



Desarrollo y validación de ecuación predictora de peso en caballos de carrera pura sangre

Development and validation of a weight prediction equation for thoroughbred racehorses

Desenvolvimento e validação da equação de previsão de peso para cavalos de corrida puro-sangue

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.361>

Micaela Mishel Cañar Montes
mica7329@gmail.com

Carlos Octavio Larrea Izurieta
clarrea@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López".
Calceta, Ecuador

Artículo recibido: 3 de febrero 2025 / Arbitrado: 6 de marzo 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

En Ecuador, la ausencia de básculas en muchos criaderos de caballos genera discrepancias al estimar el peso mediante cintas métricas. Lo que motivó a desarrollar y validar una ecuación predictora de peso, a través de mediciones zoométricas en caballos pura sangre de carrera. Se utilizaron 53 caballos con rango de 2 a 20 años de edad. Las medidas evaluadas fueron: alzada a la cruz (AC), perímetro torácico (PT) y diámetros: longitudinal (DL), dorso-esternal (DD) y bicostal (DBC). Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple, se redujo las variables con el método stepwise backward, se revisó los coeficientes a través del valor de probabilidad y el factor de inflación de la varianza. Se comparó con otras ecuaciones para estimar el peso de caballos descritas en la literatura a través del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (MSE) y su raíz cuadrada (RMSE). Los resultados fueron, peso vivo $487,64 \pm 41,80$ kg, AC $160,25 \pm 4,26$ cm, PT $162,30 \pm 4,10$ cm, DL $162,30 \pm 4,10$ cm, DD $64,42 \pm 4,91$ cm y DBC $43,26 \pm 3,06$ cm. La ecuación obtenida fue $\text{Peso} = -764,58 + 1,49 * (\text{AC}) + 5,56 * (\text{PT})$ con R^2_{aj} de 0,7262 y criterio de información de Akaike de 329,94. Con base en las medidas MAE, MSE y RMSE, el modelo propuesto resultó ser más eficiente sobre las demás ecuaciones analizadas. Se concluye que la ecuación desarrollada puede servir para estimar el peso en caballos de pura sangre de carreras.

Palabras clave: Criterio de información de Akaike; Equinos pura sangre; Morfometría; Regresión lineal; Valor de inflación

ABSTRACT

In Ecuador, the lack of scales in many horse farms leads to discrepancies when estimating weight using tape measures. This motivated the development and validation of a weight prediction equation using zoometric measurements in Thoroughbred racehorses. Fifty-three horses ranging in age from 2 to 20 years were used. The measurements evaluated were height at the withers (H2), thoracic circumference (TC), and longitudinal (L), dorsal-sternal (DS), and bicostal diameters (BDC). A multiple linear regression model was constructed, variables were reduced using the stepwise backward method, and coefficients were reviewed using the probability value and the variance inflation factor. The model was compared with other equations for estimating horse weight described in the literature using the adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and the mean square error (RMSE). The results were, live weight 487.64 ± 41.80 kg, AC 160.25 ± 4.26 cm, PT 162.30 ± 4.10 cm, DL 162.30 ± 4.10 cm, DD 64.42 ± 4.91 cm and DBC 43.26 ± 3.06 cm. The equation obtained was $\text{Weight} = -764.58 + 1.49 * (\text{AC}) + 5.56 * (\text{PT})$ with R^2_{aj} of 0.7262 and Akaike information criterion of 329.94. Based on the MAE, MSE and RMSE measures, the proposed model turned out to be more efficient than the other equations analyzed. It is concluded that the developed equation can be used to estimate weight in thoroughbred racehorses.

Key words: Akaike information criterion; Thoroughbred horses; Morphometry; Linear regression; Inflation value

