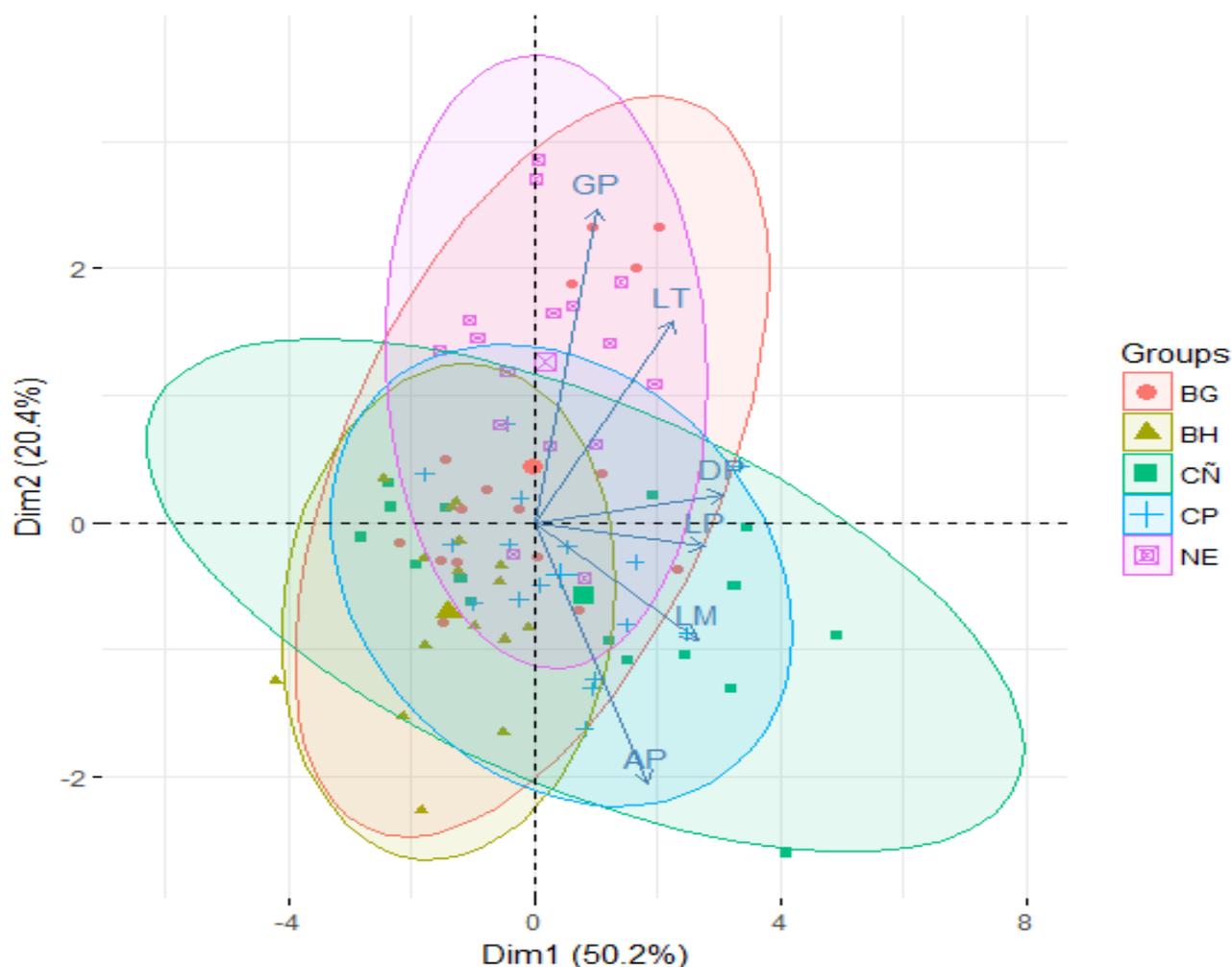


Figure 1. Análisis de componentes principales sobre los parámetros morfométricos evaluados en la pezuña anterior medial. LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña. El color turquesa representa al CP: Criollo Pilcomayo; el color amarillo al BH: Brahman; el color rojo al BG: Brangus; el color fucsia al NE: Nelore; el color verde al CÑ: Criollo Neembucú (Analysis of main components on the morphometric parameters evaluated in the anterior medial hoof. Hoof wall length (HWL); Hoof Height (HH); Heel length (HEL); Hoof length (HOL); Diagonal Hoof (DH); Hoof thickness (HT). The turquoise color represents the CP: Criollo Pilcomayo; the yellow color to BH: Brahman; the red color to BG: Brangus; the fuchsia color to NE: Nelore; the green color to the CN: Criollo Neembucú).

Tabla VI. Análisis de autovalores, proporción de la varianza explicada y la varianza acumulada en la pezuña posterior lateral (Analysis of eigenvalues, proportion of variance explained and cumulative variance in the lateral posterior hoof).

Variabes	Autovalores	Proporción Varianza Explicada	Varianza Acumulada
LM	3,39	0,57	0,57
AP	1,35	0,23	0,79
LT	0,52	0,09	0,88
LP	0,40	0,07	0,94
DP	0,24	0,04	0,98
GP	0,09	0,02	1,00

