



Facultad de Veterinaria
Universidad de la República
Uruguay



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LOS MIEMBROS DEL CABALLO

Richard Möller

Tesis de Maestría

Director: Prof. Dr. Daniel Perea

PEDECIBA – Biología

Sub – area Zoología

2017

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE TESIS

PhD. Lic. Martín Ubilla (Presidente)

Facultad de Ciencias. Universidad de la República, Uruguay.

PhD. Lic. Walter Norbis (Vocal)

Facultad de Ciencias. Universidad de la República, Uruguay.

PhD. Lic. Sergio Martínez (Vocal)

Facultad de Ciencias. Universidad de la República, Uruguay.

...

*Por un clavo se perdió una herradura,
por una herradura se perdió un caballo,
por un caballo se perdió una batalla,
por una batalla se perdió un reino.*

...“mi reino por un caballo!!”.

Rey Ricardo III, batalla de Bosworth, 22 de agosto de 1495

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi tutor Prof. Dr. Daniel Perea porque durante estos años mantuvo su fe en mí para culminar este trabajo. Siempre me hizo sentir valorado en el esfuerzo y libre a la vez para tomar el camino que fuera de mi preferencia.

A los miembros del tribunal por sus críticas constructivas y por sus invaluable aportes.

Al Prof. Dr. Elbio Pereyra por ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance para que mi formación vinculada a los caballos sea la mejor posible y por confiar siempre en mis emprendimientos.

A los estudiantes, cuidadores y jinetes que colaboraron con la toma de datos y prestaron sus animales.

A Emi y a mi esposa Leticia; a quienes mi dedicación al trabajo les resta muchas horas de atención.

Finalmente, a los caballos que me despiertan desde siempre la pasión por conocer cada día un poco más de ellos....

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE GRÁFICAS.....	11
RESUMEN.....	12
SUMMARY.....	13
1.- INTRODUCCIÓN.....	15
1.1) Escápula.....	17
1.2) Húmero.....	19
1.3) Radio y Ulna.....	19
1.4) Carpo.....	21
1.5) Región del Metacarpo/Metatarso.....	22
1.6) Región digital.....	23
1.7) Coxal.....	26
1.8) Fémur.....	27
1.9) Tibia y fibula (peroné).....	28
1.10) Tarso.....	29
1.11) Sistemas de sostén pasivo del caballo.....	30
1.12) Selección de razas de caballos.....	33
1.13) Temas de interés sobre los miembros del caballo.....	33
2.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	35
3.- OBJETIVOS.....	35

3.1- Objetivos Generales.....	35
3.2- Objetivos Específicos.....	35
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
4.1 - Estrategias de investigación.....	36
4.2 - Análisis estadístico.....	42
5.- RESULTADOS.....	43
5.1 - Análisis descriptivo de las longitudes óseas en la población y por raza.....	43
5.2 - Análisis global de las relaciones entre las longitudes óseas.....	49
5.3 - Análisis de relaciones para la raza criolla.....	57
5.4 - Análisis de relaciones para la raza Cuarto de Milla.....	58
5.5 - Análisis de relaciones para la raza Pura Sangre.....	59
5.6 - Análisis discriminante de las razas en estudio.....	60
6.- DISCUSIÓN.....	62
6.1 – Sobre los antecedentes.....	62
6.2 – Sobre los puntos de medición y el margen de error.....	62
6.3 – Sobre las regiones corporales y su función.....	64
6.4 – Sobre la relación entre el largo de los huesos.....	65
6.5 – Sobre las diferencias entre las razas.....	66
7.- CONCLUSIONES.....	69
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS

- C: región glútea (hueso coxal)
- CII: hueso carpiano II
- CIII: hueso carpiano III
- CIV: hueso carpiano IV
- Ci: hueso carpiano intermedio
- Cr: hueso carpiano radial
- Cu: hueso carpiano ulnar
- DA: dedo del miembro torácico (anterior)
- DP: dedo del miembro pelviano (posterior)
- E: escápula
- F: fémur
- H; húmero
- L: largo del tronco
- MC: carpo + metacarpo
- MT: tarso + metatarso
- PSC: raza Pura Sangre de Carreras
- R: radio + ulna
- T: tibia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esqueleto del caballo doméstico; Fuente: Möller y Scavone (2007).....	16
Figura 2. Escápula izquierda, vista lateral. Scavone et al. (2002).....	18
Figura 3. Húmero radio y ulna izquierdos; Scavone et al. (2002).....	20
Figura 4. Extremo distal del antebrazo y huesos.....	21
Figura 5. Radiografía del carpo derecho. R. Möller.....	22
Figura 6. Metacarpo/metatarso. Scavone et al. (2002).....	23
Figura 7. Región digital, Scavone et al. (2002).....	24
Figura 8. Casco A) vista dorsal; B) vista solear. R. Möller.....	25
Figura 9. Coxal izquierdo, vista dorsal. Scavone et al. (2002).....	26
Figura 10. Fémur izquierdo, vista lateral Scavone et al. (2002).....	27
Figura 11. Fémur, rótula, tibia y fibula izq. Vista lateral. Scavone et al. (2002).....	28
Figura 12. Tibia, tarso, metatarso derecho. Vista medial. Scavone et al. (2002).....	29
Figura 13. Aparato de sostén pasivo, miembro torácico izquierdo.....	31
Figura 14. Esquema del aparato recíproco del miembro pelviano derecho. Scavone et al. (2002).....	32
Figura 15. Cinta métrica y planilla de datos. R. Möller.....	37
Figura 16. Medición de equino deportivo R. Möller.....	37
Figura 17. Maniobras. R. Möller.....	38
Figura 18. Manejo previo del caballo. R. Möller.....	38
Figura 19. Toma de datos en el miembro torácico (anterior). R. Möller.....	39
Figura 20. Toma de datos en el miembro pelviano (posterior). R. Möller.....	39
Figura 21. Imagen donde se indican los puntos de medición. R. Möller.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las variables objeto de estudio (longitudes en centímetros).....	43
Tabla 2. Comparación de la mediana entre las razas. Los símbolos “* ψ e ξ ” corresponden a los pares estudiados donde se encontró diferencia significativa a través del test de Mann-Whitney.....	47
Tabla 3. Resultados del análisis de relación no paramétrica de Spearman entre las variables objeto de estudio.....	49
Tabla 4. Análisis de la relación para la raza Criolla (n=147).....	57
Tabla 5. Análisis de la relación para la raza Cuarto de Milla (n=23).....	58
Tabla 6. Análisis de la relación para la raza Pura Sangre (n=15).....	59
Tabla 7. Matriz de confusión.....	61
Tabla 8. Aporte de las variables a los factores de clasificación por raza.....	61
Tabla 9. Animales que fueron clasificados en diferente raza.....	67
Tabla 10. Medidas de los caballos clasificados en diferente raza según la tabla 9.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Mediana por variable de la población (cm) y de cada raza.....	44
Gráfica 2. Representación de "cajas" para el total de la población (Criollo, Cuarto de Milla y Pura Sangre) por variable (cm).....	44
Gráfica 3. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza criolla.....	45
Gráfica 4. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza Cuarto de Milla....	45
Gráfica 5. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza Pura Sangre de Carrera.....	46
Gráfica 6. Distribución de las variables E y H, relación no significativa ($p = 0,058$).....	50
Gráfica 7. Distribución de las variables H y R, relación no significativa ($p = 0,231$)....	50
Gráfica 8. Distribución de las variables C y F, relación positiva ($p < 0,001$).....	51
Gráfica 9. Distribución de las variables F y T, relación <i>negativa</i> ($p = 0,001$).....	51
Gráfica 10. Distribución de las variables MT y C, relación positiva ($p = 0,009$).....	52
Gráfica 11. Distribución de las variables MT y F, relación positiva ($p = 0,005$).....	52
Gráfica 12. Distribución de las variables MT y T, relación positiva ($p < 0,001$).....	53
Gráfica 13. Distribución de las variables MT y DP, relación positiva ($p < 0,001$).....	53
Gráfica 14. Distribución de las variables MC y E, relación positiva ($p = 0,098$).....	54
Gráfica 15. Distribución de las variables MC y H, relación positiva ($p < 0,001$).....	54
Gráfica 16. Distribución de las variables MC y R, relación positiva ($p < 0,001$).....	55
Gráfica 17. Distribución de las variables MC y DA, relación positiva ($p = 0,004$).....	55
Gráfica 18. Distribución de las variables MC y MT, relación positiva ($p < 0,001$).....	56
Gráfica 19. Resultado del análisis discriminante (factor 1: horizontal y factor 2: vertical) donde se observan los grupos de razas y las variables que más contribuyen a su discriminación.....	60