RESUMO

No Equador, a falta de balanças em muitas explorações de cavalos leva a discrepâncias na estimativa do peso através de fitas métricas. Isto motivou o desenvolvimento e validação de uma equação de previsão de peso, utilizando medidas zoométricas em cavalos de corrida puro-sangue. Foram utilizados 53 cavalos com idades compreendidas entre os 2 e os 20 anos. As medidas avaliadas foram: altura ao garrote (AC), perímetro torácico (PT) e diâmetros: longitudinal (DL), dorsoesternal (DD) e bicostal (DBC). Foi construído um modelo de regressão linear múltipla, as variáveis foram reduzidas através do método stepwise backward e os coeficientes foram revistos através do valor de probabilidade e do fator de inflação da variância. Foi comparado com outras equações para a estimativa do peso dos cavalos descritas na literatura através do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro absoluto médio (MAE), erro quadrático médio (MSE) e a sua raiz quadrada (RMSE). Os resultados foram, peso vivo $487,64 \pm 41,80$ kg, CA $160,25 \pm 4,26$ cm, PT $162,30 \pm 4,10$ cm, DL $162,30 \pm 4,10$ cm, DD $64,42 \pm 4,91$ cm e DBC $43,26 \pm 3,06$ cm. A equação obtida foi $\text{Peso} = -764,58 + 1,49 * (\text{AC}) + 5,56 * (\text{PT})$ com R^2_{aj} de 0,7262 e critério de informação de Akaike de 329,94. Com base nas medidas MAE, MSE e RMSE, o modelo proposto mostrou-se mais eficiente que as restantes equações analisadas. Conclui-se que a equação desenvolvida pode ser utilizada para estimar o peso em cavalos puro-sangue de corrida.

Palavras-chave: Critério de informação de Akaike; Cavalos puro-sangue; Morfometria; Regressão linear; Valor da inflação

INTRODUCCIÓN

La determinación precisa del peso corporal en caballos es un parámetro crítico para optimizar su manejo, ya que influye directamente en aspectos clave como la intensidad del ejercicio físico, la formulación de dietas nutricionales, la dosificación segura de medicamentos, la evaluación de su condición corporal mediante sistemas estandarizados (como los índices de 1 a 5) y el ajuste de parámetros productivos en sistemas de cría o entrenamiento (1-3). Sin embargo, esta práctica enfrenta limitaciones operativas: muchos criadores, propietarios o centros ecuestres no realizan mediciones frecuentes debido a la inaccesibilidad de básculas especializadas para ganadería equina, herramientas que requieren infraestructura y recursos económicos significativos (4). Esta realidad genera dependencia de métodos indirectos, como la estimación mediante cintas métricas, que presentan márgenes de error que pueden comprometer la salud y el rendimiento de los animales.

Aunque, la ausencia de datos confiables sobre el peso vivo dificulta, además, la toma de decisiones basadas en evidencia, afectando desde la prevención de sobrepeso u obesidad hasta la eficiencia en la administración de tratamientos veterinarios (5, 6). La adquisición de básculas especializadas constituye un obstáculo económico

para muchos criadores y profesionales, algunos recurrieron al uso de cintas métricas torácicas como alternativa para estimar el peso corporal (7). Este método, ampliamente aplicado en diversas especies animales (8), se basa en ecuaciones que relacionan el perímetro torácico con el peso vivo, considerando que esta variable presenta una correlación significativa con la masa corporal y es fácil de medir (9).

Sin embargo, su precisión es limitada: las estimaciones pueden variar según la condición física del animal, la técnica de medición o factores individuales no contemplados en las fórmulas generales. Además, al depender exclusivamente de una única medida, este enfoque no considera parámetros complementarios que podrían mejorar la exactitud, como la alzada o la conformación muscular. A pesar de estas limitaciones, el perímetro torácico sigue siendo una herramienta práctica en contextos donde no existen recursos para métodos directos, aunque su aplicación requiere interpretación crítica para evitar errores que afecten decisiones clave en el manejo equino. De ahí, la necesidad de desarrollar ecuaciones predictivas para estimar el peso de los caballos surge como respuesta a la inaccesibilidad de básculas especializadas, ofreciendo a criadores, propietarios y profesionales herramientas metodológicas que optimicen la precisión en este cálculo crítico (2).

Por tanto, entre los métodos alternativos, las medidas zoométricas como el perímetro torácico, el diámetro longitudinal y la alzada a la cruz destacan por su utilidad práctica y su simplicidad técnica, características que las convierten en pilares para la estimación del peso corporal en animales de producción (9). Estos parámetros anatómicos, al correlacionarse con la masa corporal, permiten integrar variables múltiples en modelos matemáticos que superen las limitaciones de métodos unidimensionales, como las cintas métricas tradicionales. La combinación de estas mediciones en ecuaciones validadas no solo reduce errores asociados a factores individuales o contextuales, sino que también facilita la adaptación a diferentes razas, edades y condiciones físicas, garantizando una base científica para decisiones clave en nutrición, salud y manejo equino.