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón, LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña

Tabla VII. Autovectores de los dos primeros componentes principales en la pezuña posterior lateral. (Eigenvectors of the first two main components in the posterior lateral hoof).

Variables	CP ₁	CP ₂
LM	0,46	-0,32
AP	0,38	-0,45
LT	0,39	0,31
LP	0,45	0,15
DP	0,52	0,04
GP	0,14	0,76

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña; CP₁: Primer Componente Principal; CP₂: Segundo Componente Principal.

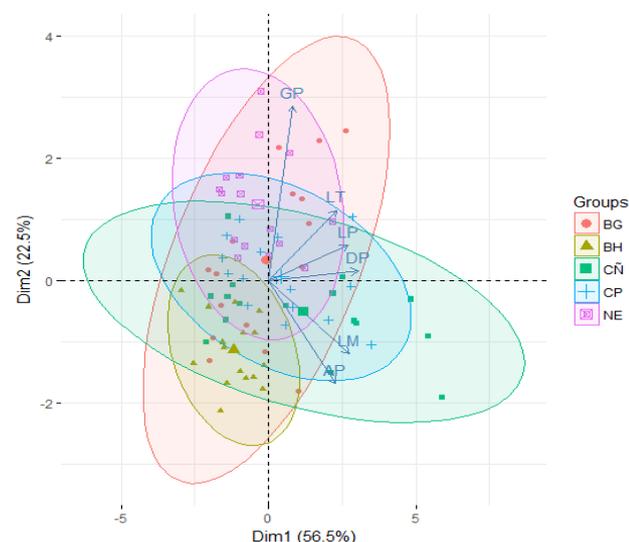


Figure 2. Análisis de componentes principales sobre los parámetros morfométricos evaluados en la pezuña posterior lateral. LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña. El color turquesa representa al CP: Criollo Pilcomayo; el color amarillo al BH: Brahman; el color rojo al BG: Brangus; el color fucsia al NE: Nelore; el color verde al CN: Criollo Ñeembucú. (Analysis of main components on the morphometric parameters evaluated in the lateral posterior hoof. Hoof wall length (HWL); Hoof Height (HH); Heel length (HEL); Hoof length (HOL); Diagonal Hoof (DH); Hoof thickness (HT). The turquoise color represents the CP: Criollo Pilcomayo; the yellow color to BH: Brahman; the red color to BG: Brangus; the fuchsia color NE: Nelore; the green color to the CN: Criollo Ñeembucú).

