

Aplicación de técnicas fotogramétricas para el estudio morfométrico en caballos criollos colombianos



David Fernando Salazar-Vidal¹, Juan Pablo Vélez-Ruiz¹,
Héctor Gabriel Zapata-Herrera², Alejandro Rendón-Vásquez¹,

ARTÍCULO DE
INVESTIGACIÓN

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

²Departamento de Salud Animal, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

juanpamk@gmail.com

(Recibido: noviembre 4, 2011; aprobado: febrero 16, 2012)

RESUMEN: Para el estudio de la conformación morfológica del equino se han utilizado técnicas de medición externas conocidas como “técnicas zoométricas”, que son procesos dispendiosos que dificultan la obtención inmediata de resultados. Actualmente, existen otras técnicas, como la fotogrametría, la cual se ha empleado con éxito en otros países, pero en el ámbito nacional su uso es desconocido y por lo tanto, no empleado en medicina veterinaria. En el presente trabajo, se utilizó un programa fotogramétrico para el estudio morfométrico del equino a través de una metodología modificada. Los resultados obtenidos con esta técnica se compararon con mediciones zoométricas y así se determinó el grado de variación entre estas. Para llevar a cabo el estudio se emplearon cinco caballos de ambos sexos, ubicados en la finca Las Palmas, vereda La Florida, municipio de Villamaría, Caldas. A cada individuo le fueron colocados una serie de rótulos con el fin de referenciar regiones anatómicas de interés en miembro torácico y pelviano; a continuación cada animal fue ubicado en un terreno previamente preparado donde le fueron tomadas tres fotografías en plano lateral, posteriormente fueron procesadas con el software Photomodeler Scanner 6.2. Los resultados obtenidos con el software no presentaron diferencias significativas en relación con las medidas *in vivo* obtenidas mediante técnicas zoométricas, teniendo como resultado un margen de error promedio de 0,24%, demostrando el grado de precisión al momento de la obtención de medidas longitudinales en plano lateral en equinos. Con base en los estudios realizados aplicando técnicas fotogramétricas, ésta se recomienda como una herramienta informática eficiente, precisa y confiable para el estudio morfométrico del equino.

Palabras clave: equino, morfología, photomodeler, zoometría

Photogrammetric techniques application for the morphometric study in native Colombian horses

ABSTRACT: To study the morphological conformation of horses, external measurement techniques known as “zoometric techniques” have been used, which are laborious processes that make it difficult to obtain immediate results. Currently, there are other techniques such as photogrammetry, which has been used successfully in other countries, but its use in this country is unknown and therefore not used in veterinary medicine. In this study, we used a photogrammetric program for the morphometric study of horses through a modified methodology. The results obtained with this technique were compared with zoometric measurements and so the degree of variation between them was determined. To carry out the study, five horses of both sexes, located in the farm Las Palmas, La Florida district, Municipality of Villamaría, Caldas, were used. A series of labels with reference to anatomical regions of interest were placed in the forelimb and hind limb of each individual, and then each animal was placed in a previously prepared ground where three lateral plane photographs were taken which were then processed with Photomodeler Scanner 6.2 software. The results obtained with the software did not show significant differences in relation to the *in vivo* measurements obtained through zoometric techniques, resulting in an average margin of error of 0.24%, thus demonstrating the degree of accuracy when obtaining longitudinal measures from the horses’ lateral plane. Based on studies applying photogrammetric techniques, this is recommended as an efficient, accurate and reliable software tool for the morphometric study of horses.

Key words: horses, photogrammetry, morphometry, zoometry

Introducción

Los estudios morfométricos en el equino han sido un indicador de desempeño y salud ortopédica desde el año 360 a.C. (Weller *et al.*, 2006) y han sido una fuente constante de publicaciones en esta área durante las últimas décadas (Holmström, 2001). Los estudios morfométricos en animales están comprendidos en una ciencia denominada zoometría; la zoometría, estudia las regiones exteriores de los animales útiles al hombre (Aparicio, 1956), a través de medidas que se realizan sobre ellos, las cuales proporcionan un buen método de estudio de su morfología y de su caracterización zootécnica y económica.

Estas medidas son obtenidas comúnmente haciendo contacto con el animal (Barr, 1994) y utilizando herramientas como la cinta métrica, el goniómetro y/o el bastón zoométrico; y hacen de la toma de medidas un proceso dispendioso y demorado (Holmström, 2001).

En años recientes dicho proceso ha venido siendo remplazado por mediciones a través de radiografías (Eksell *et al.*, 1998), fotografías (Kronacher & Ogrizek, 1932; Magnusson & Thafvelin, 1985) o clips de video (Hunt *et al.*, 1999). Los estudios más recientes se han enfocado más en el uso de fotografías digitales como recurso para obtener las medidas en los animales (Dressel, 2002). Este proceso de obtención de medidas a través del análisis de imágenes y diseño de estructuras tridimensionales se le conoce como fotogrametría (Waite *et al.*, 2007).