En este contexto, la zoometría, disciplina enfocada en el análisis cuantitativo de las formas morfológicas de los animales mediante mediciones corporales precisas (10), permite caracterizar su estructura anatómica y evaluar parámetros como la proporcionalidad, el desarrollo muscular o la conformación ósea. Para realizar este proceso, se emplean herramientas especializadas: bastones zoométricos para medir alturas y longitudes, compases y calibradores para evaluar diámetros y espesores, y cintas métricas para registrar perímetros (11). La aplicación de estas técnicas

ha llevado al desarrollo de ecuaciones predictivas del peso vivo en diversas razas equinas (12), ya que cada grupo racial presenta particularidades morfológicas como proporciones corporales, densidad muscular o distribución de tejidos que exigen modelos matemáticos específicos.

Por lo que, las razas de talla compacta o de perfil atlético podrían requerir ajustes en las variables incluidas en las fórmulas, mientras que factores como la edad, el sexo o la condición física también influyen en la precisión de las estimaciones. Este enfoque metodológico no solo refleja la diversidad biológica entre especies y razas, sino que también subraya la importancia de la adaptación científica para garantizar herramientas prácticas y confiables en el manejo equino. Además, el análisis de regresión constituye un método estadístico fundamental para establecer relaciones matemáticas entre variables, lo que resulta esencial en la estimación del peso corporal de los caballos. Este procedimiento permite: a) identificar patrones lineales o no lineales entre medidas zoométricas (como alzada a la cruz o perímetro torácico) y el peso vivo, b) calcular valores estimados del peso mediante ecuaciones que integran variables independientes observadas, y c) proyectar resultados futuros basados en datos históricos o actuales, incluso extrapolando a escenarios no cubiertos por la muestra original (13).

En este sentido, esta técnica se traduce en herramientas prácticas: por ejemplo, un modelo de regresión que combine alzada y perímetro torácico podría predecir el peso de un caballo sin necesidad de básculas, mientras que su capacidad predictiva permite anticipar cómo variarán las estimaciones al introducir nuevos datos o ajustar parámetros según la raza, edad o condición física del animal. La precisión de estas ecuaciones depende críticamente de la calidad de las variables seleccionadas y de la validación estadística, asegurando que las "predicciones" especialmente cuando se aplican fuera del rango de la muestra mantengan su fiabilidad en entornos reales de manejo equino.

Por consiguiente, en la literatura internacional existen ecuaciones para estimar el peso de equinos, las cuales suelen considerar factores como la raza, categoría y edad del animal (1, 14). No obstante, estas fórmulas no han sido adaptadas a contextos ecuatorianos, lo que genera limitaciones prácticas. Además, las heterogeneidades en las unidades de medida de algunas expresan variables en centímetros o pulgadas, mientras que los resultados se reportan en kilogramos o libras según el país de origen, introduce inconsistencias que pueden distorsionar la relación entre el peso estimado y el peso real (14). Por lo que, ¿Es posible desarrollar una ecuación predictora de peso corporal específica para caballos purasangres

de carrera en Ecuador, basada en medidas zoométricas locales, que supere en precisión a modelos genéricos y genere datos confiables para el manejo nutricional, farmacológico y deportivo de esta raza?

Ante esta problemática, el estudio se propuso desarrollar y validar una ecuación específica para caballos purasangres de carreras, basada en mediciones zoométricas locales, con el fin de ofrecer una herramienta estandarizada y contextualizada que supere las limitaciones de modelos genéricos y garantice mayor precisión en la estimación del peso vivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el haras Cotacachi ubicado en la Parroquia Cotogchoa en el Cantón Rumiñahui de la provincia de Pichincha situado geográficamente en 0°23'39.88" S y 78°25'17.29" O a 2873 m.s.n.m. Se utilizaron 53 caballos (*Equus caballus*) adultos pura sangre de carrera con edades comprendidas en el rango de 2 y 20 años de edad, mantenidos en pesebreras y cumpliendo diferentes niveles de entrenamiento para desarrollar velocidad. Para lo que se desarrolló una investigación de tipo cuantitativa con enfoque descriptivo-correlacional. Las técnicas que se utilizaron durante esta investigación fueron las de observación-medición, mediante las cuales se recopilaron los datos de las medidas corporales

de los caballos con dos bastones zoométricos de aluminio de fabricación artesanal de diferentes medidas y una cinta métrica inextensible, todas las mediciones fueron expresadas en centímetros.