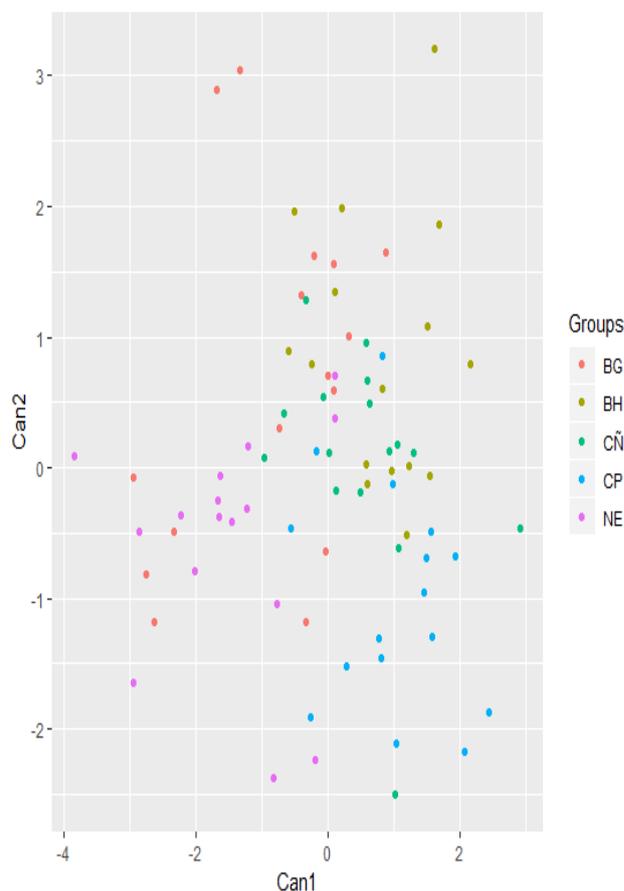


Figure 3. Representación canónica de cinco genotipos bovinos en los parámetros morfométricos evaluados en la pezuña anterior medial. El color turquesa representa al CP: Criollo Pilcomayo; el color amarillo al BH: Brahman; el color rojo al BG: Brangus; el color fucsia al NE: Nelore; el color verde al CN: Criollo Ñeembucú (Canonical representation of five bovine genotypes on the morphometric parameters evaluated in the anterior medial hoof. The turquoise color represents the CP: Criollo Pilcomayo; the yellow color to BH: Brahman; the red color to BG: Brangus; the fuchsia color NE: Nelore; the green color to the CN: Criollo Ñeembucú).

entre éstas con índices productivos y reproductivos (Corrales et al. 2011; Greenough 2009, p. 143; Rizzi et al. 2007, p. 63), así como en respuesta a los programas de mejoramiento genético aplicados en razas transnacionales y criterios de selección empleados en el rebaño del Criollo Pilcomayo a partir de la década del 80 (Martínez-López et al. 2010, pp. 524–5).

Tabla VIII. Análisis Discriminante Canónico por genotipo (Canonical Discriminant Analysis for genotypes).

	Pezuña Anterior medial			Pezuña Posterior lateral		
	Autovalor	Proporción autovalor	Proporción Acumulada	Autovalor	Proporción autovalor	Proporción Acumulada
1	1,08	51,04	51,04	1,05	61,18	61,18
2	0,53	25,27	76,31	0,42	24,52	85,70
3	0,48	22,63	98,94	0,19	11,41	97,11
4	0,02	1,06	100,00	0,05	2,89	100,00

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña.