RESUMEN

Los caballos (Familia Equidae) son Laurasiaterios Perisodáctilos adaptados a la huida como medio de defensa. En sus formas modernas el aparato locomotor se ha perfeccionado cada vez más para la velocidad, con una franca tendencia a la monodactilia logrando sistemas de sostén pasivos y mecanismos automáticos. El hombre ha seleccionado y perfeccionado el fenotipo de los caballos (*Equus ferus caballus*) diferenciando razas según la función de interés, logrando estándares raciales donde se uniformiza la morfología y el biotipo de cada una. Desde el punto de vista biomecánico, cada uno de los huesos del aparato locomotor representa regiones que forman palancas accionadas a través de los músculos que se insertan en los mismos. Por tal motivo resulta interesante conocer la proporcionalidad que existe entre los huesos de cada miembro y sobre ésta hipótesis se ha desarrollado el presente trabajo. En primera instancia se midió el largo de las diferentes partes del aparato locomotor a caballos adultos de diferentes razas. Luego se analizaron los datos y se buscó un modelo estadístico que permita determinar si existe relación entre la longitud de los huesos que componen los miembros. Se utilizaron 194 caballos adultos y en cada uno se tomaron diez mediciones entre determinados puntos óseos fácilmente palpables. Se analizó la relación del largo entre los huesos de las regiones que actúan en forma sincrónica en cada miembro. Los resultados indican que no existe relación de la escápula con el húmero ni del húmero con el radio. Se verificó relación positiva del metacarpo con todos los huesos del miembro torácico. Asimismo, existe relación positiva entre el coxal con el fémur y relación negativa entre el fémur con la tibia. El metatarso mostró relación positiva con todos los huesos del miembro pelviano. Al comparar las razas se observaron diferencias significativas en algunas regiones de los miembros entre los caballos criollos, cuarto de milla y pura sangre de carrera. Por tanto, la hipótesis de trabajo es aceptable en forma parcial al comprobarse estadísticamente que la relación de las longitudes entre todos los huesos que integran los miembros del caballo no se cumple para la escápula, húmero y radio. Se concluye que según el principio del actualismo se podría inferir en forma razonable la longitud de los huesos de un equino extinto a partir de un conjunto de huesos apendiculares con la excepción de la escápula, el húmero y el radio.

SUMMARY

Horses (the Equidae family) are Perissodactyla Laurasiatheria who have adapted to fleeing as a means of defence. In its modern form the musculoskeletal system has been continually perfected for speed, with a clear tendency towards monodactyl condition achieving passive support systems and automatic mechanisms. Man has selected and perfected the phenotype of horses (*Equus ferus caballus*), differentiating breeds according to the function of interest, achieving breed standards which provide certain features where the morphology and the biotype of each is made uniform. From the biomechanical point of view, each of the bones of the musculoskeletal system represents regions that form levers driven by the muscles that are inserted in them. Therefore, it is interesting to know the proportionality between the bones that make up the different parts of each limb. This research project was carried out under the assumption that there is a correlation in the length of the bones that make up the limbs of the horse. In the first instance, the length of the different parts of the musculoskeletal system of adult horses of different breeds was measured in order to obtain a database. The data was then analyzed and a statistical model was looked for which would determine whether there is a correlation between the lengths of the bones that make up the limbs in order to link the information to ancestral species under the principle of actualism. 194 adult horses were used and ten measurements between certain points of the limb bones were taken in each case. The relation between the lengths of the bones in regions that act synchronously in each limb was studied. It was observed that there is no relation between the humerus and scapula or between the humerus and the radial bone. There was a positive correlation between the metacarpus and all the bones of the thoracic limb. There is also a positive correlation between the coxal and femur and a negative correlation between the femur and the tibia. The metatarsal showed a positive correlation with the other bones of the hind limb. When compared, there were significant differences between breeds in some regions of the limbs among the native horses, Quarter Horses and thoroughbreds. Therefore, the working hypothesis is acceptable to partially verify statistically that the correlation of the lengths of all the bones that make up the horse's not true for the scapula, humerus and radio.

It is concluded that under the principle of actualism could reasonably infer the length of the bones of an extinct horse from a set of appendicular with the exception of the scapula, humerus and radius bones.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales los caballos (*Equus ferus caballus*) han despertado en el ser humano diversos tipos de sentimientos y tal vez ha sido, una de las primeras especies domesticadas y aprovechada para diversos usos. Abu Bekr Ibn Bedr Al Baytar; veterinario árabe escribió en el año 1333 sobre las proporciones corporales ideales del caballo (Hossaini-Hilali J, 2012). Características aplicables al caballo como animal de trabajo o de guerra.

Directa o indirectamente, hemos determinado desde su aparición en el planeta cuándo y dónde puede vivir el resto de la diversidad biológica. De esta manera, ninguna especie animal puede moverse libremente como hace miles y millones de años.

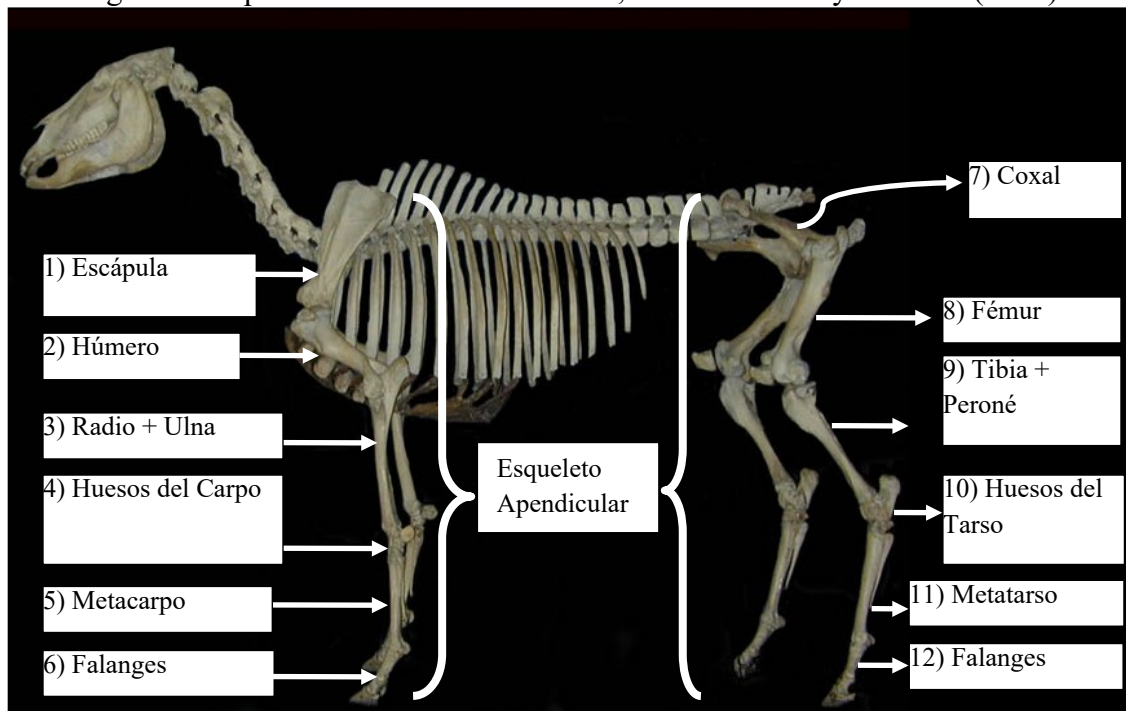
Los caballos (Familia Equidae) son laurasiaterios perisodáctilos adaptados a la huida como medio de defensa. Surgieron en el Paleógeno de Norteamérica y se dispersaron por casi todos los continentes excepto Australia y Antártida. Actualmente se les denomina *Equus ferus caballus* según la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica en la “Opinión 2027” (2003) que determina la excepción al principio de prioridad para la nomenclatura de las especies. De ésta forma se evita que especies ancestrales silvestres aparezcan posteriormente a sus descendientes. Solo existen representantes salvajes en África y Asia y hasta hace pocos miles de años vivieron de esta forma en América y Europa (Mac Fadden, 1999; Alberdi & Prado, 2004).

En sus formas modernas el aparato locomotor de los equinos se ha perfeccionado cada vez más para la velocidad, con una franca tendencia a la monodactilia, logrando sistemas de sostén pasivos y mecanismos automáticos tanto en los miembros torácicos (anteriores) como los pelvianos (posteriores) donde existe el conocido aparato recíproco que permite el movimiento simultáneo de sus articulaciones (Ruini, 1599; Bayon, 1935; Molenaar, 1983; van Weeren et al., 1990; Schaller, 1996; Barone, 1999; Getty et al., 2001; Schuurman et al., 2003).

El conjunto principal de huesos que forman su esqueleto se divide anatómicamente en el esqueleto axial y el esqueleto apendicular (Figura 1). El esqueleto axial está compuesto

por la cabeza, vértebras (cervicales, torácicas, lumbares, sacro, caudales), costillas y esternón y el esqueleto apendicular está compuesto por los huesos escápula, húmero, radio y ulna fusionados, huesos del carpo (radial, mediano, ulnar, accesorio, II, III y IV), huesos del metacarpo (II, III y IV) y las falanges (proximal, media y distal) en el miembro torácico (anterior). Para el miembro pelviano se describen el coxal, fémur, tibia, tarso compuesto por los huesos calcáneo, talus, central, huesos tarsianos I y II fusionados, III y IV, metatarso (II, III y IV) y las falanges: proximal, media y distal (Getty et al., 2001) (Figura 1).

Figura 1. Esqueleto del caballo doméstico; Fuente: Möller y Scavone (2007).