Con el zoometro de bastón largo (2,00 m) se cuantificó la alzada a la cruz (AC) que corresponde a la longitud del tramo vertical entre el punto más elevado de la cruz y la superficie en la que se sostiene el animal (15), diámetro longitudinal (DL) que corresponde a la distancia vertical entre el punto más craneal del tronco y el punto más caudal de la tuberosidad isquiática (16). Con el bastón mediano (1,20 m) se determinó el diámetro dorso-esternal (DD) que es considerada la distancia del tramo lineal entre el punto más alto de la cruz y el esternón en el plano justo detrás del codo y diámetro bicostal (DBC) que indica la amplitud máxima de la zona torácica, específicamente en el arco de la quinta costilla cerca de la axila, se observa mejor justo detrás del codo, donde las costillas muestran una mayor estabilidad (16).

La cinta métrica inextensible permitió obtener la medida del perímetro torácico (PT), mismo que considera los puntos de referencia que comprenden la parte más baja de la cruz (proceso espinoso de las séptimas y octava vértebras dorsales) y el esternón en el plano directamente detrás del codo (17); todas estas medidas se tomaron sobre una superficie plana, para garantizar que el animal se encontrara bien aplomado. Para la

obtención del peso vivo real se utilizó una báscula ganadera True-Test® con barra de cargas HD5T con capacidad de 5000 kg e indicador de pesaje S3 fabricada en Suiza.

Los datos fueron almacenados y organizados en una hoja de cálculo de formato Excel, que posteriormente fue leída y analizado utilizando la librería readxl en el software R (18), con el cual se obtuvo el resumen estadístico para cada variable, incluyendo promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos y coeficiente de variación, este último se clasificó en muy bajo (<5%), bajo (5% - 15%), moderado (16% - 25%) y alto (>25%) (19). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables analizadas considerando que el coeficiente de correlación puede ser positivos o negativos, con valores entre +1 y -1 y se clasifican por su valor en muy bajo (0.00 – 0.30), bajo (0.30 – 0.50), medio (0.50 – 0.70), alto (0.70 -0.90) y muy alto (0.90 – 1.00) (20).

Se construyeron dos modelos de regresión múltiple para analizar el peso vivo real de los caballos como variable dependiente en función de las variables independientes (AC, DL, DD, DBC y PT), uno completo con todas las variables y otro reducido a través de un proceso de reducción de variables mediante el método stepwise backward. Se revisó los coeficientes de regresión a través del valor de probabilidad (P) y el factor de inflación de la varianza (VIF) que es una medida de la

gravedad de la multicolinealidad en un modelo de regresión lineal múltiple; si no hubiera colinealidad entre las variables, entonces el coeficiente de determinación (R²) sería igual a cero y el VIF igual a uno; sin embargo, normalmente, siempre existe un cierto grado de colinealidad entre unas pocas variables independientes; a medida que aumenta la relación lineal entre variables, el R² aumenta gradualmente, lo que resulta en un aumento gradual del VIF. Es decir, cuanto mayor es el VIF, más grave es la multicolinealidad existente entre variables (21).

Para la evaluación de los modelos se consideraron verificar los siguientes supuestos: normalidad de los residuos con la prueba de Shapiro-Wilk, la independencia de los errores o verificación de autocorrelación con la prueba de Durbin-Watson y la homocedasticidad del modelo de regresión mediante la prueba de Breusch-Pagan. Se compararon los modelos a través del coeficiente de determinación ajustado (r² aj) y el criterio de información de Akaike (AIC). El modelo ajustado fue comparado con ecuaciones

de predicción propuestas por Mora y WingChing-Jones (14); García et al. (22); McKiernan (23); León (24); Cumming (25), Carroll y Huntington (26) se calcularon y compararon diferentes métricas de error para evaluar el desempeño de cada una de las ecuaciones a través del error medio absoluto (MAE), error cuadrático medio (MSE), raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), r² y r² aj.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan los estadísticos descriptivos de las variables zoométricas medidas en este estudio. Se observa que la variabilidad de las mediciones zoométricas y el peso osciló entre 2,53% y 8,57 %, siendo la más alta la correspondiente al peso vivo real del animal, con un promedio de 487,64 ± 41,80 kg. Las variaciones más bajas se registraron en las variables DL, AC y PT, con valores de 2,53%, 2,66% y 3,59 %, respectivamente, consideradas de muy baja variación, y promedios de 162,30 ± 4,10 cm, 160,25 ± 4,26 cm y 162,30 ± 4,10 cm en el mismo orden.

Tabla 1. Estadística descriptiva para medidas zoométricas de caballos pura sangre de carrera en el Ecuador (n=53).