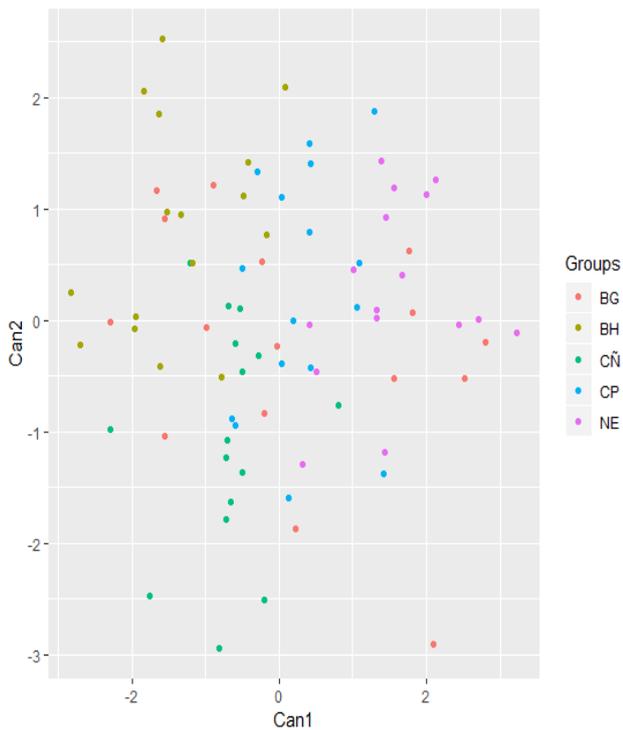


Figura 4. Representación canónica de cinco genotipos bovinos en los parámetros morfométricos evaluados en la pezuña posterior lateral. El color turquesa representa al CP: Criollo Pilcomayo; el color amarillo al BH: Brahman; el color rojo al BG: Brangus; el color fucsia al NE: Nelore; el color verde al CN: Criollo Ñeembucú (Canonical representation of five bovine genotypes on the morphometric parameters evaluated in the lateral posterior hoof. The turquoise color represents the CP: Criollo Pilcomayo; the yellow color to BH: Brahman; the red color to BG: Brangus; the fuchsia color NE: Nelore; the green color to the CN: Criollo Ñeembucú).

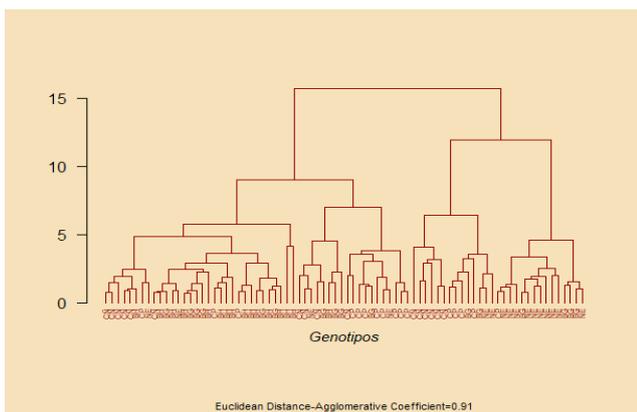


Figure 5. Representación canónica de cinco genotipos bovinos en los parámetros morfométricos evaluados en la pezuña posterior lateral. El color turquesa representa al CP: Criollo Pilcomayo; el color amarillo al BH: Brahman; el color rojo al BG: Brangus; el color fucsia al NE: Nelore; el color verde al CN: Criollo Ñeembucú (Canonical representation of five bovine genotypes on the morphometric parameters evaluated in the lateral posterior hoof. The turquoise color represents the CP: Criollo Pilcomayo; the yellow color to BH: Brahman; the red color to BG: Brangus; the fuchsia color NE: Nelore; the green color to the CN: Criollo Ñeembucú).

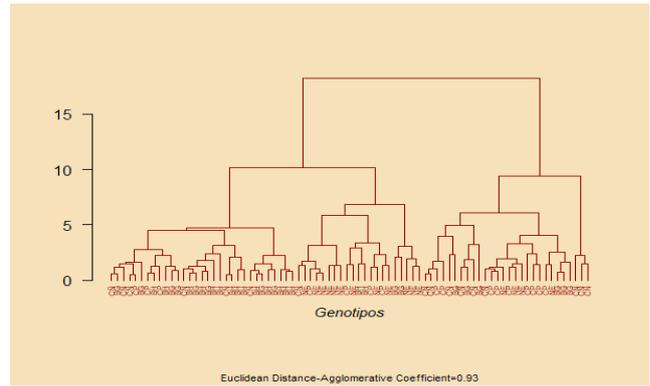


Figure 6. Dendrograma basado en la distancia Euclidiana entre los animales pertenecientes a cinco genotipos, considerando los parámetros morfométricos en la pezuña posterior lateral (Dendrogram based on the Euclidean distance between animals belonging to five genotypes, considering the morphometric parameters in the lateral posterior hoof).