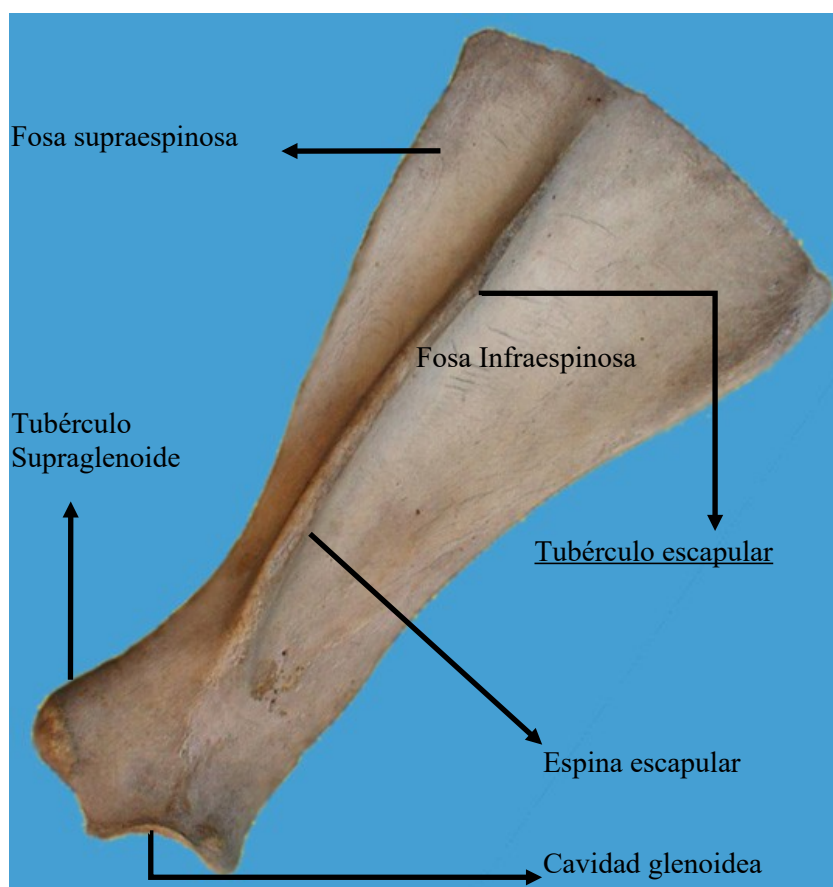


A continuación, se presentan las principales estructuras de los huesos de los miembros del caballo destacando aquellos que se utilizaron para realizar las mediciones en los animales vivos.

1.1) Escápula

Es un hueso plano en forma de triángulo cuyo vértice apunta en dirección cráneo-ventral y por tanto queda orientado en dirección oblicua disto-craneal. Presenta una cara lateral y una cara medial y los bordes: dorsal, craneal y caudal, así como tres ángulos (craneal, caudal y ventral). Su cara lateral está dividida por la espina escapular en dos fosas: la fosa supraespinosa ubicada a dorsal y en la fosa infraespinosa ubicada a ventral de la misma y de una superficie que es el doble de la anterior. En cada una de las fosas se originan los músculos supraespinoso e infraespinoso respectivamente y se insertan sobre el tubérculo mayor del húmero dando estabilidad a la articulación del hombro (escápulo-humeral). La espina escapular presenta un tubérculo que sobresale de su borde a nivel de la parte media. Este tubérculo es fácilmente palpable en el animal vivo y es el que usará como punto de referencia para realizar la toma de medidas en los animales vivos. (Fig. 2). En el caballo está ausente el acromion sobre el extremo distal de la espina escapular y que es también fácilmente palpable en otras especies como la vaca, ovejas y perros.

Figura 2. Escápula izquierda, vista lateral. Scavone et al. (2002).



La cara medial presenta la fosa subescapular en la parte central donde se inserta el músculo del mismo nombre y el área serrata dorsalmente donde se inserta el músculo serrato ventral. El borde dorsal de la escapula esta prolongado en los Ungulados por un cartílago escapular.

El extremo ventral presenta la cavidad glenoidea de superficie lisa que articula con la cabeza humeral. El tubérculo supraglenoide dónde se inserta el músculo bíceps braquial se ubica dorsal y cranealmente a ésta cavidad. Hacia medial se ubica el tubérculo coracoides que es el lugar de inserción del músculo coracobraquial.

1.2) Húmero

Es un hueso largo de forma sigmoide cuyo eje mayor se orienta en dirección disto-caudal respecto del esqueleto. Presenta una cabeza, los tubérculos mayor y menor y un surco intertubercular en el extremo proximal; en el extremo distal presenta una tróclea que está limitada cranealmente por la fosa radial y caudalmente por la fosa olecranoidea. La mayor parte de estas estructuras no son palpables en el animal vivo debido a la gran musculatura que lo rodea (Figura 3). Sin embargo, en el tercio proximal del cuerpo del hueso la tuberosidad deltoidea es fácilmente identificable en los animales vivos así el tubérculo mayor y el epicóndilo lateral que se utilizaron como puntos de referencia para realizar las mediciones.

1.3) Radio y Ulna

Estos huesos están fusionados completamente y articulan en conjunto con la tróclea del húmero. Son fácilmente palpables el olecranon en el extremo proximal y en el extremo distal son palpables el proceso estiloides del radio y el proceso estiloides de la ulna fusionada al radio (Figuras 3 y 4). Esta última es uno de los puntos palpables utilizados para la toma de datos.

Figura 3. Húmero radio y ulna izquierdos; Scavone et al. (2002).

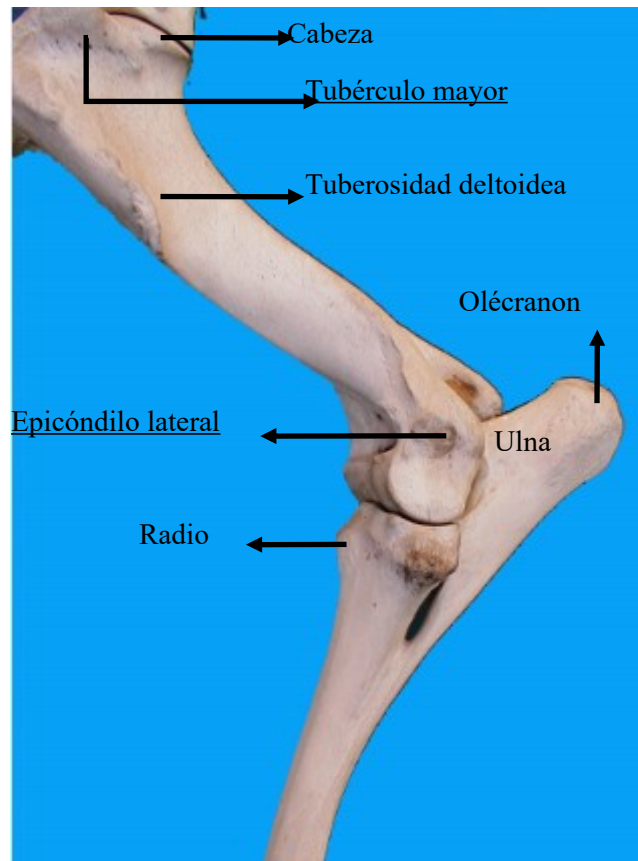
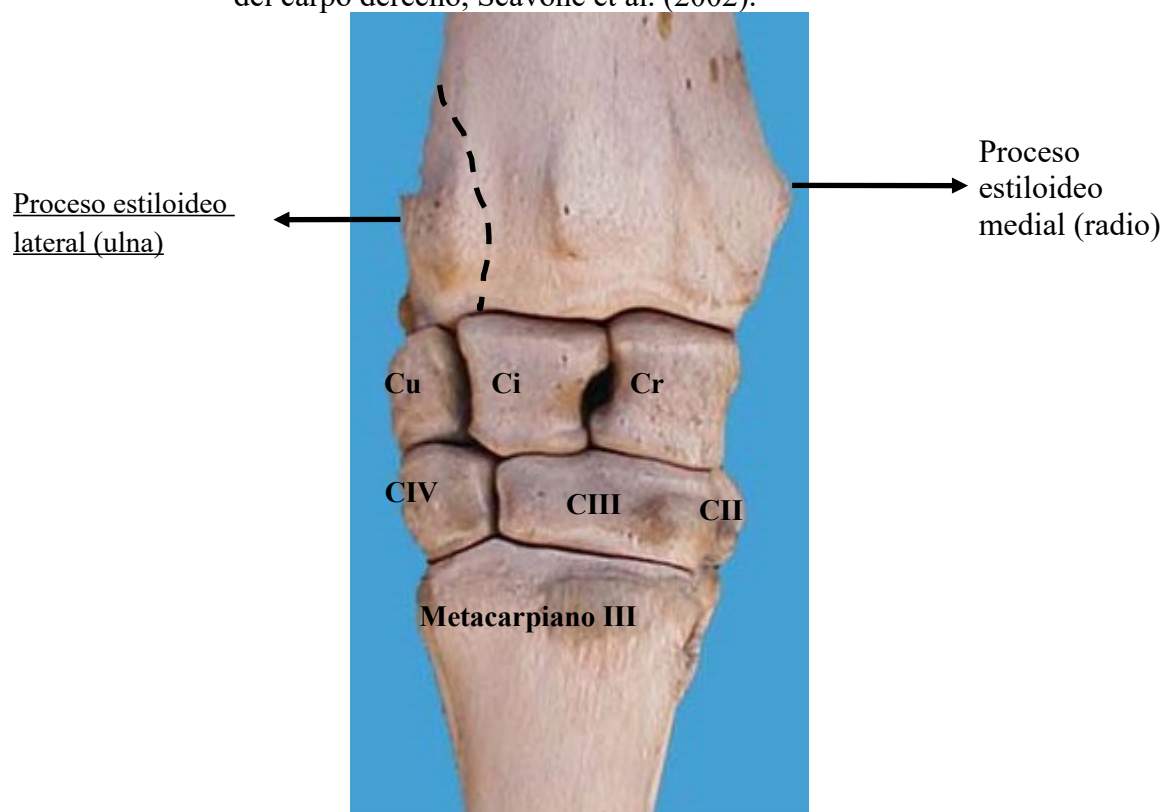


Figura 4. Extremo distal del antebrazo y huesos del carpo derecho, Scavone et al. (2002).