Variable	DE	Min	Max	CV (%)
Peso, Kg	41.80	396,00	604.00	8.57
AC, cm	4.26	152,00	169.00	2.66
DL, cm	4.10	155,00	170.00	2.53
DD, cm	4.91	57,00	75.00	7.63
DBC, cm	3.06	39,00	51.00	7.07
PT, cm	6.54	173,00	198.00	3.59

DE: desviación estándar; Min: mínimo; Max: máximo; CV: coeficiente de variación; AC: alzada a la cruz; DL: diámetro longitudinal; DD: diámetro dorso-esternal; DBC: diámetro bicostal; PT: perímetro torácico.

Para los coeficientes de correlación lineal de Pearson Tabla 2, se observa una asociación positiva y débil, pero no significativa. Sin embargo, el peso

mostró una correlación moderada y significativa con el DD ($r = 0,5289$, $P < 0,0001$) y fuerte y significativa con el PT ($r = 0,8451$, $P < 0,0001$).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas.

Variable	PESO	AC	DL	DD	DBC	PT
PESO	1	0.944	0.5669	<0.0001	0.0593	<0.0001
AC	0.0099	1	<0.0001	0.5287	0.6792	0.2430
DL	-0.0804	0.8893	1	0.6315	0.1756	0.1055
DD	0.5289	-0.0885	-0.0674	1	0.1044	<0.0001
DBC	0.2607	-0.0581	-0.1889	0.2255	1	0.0096
PT	0.8451	-0.1632	-0.2249	0.5992	0.3529	1

Triángulo inferior están coeficientes de correlación lineal de Pearson. En la diagonal la correlación de una variable con ella misma y Triángulo superior probabilidades: AC: alzada a la cruz; DL: diámetro longitudinal; DD: diámetro dorso-esternal; DBC: diámetro bicostal; PT: perímetro torácico.

La AC presentó una correlación fuerte y significativa con el DL ($r = 0,8893$, $P < 0,0001$), lo cual es consistente con la expectativa de que estas medidas reflejan la longitud del cuerpo del caballo. Sin embargo, la AC mostró correlaciones débiles y no significativas con DD, DBC y PT. El DL mostró correlaciones débiles y no significativas con DD, DBC y PT. Por otro lado, el DD presentó una correlación moderada y significativa con el PT ($r = 0,5992$, $P < 0,0001$) y el DBC mostró una correlación débil pero significativa con el PT ($r = 0,3529$, $P = 0,0096$).

En los resultados del análisis de regresión lineal múltiple en la Tabla 3, se observa que el modelo completo para el peso en función de

los predictores AC, DL, DD, DBC y PT tiene un coeficiente de determinación ajustado (r^2 aj) de 0,7114; las variables AC y DL presentaron alta colinealidad con valores de inflación (VIF) de 3,82 y 3,74 respectivamente, mientras que las demás variables presentaron colinealidad moderada y solo PT fue estadísticamente significativa. Por lo tanto, la ecuación reducida con el método stepwise backward, ahora denominada propia fue $\text{Peso} = -764,58 + 1,49 \cdot \text{AC} + 5,56 \cdot \text{PT}$, presentó un AIC de 329,94, valor que es menor en comparación con el modelo completo (335,44) y similar en r^2 aj alcanzando el valor 0,7262 y VIF de 1,03.

Tabla 3. Análisis de regresión múltiple.

Modelo	Variables	Coefficientes	Error estándar	t	p-valor	VIF	r ²	r ² aj	AIC
Completo	Intercepto	-746.40	163.01	-4.58	<0.0001		0.7392	0.7114	335.44
	AC	1.68	1.43	1.17	0.2467	3.82			
	DL	-0.24	1.50	-0.16	0.8767	3.74			
	DD	0.29	0.79	0.37	0.7144	1.56			
	DBC	-0.57	1.10	-0.52	0.6079	1.16			
	PT	5.54	0.63	8.81	<0.0001	1.74			
Reducido (Propia)	Intercepto	-764.58	154.69	-4.94	<0.0001		0.7367	0.7262	329.94
	AC	1.49	0.72	2.06	0.0442	1.03			
	PT	5.56	0.47	11.83	<0.0001	1.03			

t: valor de prueba de t de Student; p-valor: valor de probabilidad; VIF: factor de inflación de la varianza; r²: Coeficiente de determinación; r² aj: coeficiente de determinación ajustado; AIC: criterio de información de Akaike; AC: alzada a la cruz; DL: diámetro longitudinal; DD: diámetro dorso-esternal; DBC: diámetro bicostal; PT: perímetro torácico.