Los resultados del Análisis Discriminante Canónico (ADC) se exponen en la **Tabla VIII**; en ella se observa la contribución proporcional de los ejes canónicos en la explicación de la variación entre genotipos. En ese sentido, las dos primeras dimensiones, tanto en la pezuña anterior medial (76,31%) como posterior lateral (85,70%), recogieron más del 70% de las variaciones capaces de discriminar los genotipos. La **Tabla IX** agrupó los coeficientes estandarizados reflejando la contribución de cada atributo en la constitución de la variable canónica. Teniendo en cuenta lo manifestado por Adeyemi y Oseni (2018, p. 10), las características con pesos iguales o superiores a 0,30, calificadas como aquellas con mayor poder discriminante, contribuyeron a explicar la variación entre poblaciones; en este caso, constituidas por GP (-0,84); LP (-0,76) y DP (0,53) sobre el primer eje en la pezuña anterior medial; mientras que, sobre el segundo eje canónico integradas por AP (0,77); LP (-0,57); DP (-0,47) y GP (0,37). De igual manera, sobre la primera variable canónica en la pezuña posterior lateral, fueron determinantes AP (-0,71); GP (0,56) y LP (0,54); y en la segunda, DP (1,25); LT (-0,79); AP (-0,64); LP (-0,48) y LM (-0,42). A fin de apoyar la interpretación de la contribución de cada una de las variables señaladas precedentemente,

Tabla IX. Coeficiente canónico estandarizado (Standardized canonical coefficients).

Variables	Pezuña anterior medial		Pezuña posterior lateral	
	CAN 1	CAN 2	CAN 1	CAN 2
LM	0,12	0,03	-0,26	-0,42
AP	0,12	0,77	-0,71	-0,64
LT	-0,76	-0,26	0,19	-0,79
LP	0,09	-0,57	0,54	-0,48
DP	0,53	-0,47	0,06	1,25
GP	-0,84	0,37	0,56	-0,28

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón; LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña.

Tabla X. Funciones discriminantes canónicas totales por genotipo (Total canonical discriminant functions for genotypes).

Variables	Pezuña anterior medial		Pezuña posterior lateral		
	CAN 1	CAN 2	Variables	CAN 1	CAN 2
GP	-0,84	0,07	GP	0,81	-0,34
LP	0,09	-0,61	AP	-0,57	-0,67
DP	-0,003	-0,63	LT	0,31	-0,76

LM: Longitud de muralla; AP: Altura de pezuña; LT: Longitud de talón, LP: Longitud de pezuña; DP: Diagonal de pezuña; GP: Grosor de pezuña

fue analizada la estructura canónica total, es decir las correlaciones simples entre las variables originales y las funciones discriminantes canónicas (Lorbes et al. 2014, p. 43). En ese sentido, el GP explicó mejor la variabilidad de los genotipos en torno a las características de las pezuñas anterior medial y posterior lateral (-0,84 y 0,81, respectivamente), seguidos por LP (-0,61) y DP (-0,63) en la pezuña III del miembro torácico; así como AP (-0,67) y LT (-0,76) en la IV pezuña del miembro pelviano (**Tabla X**).

Los gráficos bidimensionales de las variables CAN 1 y CAN 2 en las pezuñas anterior medial (**Figura 3**) y posterior lateral (**Figura 4**) revelaron superposición de los diferentes grupos genéticos, denotando poca diferencia entre los individuos. Teniendo en cuenta que los genotipos fueron criados en diferentes localidades, pertenecientes todas a la misma Ecorregión (Chaco Húmedo) estos resultados fueron razonables y coinciden con los hallazgos reportados por Pezzini et al. (2018, p. 607) en animales de la raza Criolla Laggeana, provenientes de tres orígenes diferentes, todos localizados en la meseta de Santa Catarina. Cabe destacar que los resultados del ADC en la pezuña anterior medial, fueron reafirmados en la **Figura 3**, con valores altos para GP en animales del genotipo Nelore, los que aparecieron a la izquierda del gráfico de dispersión en el espacio discriminante, atendiendo el valor negativo del coeficiente; mientras que, los individuos Brahman se concentraron a la derecha, con valores bajos. Esta situación fue similar a la observada en la **Figura 4** (pezuña posterior lateral), considerando que el valor del coeficiente para el mismo atributo, fue positivo.