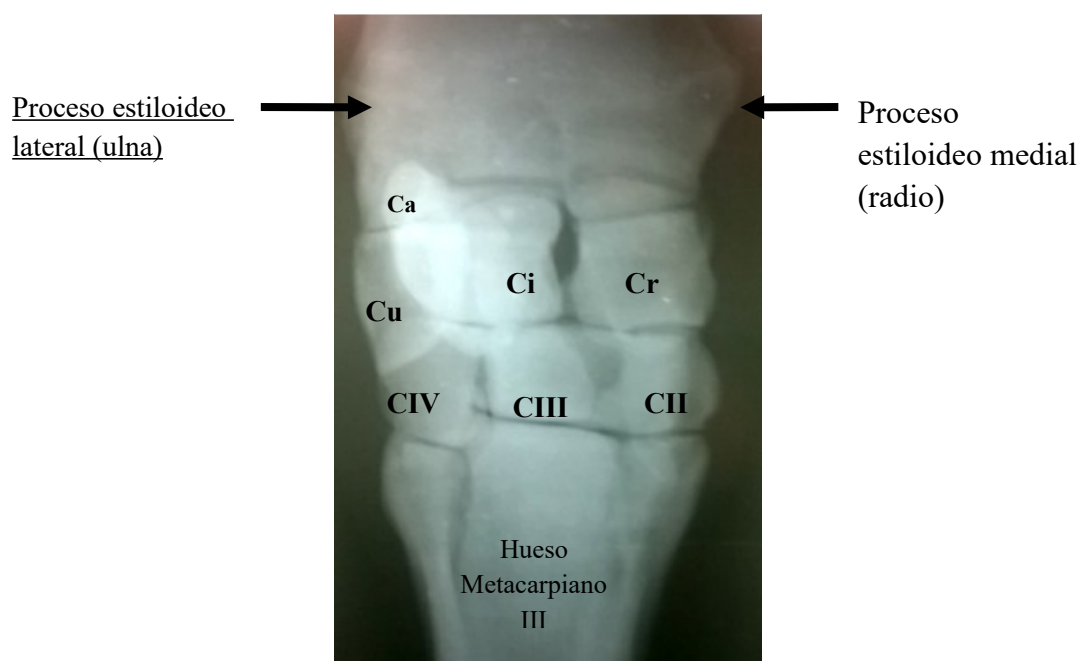


Leyendas: Cu, h. carpiano ulnar; Ci, h. carpiano intermedio; Cr, h. carpiano radial; CII, h. carpiano II; CIII, h. carpiano III; CIV, h. carpiano IV.

1.4) Carpo

Se disponen en dos filas de huesos. La fila proximal consta de los huesos carpianos radial, intermedio, ulnar y accesorio (que se orienta hacia caudal) nombrados desde el plano mediano hacia lateral. La fila distal consta de los huesos carpianos II, III y IV y muy raramente está presente el hueso carpiano número I (Figura 4 y 5).

Figura 5. Radiografía del carpo derecho. R. Möller.

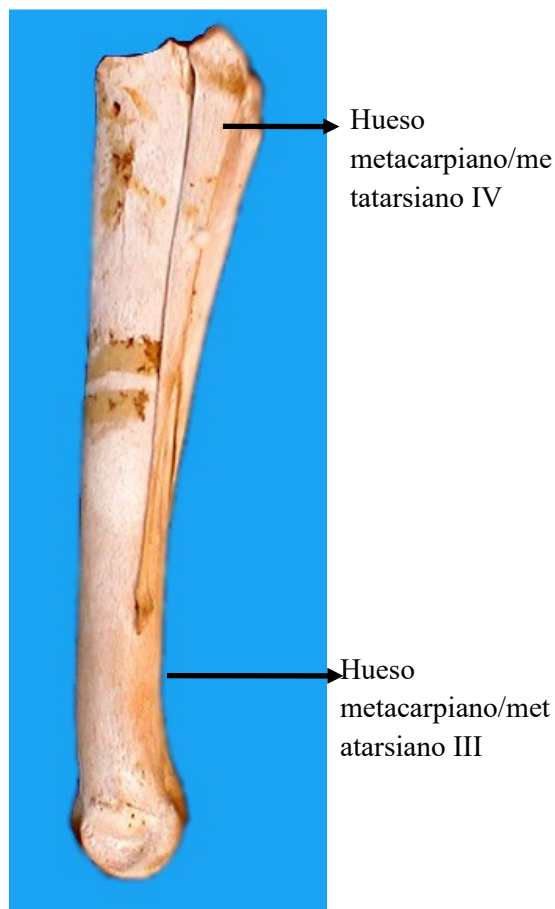


Leyendas: Ca, h. carpi accesorio; Cu, h. carpi ulnaris; Ci, h. carpi intermedio; Cr, h. carpi radial; CII, h. carpi II; CIII, h. carpi III; CIV, h. carpi IV.

1.5) Región del Metacarpo/Metatarso

En estas regiones son similares en el miembro torácico (anterior) y en el miembro pelviano (posterior). Por este motivo las describiremos juntas. En la misma se encuentra presente el hueso metacarpiano/metatarsiano III que es el principal; hacia medial está el hueso metacarpiano/metatarsiano II y hacia lateral el hueso metacarpiano/metatarsiano IV (Figura 6).

Figura 6. Metacarpo/metatarso.
Scavone et al. (2002).



1.6) Región digital

Esta región es similar en los cuatro miembros del caballo. Comprende desde la articulación que integra al metacarpo/metatarso con la falange proximal y dos huesos sesamoideos proximales; falange media, falange distal y el hueso sesamoideo distal. Los huesos sesamoideos son fácilmente palpables en el animal vivo y fueron uno de los puntos de referencia para las mediciones (Figura 7). Las estructuras que toman contacto con el suelo son el casco y su contenido, el cuál comienza en la corona que es la zona de transición entre la piel y la capa córnea. Externamente el casco se compone de la

muralla, la suela, los talones y la ranilla. La zona que une la muralla con la suela recibe el nombre de línea blanca (Figura 8 A, B).

Figura 7. Región digital,
Scavone et al. (2002)

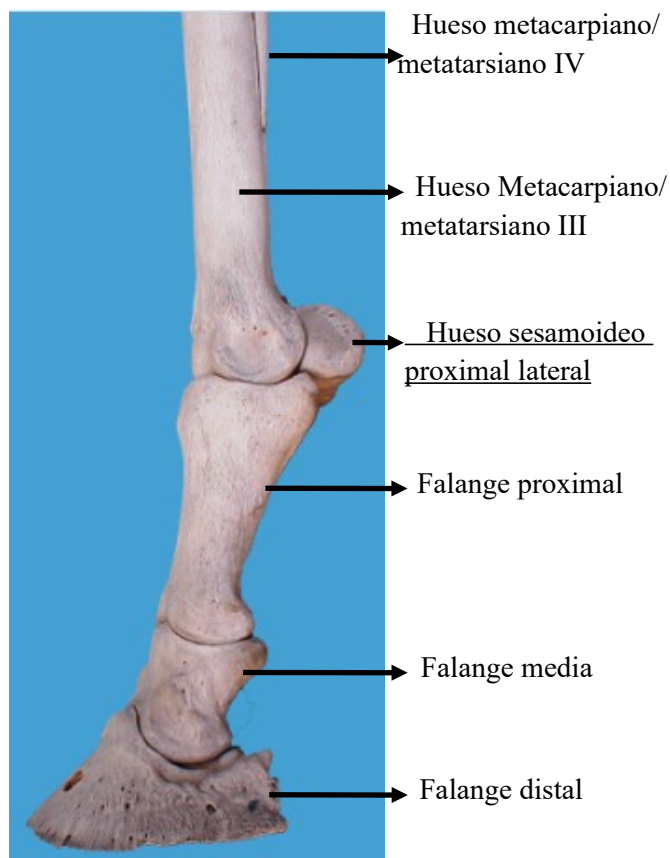
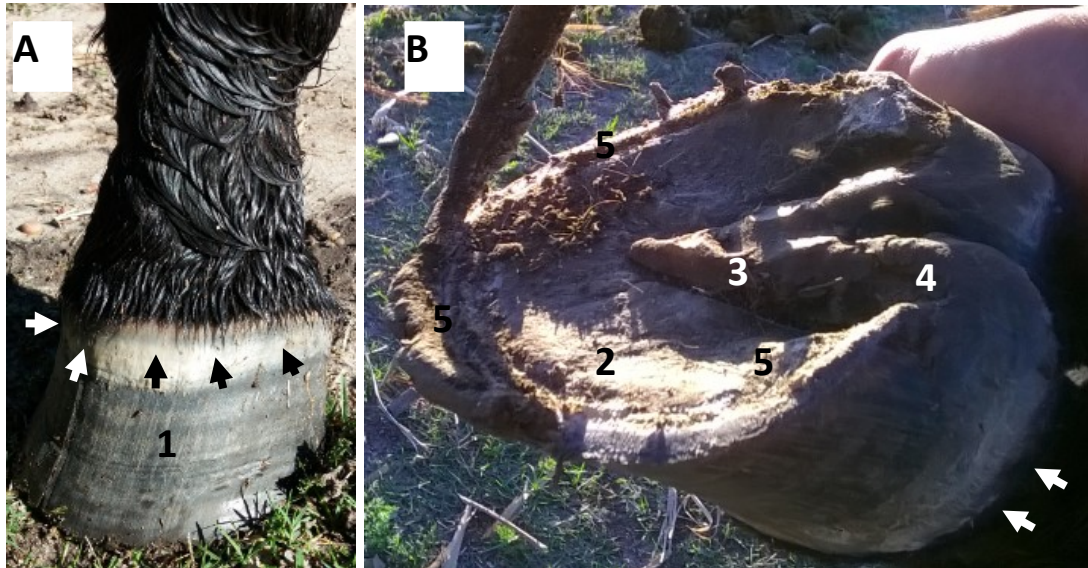