La fotogrametría aplicada al estudio morfométrico del equino permite llevar al animal a un plano virtual por medio de un número determinado de fotografías, que manipuladas por un programa computacional permiten obtener todos los datos de interés de manera práctica y eficiente. En los últimos años, se han publicado estudios donde se corrobora que las técnicas fotogramétricas proporcionan datos exactos y precisos en comparación con el objeto o realidad que se analiza (Magnusson & Thafvelin, 1985; Hunt *et al.*, 1999).

Estas técnicas aplicadas al estudio morfométrico del equino han presentado notables avances y ventajas, en cuanto reducen el nivel de estrés por manejo de los animales y vuelven ágiles y eficientes los procesos de estudio con dichos animales. Sin embargo, las técnicas fotogramétricas han presentado problemas de precisión, principalmente por errores en la metodología utilizada para la obtención de las imágenes (Anderson & Mcwraith, 2004), donde la ubicación de los marcadores y la postura del caballo son las fuentes principales de error (Weller *et al.*, 2006). Frente a esto cada investigador debe diseñar y aplicar una metodología que reduzca al máximo los errores antes mencionados, y así poder replicar un mayor número de ensayos que permitan ratificar a la fotogrametría como un método confiable para la realización de estudios morfométricos y de conformación en el equino (Belloy & Bathe, 1996).

Se ha establecido que las técnicas fotogramétricas tienen un gran potencial en el estudio morfológico de los animales domésticos (De la Peña *et al.*, 2006). En este trabajo se pretende determinar el grado de variación existente entre las medidas zoométricas tomadas mediante procedimientos y herramientas tradicionales y las técnicas fotogramétricas tomadas en equinos, aplicando una metodología adaptada a los requerimientos de la técnica aplicada exitosamente para el estudio morfométrico del equino.

Materiales y Métodos

Prueba piloto

Se realizaron una serie de pruebas piloto. Dichos ensayos preliminares incluyeron pruebas de calibración de la cámara, preparación de terreno con diferentes materiales, ubicación de puntos anatómicos, equipos para medición *in vivo*, obtención de imágenes y procesamiento de imágenes en el software. Se realizó una prueba para comprobar la precisión del Photomodeler en la realización de medidas. Se utilizaron cuatro tablas de longitud conocida (90, 50, 25 y

12,5 centímetros) las cuales se fotografiaron y procesaron según la metodología propuesta.

Materiales

1. Cámara fotográfica LUMIX FZ28 de 10,1 megapíxeles efectivos.
2. Trípode marca Vivitar de altitud graduable.
3. Rótulos autoadhesivos de 1,5 cm de diámetro de color blanco para los caballos de pelaje oscuro, y negro para los de pelaje claro.
4. Regla de 100 cm (1 m) de longitud.
5. Como herramientas zoométricas se utilizaron un hipómetro marca HOHE y la cinta métrica según lo descrito y recomendado por Negretti & Bianconi (2004), Lage *et al.* (2009).
6. El software Photomodeler Scanner 6.2 de la empresa EOS Systems, con el cual se procesaron las imágenes dentro de un periodo de licencia temporal de demostración.

Unidades experimentales

Para llevar a cabo el estudio se emplearon cinco caballos de ambos sexos (tres machos y dos hembras), ubicados en la finca Las Palmas, vereda La Florida, municipio de Villamaría, Caldas; con edades de cinco, diez y doce años para los machos y cinco y siete años para las hembras, verificados según registro, clínicamente sanos, con boca hecha hasta nivelación de pinzas del maxilar inferior en actividad productiva y reproductiva.

Ubicación de puntos anatómicos

La demarcación de los puntos anatómicos de referencia se realizó con rótulos autoadhesivos de 1,5 cm de diámetro perforados en el centro. La medición se realizó con hipómetro y cinta métrica, de acuerdo a lo descrito por Negretti & Bianconi (2004), Lage *et al.* (2009). Para el miembro torácico, las regiones anatómicas que se delimitaron y midieron fueron: alzada a la cruz, espalda, brazo, antebrazo, caña, cuartilla y casco; y para miembro pelviano: longitud del tronco, cadera, muslo, pierna, caña, cuartilla y casco.

Calibración de la cámara

Antes del trabajo en campo con los animales, se realizó un ajuste técnico entre la cámara y el software. Este ajuste, denominado “calibración” consistió en hacer cierto número de tomas con la cámara en diferentes posiciones sobre un “formato de calibración”, que luego fueron procesadas con el Photomodeler Scanner 6.2 en la opción “proyecto de calibración”.

Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en trazar un semicírculo con un radio de tres metros para la ubicación del objeto y de las estaciones de la cámara, con marcaciones del terreno.

Obtención y procesamiento de imágenes

Una vez en campo, lo primero fue posicionar el animal en el centro de un semicírculo de tres metros de radio. Se posicionó una regla de 100 cm (1 m) de largo en el mismo plano del animal, ubicada delante del miembro anterior, como medida de referencia. Con la cámara fotográfica previamente calibrada y activada en modo automático sin flash, se obtuvieron un total de tres tomas por individuo, necesarias para la creación del modelo tridimensional (3D) preciso. La primera fotografía fue tomada en una posición perpendicular al eje longitudinal del animal donde la región epigástrica del mismo coincidiera con el de la fotografía; la siguiente toma se obtuvo desde adelante del caballo, a partir de una posición ubicada a un ángulo de 45°, que se calcula entre el eje longitudinal del caballo y la línea perpendicular imaginaria de la primera fotografía. La tercera fotografía se tomó igual que la segunda, pero desde la parte posterior del animal.

Finalmente, se llevó a cabo el procesamiento de las imágenes digitales (fotografías) en el software Photomodeler Scanner versión 6.2, con el fin de determinar los aspectos morfométricos que se consideraron relevantes dentro del estudio y establecer su correlación con las medidas zoométricas de los animales evaluados.

El procesamiento de las imágenes y su análisis con Photomodeler, siguió tres pasos básicos:

1. Ingreso de las fotos al programa señalando todos los puntos que fueron referenciados en el animal con los rótulos autoadhesivos. Este paso se hizo en cada una de las fotografías.
2. Referenciar y procesar los puntos para que el programa cree el modelo tridimensional de las regiones de interés.
3. Medición de todas las regiones mencionadas tomando la medida referencia (Regla de un metro). Las medidas que se tomaron a través de esta aplicación computacional fueron de plano lateral y de carácter longitudinal, es decir, no se tuvieron en cuenta medidas como: diámetro, perímetro o cálculos de peso y volumen. Las mediciones se realizaron a las mismas regiones anatómicas, usadas en las mediciones directas.

Los resultados se analizaron y se compararon con las medidas tomadas con el hipómetro y la cinta métrica. Finalmente se determinó su grado de error utilizando la ecuación propuesta por Waite *et al.* (2007): $\%Error = [1 - (\text{Valor foto} / \text{Valor Físico})] \times 100$.

Resultados y Discusión

Metodología recomendada para el estudio morfométrico del equino mediante fotogrametría

Preparación del terreno. El terreno debe ser plano e iluminado, se prepara trazando un semicírculo de tres metros de radio en el cual deben marcarse tres puntos para la ubicación de la cámara. Un punto lateral al centro del semicírculo y los otros dos a un ángulo de 45° de dicho punto central, tal como lo ilustra (Figura 1).

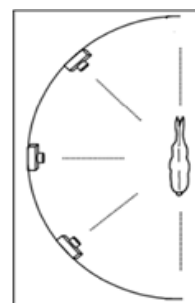


Figura 1. Preparación del terreno.

Ubicación de puntos anatómicos. Se deben utilizar etiquetas circulares autoadhesivas de 1,5 cm de diámetro perforadas en el centro, serán de color blanco para los animales de pelaje oscuro, y negro para aquellos de pelaje claro. El estudio morfométrico de los miembros del equino y sus respectivas regiones, requiere que estas sean delimitadas siguiendo parámetros anatómicos como los que se ilustran (Figura 2).

Ubicación del animal. El caballo debe permanecer inmóvil en el eje central del semicírculo. La región lateral del animal previamente demarcada debe dirigirse hacia las estaciones de la cámara y el punto central del semicírculo debe coincidir con la región umbilical del equino como se ilustra también (Figura 1).

Toma de fotografías. Por cada animal se deben obtener un mínimo de tres fotografías, correspondientes a cada una de las estaciones marcadas en el terreno (Figura 3). El único requisito es que el animal debe permanecer completamente inmóvil hasta completar las tres tomas; de lo contrario se debe repetir el proceso hasta cumplir esta exigencia.

Procesamiento. Las tres fotografías de cada animal se deberán procesar en el software Photomodeler 6.2. Se introducirán en la opción “proyecto de puntos” y se realizará un proceso de marcación de puntos (Etapa I), creación de modelo tridimensional (Etapa II) y medición de longitudes (Etapa III) (Figuras 4, 5 y 6).



Figura 2. Ubicación de puntos.



Figura 3. Toma de fotografías.