El método jerárquico aglomerativo de Ward reflejó los hallazgos señalados anteriormente. Los valores de los coeficientes (**Figura 5**=0,91; **Figura 6**=0,93) fueron elevados, indicando la correlación entre las distancias definidas por la medida del árbol binario y las distancias originales entre los individuos. Aproximadamente, a la mitad de la distancia máxima registrada en el eje de distancias, se constató la fusión de las ramas o nodo, distinguiendo así la formación de cuatro clústeres a partir de las variables analizadas en las pezuñas anterior medial (**Figura 5**) y posterior lateral (**Figura 6**). Considerando que el método maximizó la homo-

geneidad dentro de los grupos y la disimilitud entre ellos, es menester señalar que los mismos estuvieron integrados por la mayoría de los genotipos evaluados; no obstante, algunos concentraron el agrupamiento de individuos pertenecientes al genotipo Nelore, Brahman y Criollo Ñeembucú, en clústeres diferentes.

CONCLUSIÓN

La evaluación morfométrica de las pezuñas en los genotipos analizados revelaron mayores LM y AP en el Criollo Ñeembucú y menores en el Nelore. Su valoración conjunta con la LT demostró estabilidad longitudinal en los nativos y desequilibrio en la distribución de las cargas en el Nelore. En cuanto a la LP, el Criollo Ñeembucú, Criollo Pilcomayo, Nelore y Brangus mostraron mayor superficie de apoyo. La DP fue congruente con el adecuado reparto de las cargas, entre los miembros torácico y pelviano, en todos los genotipos. El GP, fue mayor en el Nelore y Brangus, y menor en el Brahman, que además expuso talones poco profundos, así como menores diagonal y superficie de apoyo. El Análisis de Componentes Principales explicó un elevado porcentaje de la variación observada en las pezuñas anterior medial y posterior lateral. En ambas, el CP1 estuvo asociado a DP, LP, LM, LT y AP; mientras que, el CP2, fue vinculado al GP. Conforme al Análisis Discriminante Canónico, el GP explicó mejor la variabilidad de los genotipos en torno a las características de las pezuñas anterior medial y posterior lateral, con valores altos en el Nelore y bajos en el Brahman observándose superposición de los demás grupos genéticos. El método jerárquico aglomerativo de Ward conformó grupos integrados por la mayoría de los genotipos, denotando poca diferencia entre los individuos; no obstante, algunos aglutinaron en clústeres diferentes a la mayoría de los individuos pertenecientes al genotipo Nelore y Brahman.

AGRADECIMIENTOS

A los productores, Sr. Eduardo Prayones e Ing. Agr. Guillermo Souto, quienes gentilmente acompañaron este trabajo y siguen haciendo posible la continuidad del verdadero patrimonio genético del Paraguay. Igual agradecimiento a los ganaderos; Abog. José Jacquet y Med. Vet. Gustavo Granada.

Este proyecto fue financiado por el CONAYT a través del programa PROCENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación e Investigación - FEEI

BIBLIOGRAFÍA

- Adeyemi, MA & Oseni, SO 2018, 'Canonical discriminant analysis applied to biometric data of nigerian indigenous turkeys', *Archivos de Zootecnia*, vol. 67, pp. 7-12.
- Bartrina, I 2007, 'Contexto geográfico general.', in *Biodiversidad del Paraguay: una aproximación a sus realidades.*, 1st edn, Fundación Moisés Bertoni, Asunción, pp. 25-32.
- Bonsma, DJ 1999, *Selección del ganado por eficiencia funcional (EF)*, Sitio Argentino de la Producción Animal, p. 12, viewed 22 March 2017, <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/22-eficiencia_funcional.pdf>.