Figura 8. Casco A) vista dorsal; B) vista solear. R. Möller.

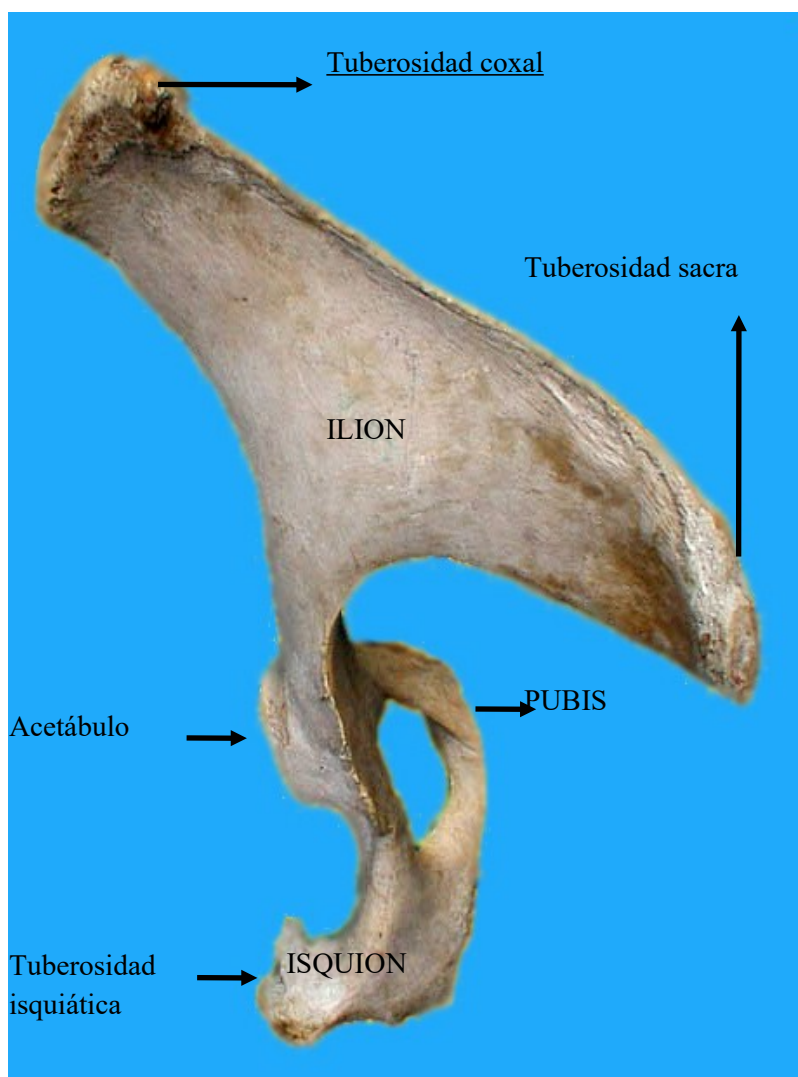


Leyenda: flechas, corona; 1, muralla; 2, suela; 3, ranilla; 4 talones; 5, línea blanca

1.7) Coxal

Es un hueso irregular de tipo plano que resulta de la fusión en el desarrollo fetal de los huesos ilion, isquion y pubis. Articula medialmente con el sacro a través de la tuberosidad coxal y lateralmente con el hueso fémur a través del acetábulo. Sobre el lado lateral y cranealmente destaca la presencia de la tuberosidad coxal que es uno de los puntos de referencia para la toma de datos (Figura 9).

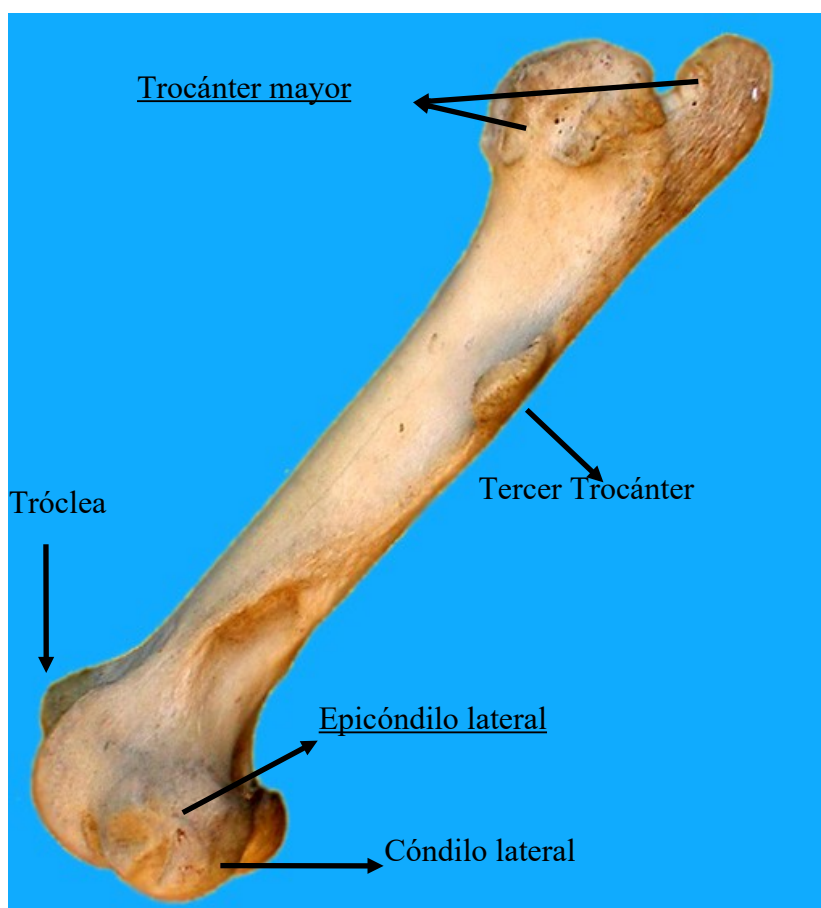
Figura 9. Coxal izquierdo, vista dorsal. Scavone et al. (2002)



1.8) Fémur

Es un hueso largo, rectilíneo y en el extremo proximal tiene una cabeza que articula con el hueso coxal. Al lado de la cabeza se ubica el trocánter mayor el cual es palpable en el animal vivo con variaciones acorde al estado de nutrición del animal. El trocánter mayor es uno de las estructuras anatómicas elegidas para la toma de datos junto con el epicóndilo lateral que se ubica sobre el extremo distal del hueso (Figura 10). Cranealmente sobre la parte distal se ubica la tróclea femoral donde articula y se desliza la rótula.

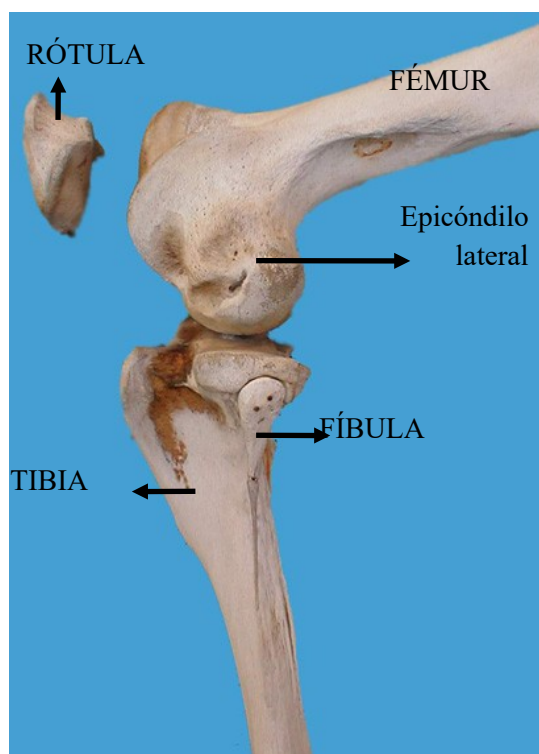
Figura 10. Fémur izquierdo, vista lateral Scavone et al. (2002).