Figura 4. Procesamiento de imágenes. Etapa I.

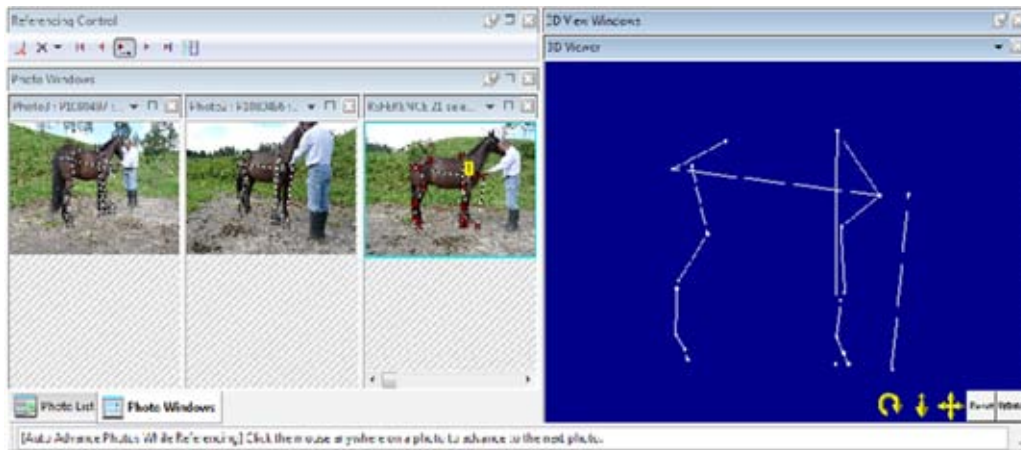


Figura 5. Procesamiento de imágenes. Etapa II.

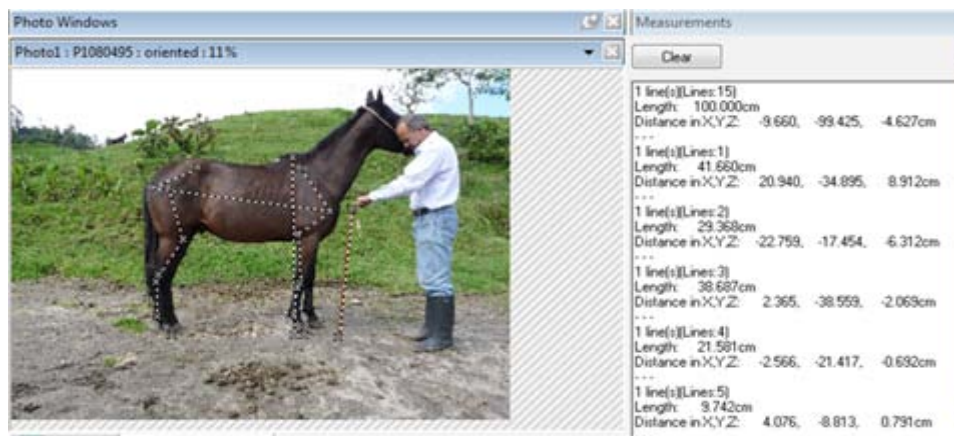


Figura 6. Procesamiento de imágenes. Etapa III.

Correlación entre medidas zoométricas y fotogramétricas

Las Tablas 1 y 2 muestran un resumen de las medidas zoométricas del miembro torácico y pelviano de cada uno de los animales. Las

medidas se encuentran dadas en centímetros y corresponden a: longitud de espalda, brazo, antebrazo, cadera, muslo, pierna, alzada a la cruz, longitud de tronco, caña, cuartilla y casco de cada miembro.

Tabla 1. Medidas morfométricas (cm) de miembro torácico.

Región/Equino	1	2	3	4	5
Alzada	143,0	141,5	137,0	143,0	142,5
Espalda	41,5	34,5	37,9	37,0	41,5
Brazo	30,1	26,7	28,0	26,0	25,0
Antebrazo	39,0	37,2	37,0	40,5	34,0
Caña	21,5	20,5	19,5	21,0	23,5
Cuartilla	10,0	11,0	10,5	10,0	13,5
Casco	7,5	8,5	7,5	8,5	7,0

(cm = centímetros)

Tabla 2. Medidas morfométricas (cm) de miembro pelviano.

Región/ Equino	1	2	3	4	5
Long Tronco	134,0	132,0	140,0	140,0	139,0
Cadera	40,0	38,5	36,5	38,0	39,0
Muslo	41,5	36,0	40,5	42,0	39,0
Pierna	33,0	39,0	31,5	30,0	39,2
Caña	28,0	29,0	26,0	25,0	27,3
Cuartilla	10,0	11,0	10,2	10,5	15,0
Casco	8,5	7,5	8,0	9,0	8,0

Las Tablas 3 y 4 muestran las medidas en centímetros de las mismas regiones anatómicas, pero esta vez, obtenidas por fotogrametría. A simple vista se puede observar que hay una amplia

similitud entre las medidas obtenidas por ambas técnicas; sin embargo, hay una diferencia y un porcentaje de error como se verá más adelante.