Tabla 4. Validación de modelos.

Autor	Ecuación	MAE	MSE	RMSE	r ²	r ² ajustado
Propia	1.49*AC+5.56*PT-764.58	17.06	451.47	21.25	0.7366	0.7260
García et al. (22)	((PT ²)*DL)/11689	26.76	1008.20	31.75	0.4117	0.3882
Cumming (25)	((PT ²)*DL)/11880	32.57	1398.15	37.39	0.1842	0.1516
McKiernan (23)	((PT ²)*DL)/11000	18.67	562.54	23.72	0.6718	0.6586
León (24)	4.3*PT+3*AC-785	20.18	635.90	25.22	0.6290	0.6141
Carroll y Huntington (26)	((PT ²)*DL)/11400	20.27	622.01	24.94	0.6371	0.6226
Marcenac y Aublet (27)	((PT/100) ³)*80	22.53	811.40	28.49	0.5266	0.5173

MAE: error absoluto medio; MSE: error cuadrático medio; RMSE: raíz del error cuadrático medio; R²: coeficiente de determinación; R² aj: coeficiente de determinación ajustado; AC: alzada a la cruz; DL: diámetro longitudinal; PT: perímetro torácico.

El modelo propio fue comparado con varias ecuaciones de la literatura para evaluar su precisión y robustez. Sin embargo, la ecuación propia resultó con los valores más bajos en el MAE, MSE, RMSE y los valores más altos en el r² y r² aj, seguido por los modelos propuestos por García et al. (22); McKiernan (23); León (24); Carroll y Huntington (26) como se observa en la Tabla 4.

Discusión

La variabilidad observada en las medidas morfométricas, con CV entre 2.53% y 8.57% Tabla 1, están en línea con la clasificación que considera estos valores como muy bajos a bajos (19). Esto sugiere que las medidas utilizadas son consistentes y precisas, lo cual es crucial para la validez de los modelos predictivos. Estudios similares han

reportado coeficientes de variación comparables, lo que refuerza la fiabilidad de los procedimientos de medición aplicados; la AC, DL y PT presentaron las variaciones más bajas, resultados que coinciden con estudios realizados por otros autores (27-30).

Los hallazgos de este estudio revelan patrones interesantes en las relaciones entre las medidas morfométricas de los caballos pura sangre. Sin embargo, las correlaciones reportadas por Solano-Mora y WingChing-Jones (14) son muy fuertes entre todas las variables medidas en caballos iberoamericanos en Costa Rica, contrario a lo que se encontró en este estudio, esta discrepancia podría deberse al formato fenotípico más homogéneo utilizado en el caballo iberoamericano costarricense. La fuerte correlación entre el peso y el perímetro torácico es consistente ya que, en muchas razas, e incluso en muchas especies de animales domésticos el perímetro torácico es comúnmente utilizado para estimar el peso por su alta correlación entre estas dos variables (9), lo que confirma que el perímetro torácico es un predictor confiable del peso aproximado como ocurrió en este estudio.

Los resultados del análisis de regresión múltiple destacan la importancia del PT en la ecuación Tabla 2 como un predictor del peso en caballos pura sangre y se observó que también está presente esta variable en las ecuaciones utilizadas para validar el modelo. Además, la inclusión de la alzada a la cruz en la ecuación propia

sugiere que, aunque no fue significativa en el modelo completo, su relación con el peso se hace evidente cuando se controla la multicolinealidad. La colinealidad aumenta la estimación del error estándar de los coeficientes de regresión, lo que provoca intervalos de confianza más amplios y aumenta la posibilidad de rechazar la estadística de prueba significativa, lo que conduce a estimaciones imprecisas de los coeficientes de regresión (31).

La eliminación de DL, DD y DBC del modelo ajustado Tabla 3 sugiere que estas medidas no aportan información adicional significativa sobre el peso cuando se consideran junto con AC y PT. Sin embargo, el DL es utilizado en ecuaciones propuestas en la Tabla 4 no consideraron la AC dentro de sus modelos a excepción de León (24), cuyo modelo fue similar al desarrollado en este estudio. Además, el DD y DBC son medidas que están más relacionadas con otros aspectos de la morfología o el rendimiento del caballo, especialmente en los índices morfométricos junto a la AC y PT como son el índice torácico y el índice de profundidad relativa del pecho (28, 30, 31).