- Cardona, J & Cano, N 2003, 'Alteraciones digitales en el ganado bovino del trópico bajo', *Revista MVZ Córdoba*, vol. 8, pp. 249–253.
- Corrales, J, Cerón-Muñoz, M, Cañas, J & Herrera, C 2011, 'Relación entre características de tipo y producción de leche en vacas Holstein de Antioquia, Colombia', *Revista MVZ Córdoba*, vol. 16, pp. 2507–2513.
- Delgado, JV 2012, 'Conservación y utilización de los Recursos genéticos de los animales de Granja.', *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, vol. 2, pp. 19–23.
- Fernández, G, Rodríguez, M, Silveira, C & Barba, C 2001, 'Estudio étnico de los bovinos criollos del Uruguay: II. Análisis de las faneras', *Archivos de Zootecnia*, vol. 50, pp. 119–124.
- González, A & Ramos, JM 2002, 'Mecánica de apoyo, recorte funcional y laminitis en bovino', *MG Mundo Ganadero*, Madrid, pp. 60–68.
- Greenough, P 2009, *Laminitis y claudicaciones en bovinos: cómo encarar esta problemática*, C Bergsten, A Brizzi & Mülling C. (eds), 1st edn, Inter-Médica, Buenos Aires.
- Kayastha, RB, Zaman, G, Goswami, RN & Haque, A 2011, 'Physical and morphometric characterization of indigenous cattle of Assam', *Open Veterinary Journal*, vol. 1, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tripoli and Libyan Authority for Research, Science and Technology, Tripoli, Libya, no. 1, pp. 7–9.
- König, HE & Liebich, HG 2008, *Anatomía de los animales domésticos*, 2nd edn, Médica Panamericana, Buenos Aires.
- Lorbes Medina, J, Garcia Orellana, Y, Milla Pino, M & Diaz, L 2014, 'Análisis discriminante canónico con técnicas gráficas multivariadas aplicado a un diseño con dos factores', *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 11, pp. 38–47.
- Martínez-López, OR, Prayones, E, Arrúa, A, Ochipinti, G, Gabaglio, JM, Godoy, E, Servín, G, Martínez-Martínez, A & Delgado, JV 2010, 'Actividades de Conservación in situ y ex situ del ganado bovino Criollo Pilcomayo del Paraguay.', in *Memorias del XI Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zootenéticos*, Red Conbiand, pp. 523–526.
- Mohamadnia, A & Khaghani, A 2013, 'Evaluation of hooves' morphometric parameters in different hoof trimming times in dairy cows', *Veterinary Research Forum*, vol. 4, pp. 245–249.
- Perusia, Ó 2001, 'Patologías Podales Del Bovino', *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 12, pp. 65–77.
- Pezzini, TG, Mariante, AS, Martins, E, Paiva, S, Rolo, J, Seixas, L, Peripolli, V, Tanure, CBGS & McManus, C 2018, 'Biometric evaluation of Brazilian Crioula Lageana cattle.', *Archivos De Zootecnia*, vol. 67, pp. 604–608.
- R Core Team 2018, *R: A language and environment for statistical computing.*, 3.4.4, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Riera-Nieves, M, Vila-vals, V, Nieves-crespo, L & Zabaleta, J 2011, 'Características morfológicas de las pezuñas y su relación con el grado y distribución de las claudicaciones en vacas de raza carora', *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, vol. 1, pp. 300–303.
- Rizzi, R, Pedron, O, Samoré, A, Hahn, M, Riera, M & Vila, V 2007, 'Parámetros genéticos de las características morfológicas de ganado Carora.', *Revista Científica, FCV-LUZ*, vol. 17, pp. 58–65.
- Sisson, S, Grossman, J & Getty, R 2000, *Anatomía de los animales domésticos.*, 5th edn, Masson, Barcelona.
- Solano, L, Barkema, HW, Mason, S, Pajor, EA, LeBlanc, SJ & Orsel, K 2016, 'Prevalence and distribution of foot lesions in dairy cattle in Alberta, Canada', *Journal of Dairy Science*.
- Vargas, G, Neves, HHR, Cardoso, V, Munari, DP & Carvalheiro, R 2017, 'Genetic analysis of feet and leg conformation traits in nelore cattle', *Journal of Animal Science*, vol. 95, pp. 2379–2384.