Tabla 3. Medidas fotogramétricas (cm) de miembro torácico.

Región/ Equino	1	2	3	4	5
Alzada	142,5	142,2	138,8	142,1	143,0
Espalda	41,6	34,1	38,6	36,1	41,4
Brazo	29,3	26,4	29,3	25,3	25,0
Antebrazo	38,6	37,3	37,7	41,6	34,0
Caña	21,5	20,9	20,0	21,3	23,8
Cuartilla	9,7	11,6	10,6	10,4	13,9
Casco	7,2	8,6	7,7	9,3	7,0

Tabla 4. Medidas fotogramétricas (cm) de miembro pelviano.

Región/ Equino	1	2	3	4	5
Long Tronco	132,2	131,4	142,5	138,0	135,2
Cadera	40,0	38,5	35,5	37,2	41,0
Muslo	41,6	35,5	41,2	41,7	38,6
Pierna	33,0	40,5	32,1	28,8	39,5
Caña	27,9	28,0	26,2	24,3	26,7
Cuartilla	10,1	11,3	9,9	10,3	14,2
Casco	8,0	7,9	7,8	8,6	8,2

Los resultados de cada animal fueron consolidados en tablas individuales donde se tuvo en cuenta la medida zoométrica tomada mediante técnicas tradicionales y la obtenida por método fotogramétrico de cada región, y se calculó la diferencia entre las medidas (en centímetros) y el porcentaje de error según la siguiente fórmula propuesta por Waite *et al.* (2007):

$$\%Error = [1 - (\text{Valor foto} / \text{Valor Físico})] \times 100$$

Para el primer ejemplar se obtuvo una diferencia promedio entre medidas de 0,4 cm con un error máximo de 1,8 cm y mínimo de 0 cm. El promedio en cuanto al porcentaje de error para este animal fue de 1,44%. Las medidas de mayor diferencia fueron las de longitud de tronco y brazo; y en proporción las medidas de mayor error fueron las de casco para miembro torácico y pelviano. La Tabla 5 ilustra detalladamente los resultados para este animal.

Tabla 5. Correlación de medidas zoométricas y fotogramétricas para el equino No. 1.

Equino No. 1	Valor Físico	Valor Foto	Dif (cm)	% Error
Alzada	143,0	142,5	0,5	0,35
Espalda	41,5	41,6	0,1	0,24
Brazo	30,1	29,3	0,8	2,66
Antebrazo	39,0	38,6	0,4	1,03
Caña (MT)	21,5	21,5	0,0	0,00
Cuartilla (MT)	10,0	9,7	0,3	3,00
Casco (MT)	7,5	7,2	0,3	4,00
Long Tronco	134,0	132,2	1,8	1,34
Cadera	40,0	40,0	0,0	0,00
Muslo	41,5	41,6	0,1	0,24
Pierna	33,0	33,0	0,0	0,00
Caña (MP)	28,0	27,9	0,1	0,36
Cuartilla (MP)	10,0	10,1	0,1	1,00
Casco (MP)	8,5	8,0	0,5	5,88
Promedio	NA	NA	0,4	1,44

(MT= Miembro Torácico, MP= Miembro pelviano, %= Porcentaje)

El equino número dos, mostró resultados similares al primer ejemplar, la diferencia promedio entre medidas fue de 0,5 cm con un máximo de 1,5 cm y mínimo de 0 cm. El porcentaje promedio de error fue del 2%. Las medidas de mayor

diferencia fueron las de pierna y caña; y en proporción las medidas de mayor error fueron las de cuartilla para el miembro torácico y casco para el pelviano. La Tabla 6 ilustra detalladamente los resultados para el equino número 2.