El modelo reducido propuesto muestra un rendimiento superior en comparación con otros modelos analizados en este estudio; los modelos desarrollados por Solano-Mora y WingChing-Jones (14) y Cumming (25) presentaron los peores ajustes, con valores de r^2 y r^2_{aj} muy bajos e incluso negativo en el r^2_{aj} , lo que sugiere que

estos modelos no son adecuados para estimar el peso aproximado en la raza de caballos estudiada. El modelo de McKiernan (23) Carroll y Huntington (26) y León (24) mostraron un desempeño razonablemente bueno, aunque inferior al modelo propuesto. Sin embargo, la simplicidad y la precisión de la ecuación propia lo hacen más atractivo para aplicaciones prácticas en la raza analizada.

CONCLUSIONES

La identificación del perímetro torácico (PT) y la alzada a la cruz (AC) como variables predictoras clave del peso corporal en purasangres de carreras confirma su relevancia morfológica en la estimación de masa, aunque su colinealidad sugiere una interdependencia estructural que podría simplificar modelos futuros al priorizar indicadores complementarios. Este hallazgo resalta la necesidad de equilibrar precisión y practicidad en ecuaciones zoométricas, especialmente en razas con conformaciones anatómicas especializadas, donde factores como la proporción torácica y la altura inciden directamente en la distribución de masa muscular y grasa.

La ecuación desarrollada, al integrar medidas accesibles y de bajo costo operativo, ofrece una solución técnicamente viable para criaderos ecuatorianos, donde la falta de herramientas especializadas limita el manejo basado en evidencia. Su superioridad frente a modelos genéricos

subraya la importancia de adaptar metodologías a contextos raciales y geográficos específicos, no solo para optimizar decisiones en nutrición o salud, sino también para sentar bases metodológicas que impulsen investigaciones zootécnicas regionales, reduciendo la dependencia de estándares internacionales poco representativos.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses por la publicación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Górnica W, Wieliczko M, Soroko M, Korczyński M. Evaluation of the accuracy of horse body weight estimation methods. *Animals*. 2020;10(10):1750. <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/10/1750>
2. Catalano D, Coleman R, Hathaway M, Neu A, Wagner E, Tayler P, et al. Estimation of actual and ideal bodyweight using morphometric measurements of miniature, saddle-type, and thoroughbred horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2019; 78:117-122. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.008>
3. Martinson K, Coleman R, Rendahl A, Fang Z, McCue M. Estimation of body weight and development of a body weight score for adult equids using morphometric measurements. *J. Anim. Sci.* 2014; 92(5):2230-2238. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6689>
4. Salazar-Cuytun E, Pool-Llanes G, Portillo-Salgado R, Antonio-Molina G, García-Herrera R, Camacho-Pérez E, et al. Evaluation of models to estimate empty body weight in hair sheep raised in a feedlot system. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2022; 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4213>
5. Carter R, Geor R, Staniar W, Cubitt T, Harris P. Apparent adiposity assessed by standardised scoring systems and morphometric measurements