1.9) Tibia y fíbula (peroné)

En el caballo la tibia es el principal hueso de la región y el peroné se reduce a un pequeño hueso que articula sobre la parte lateral del extremo proximal de la tibia y a una parte fusionada al extremo distal de la tibia. La tibia presenta en el extremo proximal dos cóndilos (que articulan con los cóndilos del fémur), una tuberosidad y una cresta tibial que continúa a esta última. Lateralmente se encuentra el surco extensor. Sobre el extremo distal se ubica la cóclea que articula con el hueso talus del tarso y los maléolos lateral y medial que son fácilmente palpables en el animal vivo (Figuras 11 y 12).

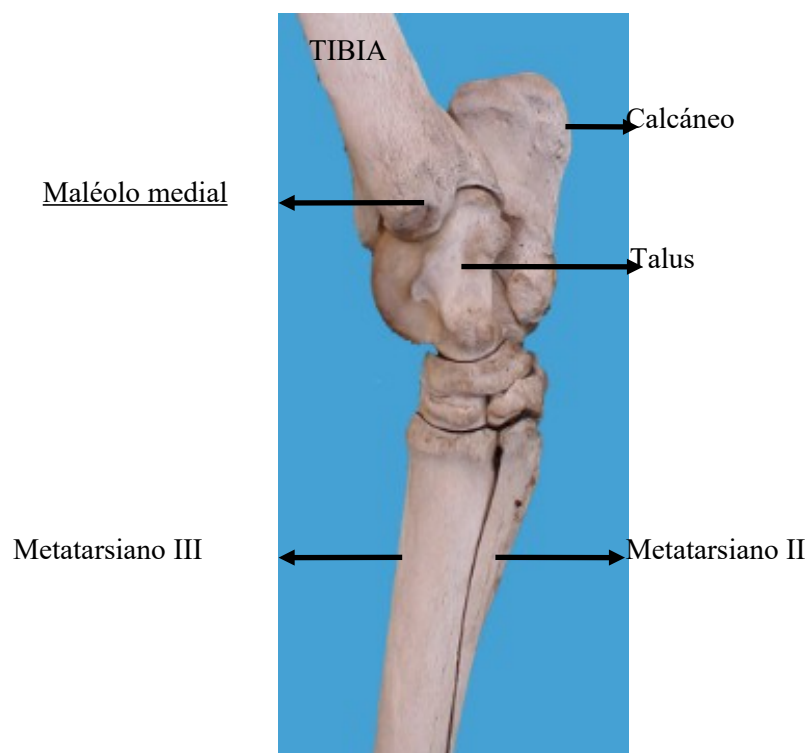
Figura 11. Fémur, rótula, tibia y fíbula izq. Vista lateral. Scavone et al. (2002).



1.10) Tarso

El tarso es un conjunto de huesos que se disponen en 3 filas. La fila proximal está representada por el calcáneo y el talus (astrágalo). En la siguiente fila está presente solamente el hueso central y en la fila distal están los huesos I y II fusionados en un único hueso, el III que es el de mayor tamaño y el IV que se ubica en la parte más lateral del conjunto (Figura 12).

Figura 12. Tibia, tarso, metatarso derecho. Vista medial. Scavone et al. (2002).

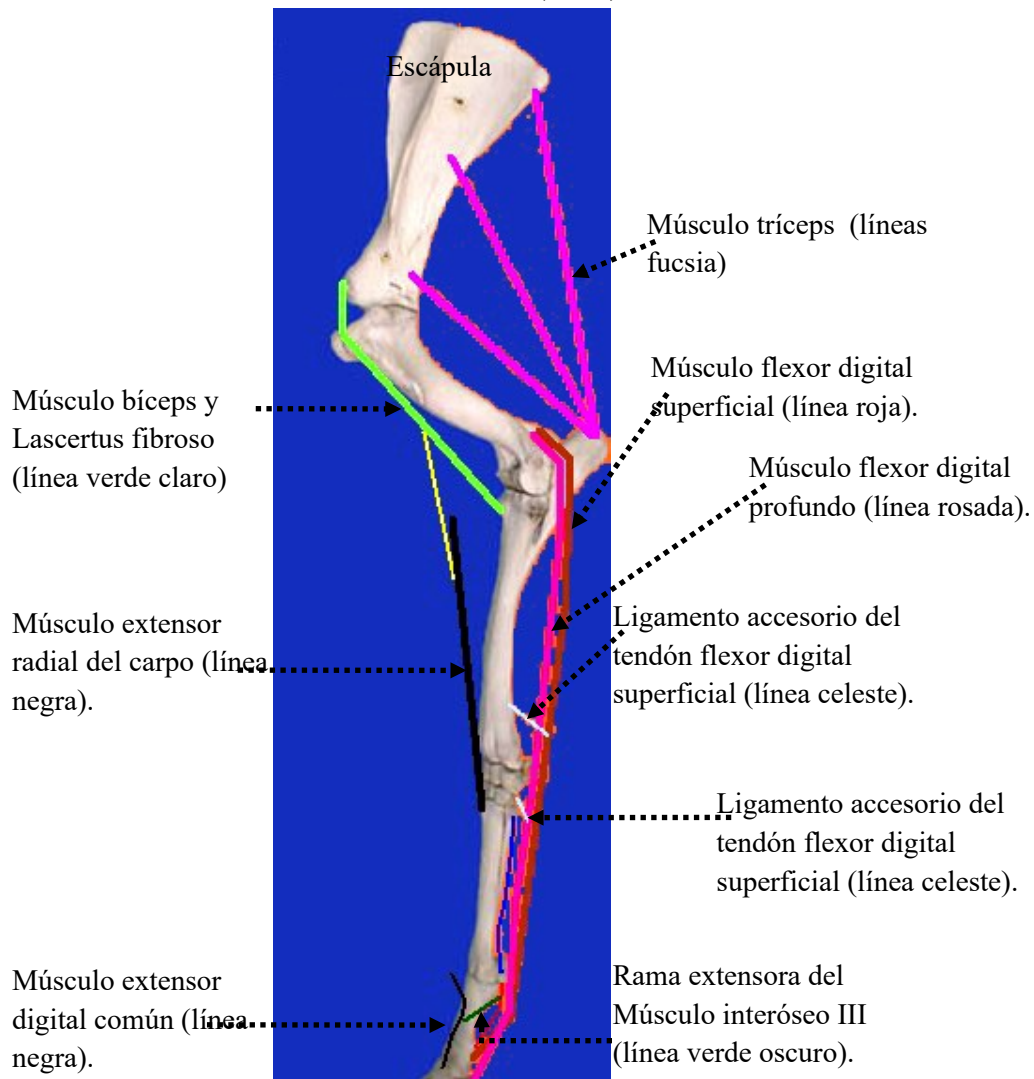


1.11) Sistemas de sostén pasivo del caballo

Como se señaló anteriormente el caballo cuenta con un sistema de sostén pasivo en los cuatro miembros. Obviamente que el largo de los huesos que componen los miembros tendrán efecto sobre el funcionamiento de los ejes óseos, las palancas, el torque y el esfuerzo muscular en cada uno de los miembros. Por ese motivo se ha seleccionado la longitud ósea como variable estadística que aporte datos para otros estudios biomecánicos según se explica más adelante.

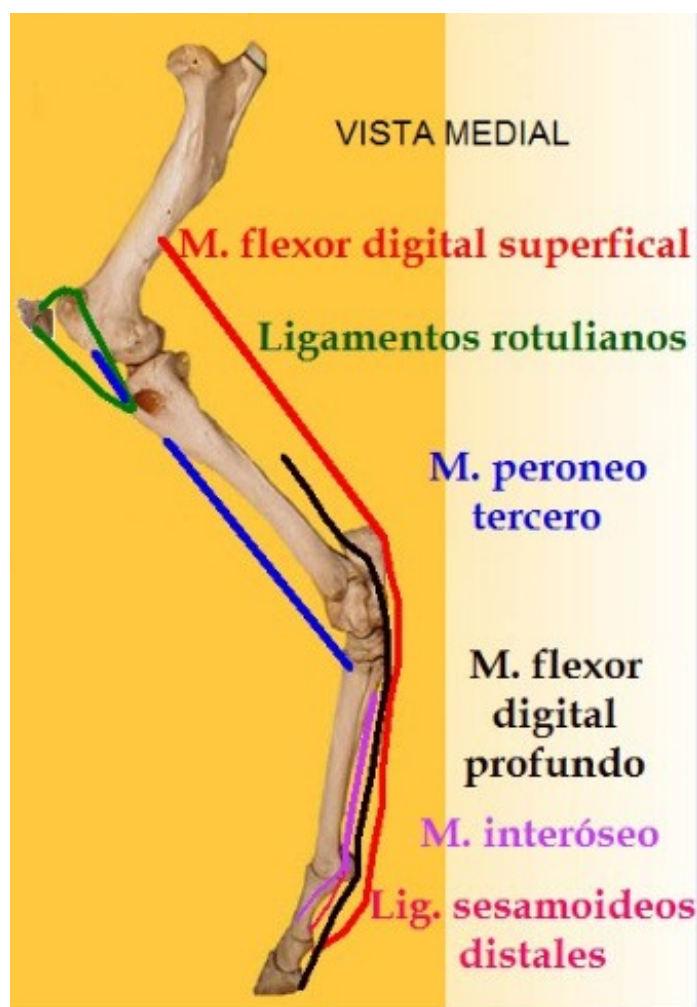
En los miembros torácicos (anteriores) existe el lacertus fibroso en estrecha relación con el músculo bíceps que vincula al extremo distal de la escápula con el extremo proximal del radio y del metacarpiano III (Figura 13) además de los ligamentos accesorios de los tendones flexores que se insertan en el radio y en el carpo. Esto es particularmente interesante por las implicancias que tiene el largo de los huesos del miembro en este aparato de sostén pasivo. No obstante, necesita de un pequeño esfuerzo muscular (músculo tríceps) para mantenerse firme.