Tabla 6. Correlación de medidas zoométricas y fotogramétricas para el equino No. 2

Equino No. 2	Valor Físico	Valor Foto	Diferencia (cm)	% Error
Alzada	141,5	142,2	0,7	0,49
Espalda	34,5	34,1	0,4	1,16
Brazo	26,7	26,4	0,3	1,12
Antebrazo	37,2	37,3	0,1	0,27
Caña (MT)	20,5	20,9	0,4	1,95
Cuartilla (MT)	11,0	11,6	0,6	5,45
Casco (MT)	8,5	8,6	0,1	1,18
Long Tronco	132,0	131,4	0,6	0,45
Cadera	38,5	38,5	0,0	0,00
Muslo	36,0	35,5	0,5	1,39
Pierna	39,0	40,5	1,5	3,85
Caña (MP)	29,0	28,0	1,0	3,45
Cuartilla (MP)	11,0	11,3	0,3	2,73
Casco (MP)	7,5	7,9	0,4	5,33
Promedio	NA	NA	0,5	2,06

(NA= No aplica)

Los resultados del tercer animal se exponen en la Tabla 7; la cual muestra una elevación en la diferencia promedio entre medidas zoométricas y fotogramétricas a 0,8 cm; esto debido a una

alta variación en las medidas de la alzada y la longitud de tronco. El porcentaje promedio de error fue del 2,16%.

Tabla 7. Correlación de medidas zoométricas y fotogramétricas para el equino No. 3.

Equino No. 3	Valor Físico	Valor Foto	Diferencia (cm)	% Error
Alzada	137,0	138,8	1,8	1,31
Espalda	37,9	38,6	0,7	1,85
Brazo	28,0	29,3	1,3	4,64
Antebrazo	37,0	37,7	0,7	1,89
Caña (MT)	19,5	20,0	0,5	2,56
Cuartilla (MT)	10,5	10,6	0,1	0,95
Casco (MT)	7,5	7,7	0,2	2,67
Long Tronco	140,0	142,5	2,5	1,79
Cadera	36,5	35,5	1,0	2,74
Muslo	40,5	41,2	0,7	1,73
Pierna	31,5	32,1	0,6	1,90
Caña (MP)	26,0	26,2	0,2	0,77
Cuartilla (MP)	10,2	9,9	0,3	2,94
Casco (MP)	8,0	7,8	0,2	2,50
Promedio	NA	NA	0,8	2,16

En el equino número 4, la diferencia promedio entre medidas fue de 0,8 cm con un máximo de 2 cm y mínimo de 0,2 cm. El porcentaje promedio de error fue del 2,9%. Las medidas de mayor diferencia fueron las de antebrazo y longitud

de tronco; y en proporción la medida de mayor error fue la de casco para el miembro torácico. La Tabla 8 ilustra detalladamente los resultados para el equino número 4.

Tabla 8. Correlación de medidas zoométricas y fotogramétricas para el equino No. 4.

Equino No. 4	Valor Físico	Valor Foto	Diferencia (cm)	% Error
Alzada	143,0	142,1	0,9	0,63
Espalda	37,0	36,1	0,9	2,43
Brazo	26,0	25,3	0,7	2,69
Antebrazo	40,5	41,6	1,1	2,72
Caña (MT)	21,0	21,3	0,3	1,43
Cuartilla (MT)	10,0	10,4	0,4	4,00
Casco (MT)	8,5	9,3	0,8	9,41
Long Tronco	140,0	138,0	2,0	1,43
Cadera	38,0	37,2	0,8	2,11
Muslo	42,0	41,7	0,3	0,71
Pierna	30,0	28,8	1,2	4,00
Caña (MP)	25,0	24,3	0,7	2,80
Cuartilla (MP)	10,5	10,3	0,2	1,90
Casco (MP)	9,0	8,6	0,4	4,44
Promedio	NA	NA	0,8	2,9

La Tabla 9 ilustra los resultados para el quinto ejemplar, se resalta una diferencia promedio entre

medidas zoométricas y fotogramétricas de 0,7 cm; el porcentaje promedio de error fue del 1,75%.

Tabla 9. Correlación de medidas zoométricas y fotogramétricas para el equino No. 5.

Equino No. 5	Valor Físico	Valor Foto	Diferencia (cm)	% Error
Alzada	142,5	143,0	0,5	0,35
Espalda	41,5	41,4	0,1	0,24
Brazo	25,0	25,0	0,0	0,00
Antebrazo	34,0	34,0	0,0	0,00
Caña (MT)	23,5	23,8	0,3	1,28
Cuartilla (MT)	13,5	13,9	0,4	2,96
Casco (MT)	7,0	7,0	0,0	0,00
Long Tronco	139,0	135,2	3,8	2,73
Cadera	39,0	41,0	2,0	5,13
Muslo	39,0	38,6	0,4	1,03
Pierna	39,2	39,5	0,3	0,77
Caña (MP)	27,3	26,7	0,6	2,20
Cuartilla (MP)	15,0	14,2	0,8	5,33
Casco (MP)	8,0	8,2	0,2	2,50
Promedio	NA	NA	0,7	1,75

La Tabla 10 resume los resultados expuestos en los párrafos anteriores. Finalmente, luego de la confrontación de los datos, se obtuvo un porcentaje de error promedio para cada una de las regiones anatómicas estudiadas (Tabla 11); de allí, se puede resaltar que la mayor variación

o margen de error está en las medidas de casco, tanto para miembro torácico como para el pelviano, debido probablemente a que son las dos medidas más pequeñas y por ende las más difíciles de calcular.