- in horses and ponies. *Vet. J.* 2009; 179:204–210. <https://doi/10.1016/j.tvjl.2008.02.029>
6. Ellis J, Hollands T. Accuracy of different methods of estimating the weight of horses. *Vet Rec.* 1998; 143(12):335-336. <https://doi.org/10.1136/vr.143.12.335>
7. Wagner E, Tyler P. A comparison of weight estimation methods in adult horses. *Journal of Equine Veterinary Sciences.* 2011; 31:706-710. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.05.002>
8. Martínez V, Mazucheli J, Picada I. El riesgo en la utilización de la cinta métrica torácica como método de pesaje bovino. *Análisis estadístico. Rev Inv Vet Perú.* 2020; 30(1):54-60. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15669>
9. Boujenane I, Halhaly S. Estimation of Body Weight from Heart Girth in Sardi and Timahdite Sheep Using Different Models. *Iranian Journal of Applied Animal Science.* 2015; 5(3):639-646. <https://www.researchgate.net/publication/281858925>
10. Pimentel M, Câmara F, Dantas R, Freitas B, Dias R, De Souza M. Biometria de equinos de vaquejada no Rio Grande do Norte, Brasil. *Acta Veterinaria Brasilica.* 2011; 5(4):376-379. <https://periodicos.ufersa.edu.br/acta/article/view/2322/5027>
11. Ortiz R. Zoometría. *Revista caballo español.* 2007; (180):24-27. https://issuu.com/anceasociacion/docs/revista180_web_esp/26
12. León-Rodas L, Burguete-Bernal A, García-Herrera R, Chay-Canul A, Díaz-Echeverría V, Casanova-Lugo F, et al. Evaluación de ecuaciones para predecir el peso vivo en caballos usados en “charrería”. En Herrera, J. y Chay, A.J. Casanova, F. Piñeiro, A.T. Márquez, L. Santillán, E. y Arce, J. *Avances de la investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México.* Michoacán: Editorial Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo; 2018. p. 1057-1061. https://www.researchgate.net/publication/325807244_Avances_de_la_investigacion_sobre_produccion_animal_y_seguridad_alimentaria_en_Mexico
13. Schneider A, Hommel G, Blettner M. Linear regression analysis. *Dtsch Arztebl Int.* 2010; 107(44):776-782. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0776>
14. Solano-Mora G, WingChing-Jones R. Validación y desarrollo de ecuaciones predictoras de peso para caballos. *Agronomía Mesoamericana.* 2019; 30(2):471. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33849>
15. Peña F, Gómez M, Bartolomé E, Valera M. Valoración morfológica équidos. Madrid: © Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; 2009. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/LIBRO%20valoracion%20morfologica%20SEZ_tcm30-119157.pdf
16. Čoudková V, Sachello V, Štěrbová H, Kleinová A, Papoušková Z, Maršálek M, et al. Bodyweight Estimation From Linear Measures of Growing Warmblood Horses by a Formula. *Journal of Equine Veterinary Science.* 2016; 36:63-68. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.09.010>
17. Larrea C, Oñate F, Paredes M. Estudio Zoométrico de Caballos Criollos Parameros Ecuatorianos en la Provincia de Chimborazo, Ecuador. *Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias.* 2018;28(4):258-259. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/45354/art1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; 2024. <https://www.R-project.org/>
19. Schwarzwald C, Schober K, Bonagura J. Methods and Reliability of Tissue Doppler Imaging for Assessment of Left Ventricular Radial Wall Motion in Horses. *Journal of Veterinary Internal Medicine.* 2009; 23:643-652. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2009.0287.x>
20. Mukaka M. A Guide to Appropriate Use of Correlation Coefficient in Medical Research. *Malawi Medical Journal.* 2012; 24:69-71. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2015.77047>
21. Cheng J, Sun J, Yao K, Cao Y. A variable selection method based on mutual information and variance inflation factor. *Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 2022; 268. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120652>

- 22.** García N, Pérez A, Perrone G. Estimación Del Peso Corporal Del Caballo Criollo. REDVET. 2009; 10(9):2-7. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617144003.pdf>
- 23.** McKiernan B. Estimating a horse's weight. Primefacts. 2007; 494:1-3. https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/109988/estimating-a-horses-weight.pdf
- 24.** León P. Manejo y cuidado del caballo. Servicio de Formación Agraria e Iniciativas Junta de Castilla y León; 2007. https://bibliotecadigital.jcyl.es/%20es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=10121913
- 25.** Cumming B. Estimating a horse's condition and weight. Primefacts. 2009; 928:1-12. https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/299402/Estimating-a-horses-condition-and-weight.pdf
- 26.** Carroll C, Huntington P. Body condition scoring and weight estimation of horses. Equine Vet J. 1988; 20(1):41-53. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3366105/>
- 27.** Marcenac L, Aublet H. Encyclopedia of the horse. Maloine, Paris, France; 1964. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19652202839>
- 28.** Larrea-Izurieta C, Hurtado E. Preliminary Results on the Zoometric Characterization and Dimorphism of Creole Horses in Two Cantons of Manabí. ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M. 2023;3(1):882–901. <https://doi.org/10.18502/epoch.v3i1.14493>
- 29.** Freitag G, De Lima G, Jacomini J, Kozicki L, Ribeiro L. An accurate image analysis method for estimating body measurements in horses. Journal of Equine Veterinary Science. 2021;101. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103418>
- 30.** Salamanca C, Parés-Casanova P, Crosby R, Monroy N. Análisis biométrico del caballo Criollo Araucano. Archivo de Zootecnia. 2017; 66(253):108. <https://doi.org/10.21071/az.v66i253.2132>
- 31.** Yoo W, Mayberry R, Bae S, Singh K, He Q, Lillard J. A study of effects of multicollinearity in multivariate analysis. Int J Appl Sci Technol. 2014; 4(5):9-19. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4318006>