Figura 13. Aparato de sostén pasivo, miembro torácico izquierdo.
Scavone et al (2002).



En el miembro pelviano (posterior) también existe un aparato de sostén pasivo que es mucho más eficiente ya que no necesita esfuerzo muscular para sostener el peso. Para ello se traba la rótula sobre el labio medial de la tróclea femoral y a través del músculo peroneo tercero (del cual solamente queda un tendón) se conecta el extremo distal del fémur con el extremo proximal del metatarso (Figura 14).

Figura 14. Esquema del aparato recíproco del miembro pelviano derecho. Scavone et al. (2002)



1.12) Selección de razas de caballos

Desde su domesticación a partir de poblaciones asiáticas, el caballo ha tenido una gran incidencia para el desarrollo de la humanidad; su anatomía y proporciones corporales han sido objeto de estudio desde hace siglos habiendo publicado ya en 1333 Abu Bekr Ibn Bedr Al Baytar sobre éste tema además de otros autores como Carlo Ruini en 1599 (Bayon, 1935; Mac Fadden, 1999). Dentro de la gran variabilidad de las dos especies de équidos domesticados, *Equus ferus caballus* y *Equus ferus asinus*, los estándares raciales prevén ciertas características que uniformizan la morfología y el biotipo de cada una.

Es así que el ser humano ha seleccionado y perfeccionado el fenotipo de los caballos según la función que le interesa desarrollar en los animales. Actualmente existen en el mundo numerosas razas para muchos usos y funciones tanto de trabajo, deporte o esparcimiento. En nuestro país, la raza que existe en mayor cantidad es la criolla (Ferrari et al., 2012) seguida de los equinos deportivos como Árabe, Cuarto de Milla y Pura Sangre de Carreras.

1.13) Temas de interés sobre los miembros del caballo

Los miembros; que son la esencia del aparato locomotor de cualquier mamífero; han sido objeto de numerosos estudios, particularmente en el caballo doméstico (Ruini, 1599; Bayon, 1935; Bartel et al., 1978; Shorafa et al., 1979; Colles, 1983; Leach, 1983; Barrey, 1990; Bach et al., 1991; Caudron et al., 1997; Chateau et al., 2002; Schuurman et al., 2003; Chateau et al., 2004; Moleman et al., 2006; Adams and Stashak's, 2011).

Sin embargo, la amplia bibliografía existente se basa principalmente en estudios realizados sobre el dedo del caballo o pie (foot) como se le llama comúnmente en el ambiente ecuestre (Parks, 2003). Estos trabajos están centrados en aquellos aspectos morfológicos y funcionales que abarcan desde la articulación metacarpo o metatarso-falangiana hasta el casco inclusive (Shorafa et al., 1979; Nunamaker, 1991; Denoix, 1999; Galán et al., 2002; Redden, 2003; Albernaz et al., 2011).

Por su parte Schyver (1978) analizó muestras de la región cortical de huesos largos de los miembros de ponis y lo vinculó al sexo y la alimentación, pero tampoco incluyó el largo del hueso como variable.

Algunos trabajos han centrado su atención en la inclinación de la escápula (espalda) o de la cadera (grupa) respecto de la línea horizontal (Dos Santos et al., 2008). Otros se han ocupado de mediciones a nivel del metacarpo o metatarso como forma de predecir la capacidad de resistencia mecánica de estos huesos (Lawrence et al., 1994; Moine et al., 2001; Galán et al., 2002).

Respecto de las demás regiones del miembro como ser brazo (húmero), antebrazo (radio + ulna), muslo (fémur) y pierna (tibia + fibula) no se han encontrado estudios que vinculen a los huesos de éstas partes entre sí en cuanto a su longitud. Este tipo de información es importante ya que son la parte del miembro que contiene a la mayor cantidad de músculos encargados de mover a los huesos de los miembros. Los huesos largos fueron objeto de estudio por Hanson et al. (1995) en cuanto a su capacidad de resistencia a la compresión sin vinculación directa con la longitud. Por su parte Les et al. (1997) realizaron estudios similares, pero utilizando solamente el hueso metacarpiano III. En estos trabajos se prioriza la resistencia del tejido óseo a la compresión axial por sobre su longitud y por tanto nos aportan una idea de las fuerzas que pueden resistir los huesos largos de los miembros. Sin embargo, nuestro estudio apunta a valorar la longitud como un insumo más al conocimiento del aparato locomotor del caballo.

Las regiones corporales que componen los miembros son las que presentan las palancas y generan las fuerzas que mueven a los huesos en cada paso. Por tal motivo resulta interesante conocer la proporción que existe entre los mismos para efectuar inferencias funcionales.

2.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

Existe relación de la longitud entre los principales huesos que componen los miembros del caballo.

3.- OBJETIVOS

3.1- Objetivos Generales

Estudiar anatómicamente la relación y proporciones entre las diferentes partes del aparato locomotor del caballo.

3.2- Objetivos Específicos

3.2.1 Obtener una base de datos de la longitud de cada hueso largo que compone los miembros de caballos (*Equus ferus caballus*) adultos.

3.2.2 Determinar si existe relación entre sí respecto del largo óseo en cada uno de los miembros del caballo.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 - Estrategias de investigación

Para cumplir con los objetivos se recopiló información actualizada sobre la anatomía de los accidentes óseos palpables en los miembros del caballo y se puso a punto la identificación de los accidentes óseos en la colección de huesos existente en el ICG- Colección Paleontológica (Vertebrados).

Se utilizó un n de 194 caballos domésticos (*Equus ferus caballus*) adultos de diferentes razas, edades y sexos. Se consideraron como adultos los animales mayores a 2,5 años que es cuando emergen los primeros dientes incisivos permanentes.

Para esto se encontraron disponibles los caballos atendidos durante el ejercicio liberal de la Profesión Veterinaria y caballos de razas puras en haras, exposiciones, competencias hípcas y exposiciones de criadores en los departamentos de Montevideo, San José, Paysandú, Salto y Artigas.

El método de medición no fue invasivo ni generó dolor o molestias ni tiene consecuencias secundarias para los animales (Figuras 16 a 20).

Para cada animal se obtuvieron los datos de identificación y se confeccionó una planilla electrónica para su posterior análisis estadístico. Las mediciones se realizaron siempre del lado izquierdo (lado de montar) ya que es la manera en que están acostumbrados a ser manejados los animales, asumiendo que son simétricos.

Figura 15. Cinta métrica y planilla de datos. R. Möller.

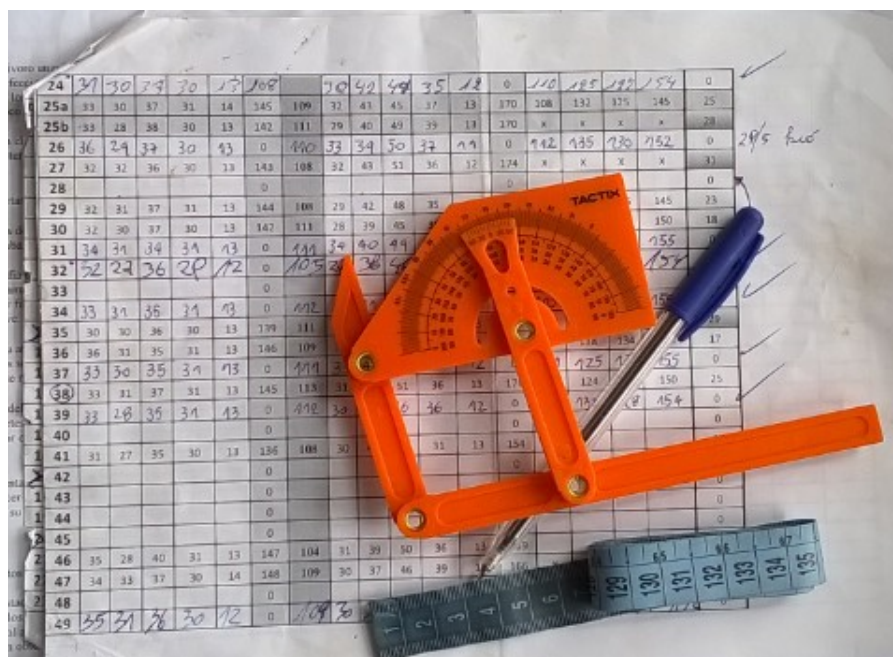


Figura 16. Medición de equino deportivo R. Möller.