Tabla 10. Consolidado de resultados sobre diferencia de medidas y porcentaje de error.

Parámetro/Equino	1	2	3	4	5
Diferencia máxima (cm)	1,8	1,5	2,5	2	3,8
Diferencia mínima (cm)	0	0	0,1	0,2	0
Promedio diferencia (cm)	0,4	0,5	0,8	0,8	0,7
% Error máximo	5,88	5,45	4,64	9,41	5,33
% Error mínimo	0	0	0,77	0,63	0
Promedio % error	1,44	2,06	2,16	2,9	1,75

Tabla 11. Promedio de error (%) por regiones.

Región	Promedio
Alzada	0,63
Espalda	1,18
Brazo	2,22
Antebrazo	1,18
Caña (MT)	1,44
Cuartilla (MT)	3,27
Casco (MT)	3,45
Long Tronco	2,09
Cadera	1,99
Muslo	1,02
Pierna	2,14
Caña (MP)	1,92
Cuartilla (MP)	2,78
Casco (MP)	4,13

Inicialmente la preparación del terreno se hizo trazando un semicírculo de tres metros de radio con ayuda de cuatro cintas de lona blanca, cuyos extremos señalarían las estaciones o posiciones de la cámara. Sin embargo, el color y reflectividad de este material con el sol causó reacciones de inquietud y miedo en la mayoría de los caballos;

por lo tanto, en lugar de las cintas de lona se decidió trazar el semicírculo con ayuda de tiza o con marcas en la tierra (De la Peña, 2006) y así disminuir la inquietud de los animales.

Como era esperado, se presentaron inconvenientes en la utilización de las herramientas de medición

tradicional (Hipómetro y Cinta métrica) (Weller *et al.*, 2006). El hipómetro resultó ser una herramienta pesada y difícil de maniobrar, más aún cuando debía sostenerse para obtener medidas precisas; lo cual obligó a que hubiese que disponer de dos personas para su correcto manejo y utilización. Lo anterior ratificó que el uso de este instrumento hace del estudio morfológico de animales domésticos como el equino, un proceso dispendioso, y poco repetible. Por otro lado, el inconveniente con la cinta métrica fue su flexibilidad, la cual generó un aumento en el margen de error de algunas medidas. De esta manera, el error humano implícito en el uso de esta herramienta reflejó imprecisiones que condujeron a un alto número de repeticiones, que complicó el desarrollo de las actividades.

Otro de los inconvenientes para resaltar, es que la manipulación con estos instrumentos resultó inquietante y estresante para los equinos, causando complicaciones y demoras en el proceso, además de un mayor riesgo para los investigadores de sufrir lesiones dadas las reacciones violentas que presentaron algunos de estos animales.

La ubicación del animal y su postura durante las mediciones y durante la obtención de las fotografías fue uno de los factores que más influyó en la variación de las medidas y en el porcentaje de error tal como lo indicaron Waite *et al.* (2007).

A diferencia de De la Peña *et al.* (2006), quienes recomendaron la utilización de ocho fotografías por individuo para la creación de un modelo tridimensional completo, nosotros trabajamos con un total de tres imágenes por animal; esto se hizo porque en este trabajo fue suficiente crear un modelo 3D en un sólo lado del animal para obtener medidas con un nivel de precisión aceptable.

La diferencia entre las medidas zoométricas y las fotogramétricas están sujetas al amplio rango de error humano implícito en la utilización de un instrumento que es difícil de manipular, y que sufre problemas que hacen que deba ser calibrado nuevamente entre una utilización y la siguiente;

además, el uso de estas herramientas siempre es diferente según el sujeto que las manipule, por ende la cantidad de medidas diferentes que se pueden obtener de una misma región es muy superior a las que emite un programa fotogramétrico que trabaja bajo un sistema computacional de alta precisión; así lo demostró la prueba piloto que se realizó, en la cual, con el Photomodeler se calculó la longitud de un grupo de reglas de medidas conocidas; obteniendo un porcentaje de error promedio de 0,24%. De lo anterior, podemos afirmar que la variación entre medidas zoométricas tomadas mediante métodos tradicionales y las innovadoras técnicas fotogramétricas, y por ende la elevación del porcentaje de error, es consecuencia del error humano durante la obtención de las medidas con la técnica tradicional, tal como lo afirman De la Peña *et al.* (2006), Weller *et al.* (2006).

El porcentaje de error mostró ser independiente entre regiones, sin embargo, fue proporcional al tamaño de la medida (Waite *et al.*, 2007), es decir si la medida de referencia para el cálculo fotogramétrico fue un bastón de 100 cm, cuanto más se alejó una medida de esta referencia y cuanto más diferencia hubo entre una medida zoométrica y fotogramétrica de una región, mayor fue este porcentaje de error.

Conclusiones

Las técnicas zoométricas tradicionales están sujetas a un alto nivel de error debido a la dificultad en el manejo de las herramientas sobre los animales muestreados. En la actualidad, las técnicas morfométricas tradicionales son mecanismos de estudio morfológico que podrían ser reemplazadas por las técnicas fotogramétricas puesto que se ha demostrado que el grado de precisión y un menor estrés del animal conllevan a incrementar el grado de confiabilidad de las medidas obtenidas. En este trabajo fue suficiente crear un modelo tridimensional utilizando planos perpendiculares al eje longitudinal del animal para obtener medidas con un nivel de precisión aceptable. No hubo una diferencia significativa

entre las medidas zoométricas tomadas con herramientas tradicionales y las obtenidas mediante métodos fotogramétricos, por lo cual se concluye que la fotogrametría es una herramienta confiable para el estudio morfométrico del equino. La fotogrametría es una herramienta informática eficiente, precisa y confiable para el estudio morfométrico del equino.

Agradecimientos

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, su paciencia y colaboración en nuestro proceso de formación personal y profesional.

Referencias Bibliográficas

- Anderson, T.M.; Mellwraith, C.W. Longitudinal development of equine conformation from weanling to age 3 years in the Thoroughbred. **Equine veterinary journal**, v.36, n.7, p.563-570, 2004.
- Aparicio, G. **Exterior de los grandes animales domésticos**. 1.ed. Córdoba, Argentina: Editorial Moderna, 1956. 343p.
- Barr, A.R. Carpal conformation in relation to carpal chip fracture. **The Veterinary Record**, v.134, n.25, p.646-650, 1994.
- Belloy, E.; Bathe, A.P. The importance of standardising the evaluation of conformation in the horse. **Equine veterinary journal**, v.28, n.5, p.429-430, 1996.
- De la Peña, A.; Pérez, L.M.; González-Alique, F.; Arana, P. Utilización de técnicas fotogramétricas para el estudio de la morfología del caballo. **Archivos de zootecnia**, v.55, n.211, p.309-312, 2006.
- Dressel, C. **Die objektive messung der gliedmassenstellung beim pferd mittels photogrammetrie: Evaluation einer neuen methode**. Zürich, Alemania: Universidad de Zurich, 2002. 110p. Tesis (PhD, University of Zürich).
- Eksell, P.; Axelsson, M.; Broström, H. et al. Prevalence and risk factors of bone spavin in Icelandic horses in Sweden: a radiographic field study. **Acta veterinaria Scandinavia**, v.39, n.3, p.339-348, 1998.
- Holmström, M. **The effects of conformation**. In: Equine Locomotion. 1.ed. Philadelphia, USA: Editorial Clayton, 2001. 295p.
- Hunt, W.F.; Thomas, V.G.; Stiefel, W. Analysis of video-recorded images to determine linear and angular dimensions in the growing horse. **Equine veterinary journal**, v.31, n.5, p.402-410, 1999.
- Kronacher, O.; Ogrizek, A. Exterieur und Leistungsfähigkeit des Pferdes unter besonderer Berücksichtigung der Gliedmaßen winkelung und Schrittlängen verhältnisse. **Journal of animal breeding and genetics**, v.23, n.1, p.138-228, 1932.
- Lage, M.; Bergmann, J.A.G.; Procópio, A.M. et al. Asociación entre medidas lineales y angulares de equinos da raza Mangalarga Marchador. **Archivo brasileiro de Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v.61, n.4, 2009.
- Magnusson, L.E.; Thafvelin, B. Studies on the Conformation and Related Traits of Standardbred Trotters in Sweden. **Journal of animal breeding and genetics**, v.107, n.6, p.136-148, 1985.
- Negretti, P.; Bianconi, G. Morphological survey through computerized image analysis. In: VII Conferencia mundial de criadores de raza Bruna, 2004, Viterbo. **Memorias...** Universidad de Viterbo, Italia; 2004, p.7.
- Waite, J.; Schrader, W.; Mellish, J. et al. Three-dimensional photogrammetry as a tool for estimating morphometrics and body mass of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.4, n.2, p.296-303, 2007.
- Weller, R.; Pfau, T.; Babbage, D. et al. Reliability of conformational measurements in the horse using a three-dimensional motion analysis system. **Equine Veterinary Journal**, v.38, n.7, p.610-615, 2006.