Figura 17. Maniobras. R. Möller.



Si bien en total se midieron 194 animales según el detalle de las tablas 1 a 5 se descartaron los caballos árabe y mestizos para los estudios por raza debido al bajo número. Los datos fueron tomados por el mismo operador con el equino en estación normal (no forzada) y se utilizó una cinta métrica plástica (Figura 15).

Figura 18. Manejo previo del caballo. R. Möller.



Figura 19. Toma de datos en el miembro torácico (anterior). R. Möller.



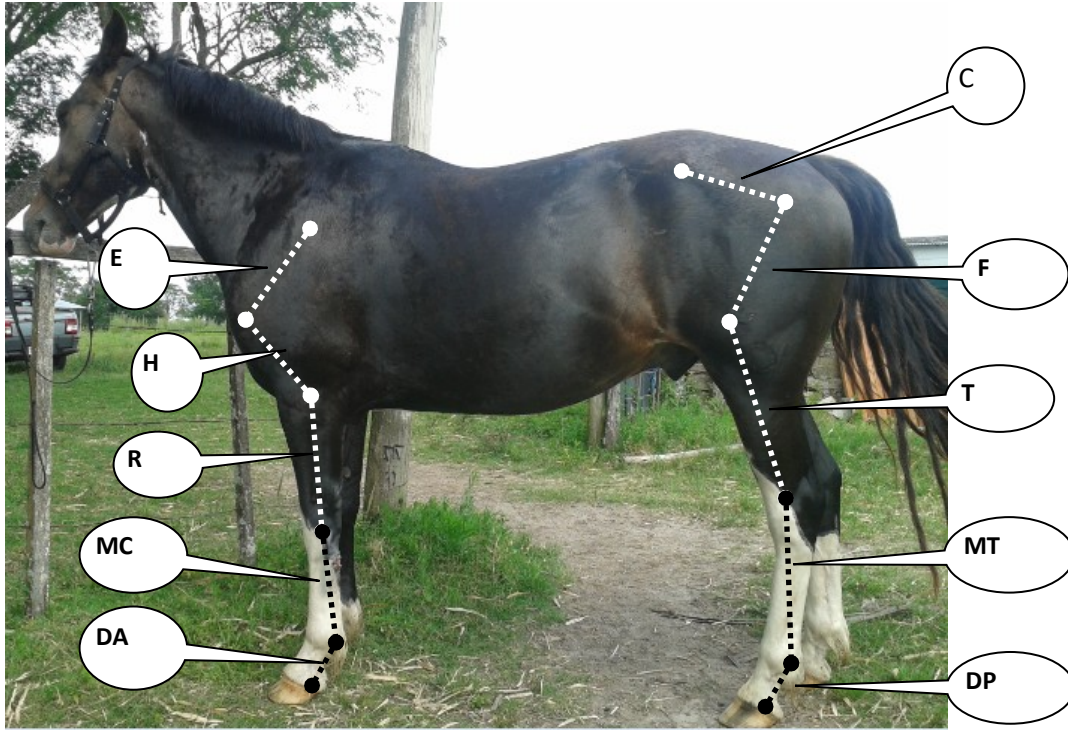
Figura 20. Toma de datos en el miembro pelviano (posterior). R. Möller.



En cada uno de los caballos se midió la distancia entre determinados puntos del esqueleto que son fácilmente palpables (ver figura 21). En total se tomaron 10 mediciones por animal según el siguiente detalle:

1. Entre el tubérculo de la espina escapular (Figura 2) y el tubérculo mayor del húmero (E) (Figura 3).
2. Entre el tubérculo mayor del húmero y el epicóndilo lateral del húmero (H) (Figura 3).
3. Entre el epicóndilo lateral del húmero y el proceso estiloides de la ulna (fusionado al radio en el caballo) (R) (Figuras 3 y 4).
4. Entre el proceso estiloides de la ulna y el hueso sesamoideo proximal lateral (MC) (Figuras 4, 5 y 7).
5. Entre el hueso sesamoideo proximal lateral y el borde lateral de la corona (Figuras 7 y 8) (DA). El casco no se considera por las variaciones que puede tener debido al herrado.
6. Entre la tuberosidad coxal y el trocánter mayor (Figura 9) (C).
7. Entre el trocánter mayor y el epicóndilo lateral del fémur (Figura 9 y 10) (F).
8. Entre el epicóndilo lateral del fémur y el maléolo lateral (Figura 11 y 12) (T).
9. Entre el maléolo lateral de la tibia y el hueso sesamoideo proximal lateral (Figuras 7 y 11) (MT).
10. Entre el hueso sesamoideo proximal lateral y el borde lateral de la corona (Figuras 7 y 8) (DP).

Figura 21. Imagen donde se indican los puntos de medición. R. Möller.



4.2 - Análisis estadístico

Las variables cuantitativas se analizaron a través de medidas de tendencia central y dispersión como ser la media y desvío estándar. Se consideró estadísticamente significativo un valor $p < 0,05$. El software utilizado fue Microsoft Excel, PSPP versión 19.0 y PAST Paleontological Statistics Version 3.16 (Hammer, 2001).

Cada variable se estudió a través de los test de Shapiro Wilk y de Kolmogorov-Smirnov (Levin, R, 1988).

Para el estudio de la relación entre las longitudes óseas se utilizó el coeficiente de correlación ordinal o no paramétrico de Spearman dado que no es aconsejable utilizar pruebas paramétricas (Levin, R, 1988; Misa, A, 2015). Los test de tipo no paramétricos se adecuan mejor a la falta de normalidad.

Primeramente, se realizó el análisis descriptivo global de las longitudes óseas y la relación entre sí de los huesos del mismo miembro (anterior o posterior) utilizando el universo muestral (todos los caballos).

Seguidamente se realizó para cada raza (Criolla, Cuarto de Milla y Pura Sangre de Carreras) el análisis de la correlación de Spearman (Levin, R, 1988; Misa, A, 2015).

Además, se calculó el Coeficiente de Variación - $(DS/M) \times 100$ – que expresa un valor en como porcentaje y se consideró a los valores menores de 30 % indicadores de poca variación y a los valores mayores de 30 % indicadores de ser variables o muy variables.

Asimismo, se compararon las longitudes óseas entre las principales razas a través del test no paramétrico de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1998).

Con el fin de conocer de qué manera las variables analizadas contribuyen a discriminar las razas Criolla, Cuarto de Milla y Pura Sangre de Carrera, se realizó un análisis discriminante (Manly, 1994) mediante el uso del software PAST (versión 3.16) (Hammer et al., 2001).

5.- RESULTADOS

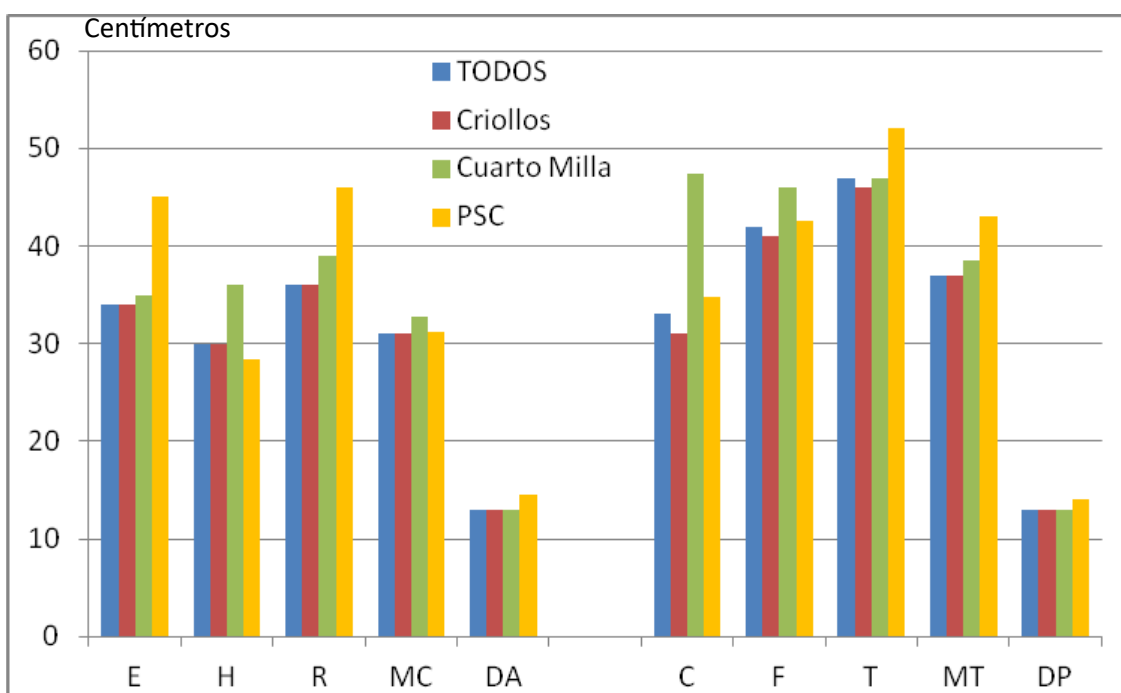
Los resultados se presentan organizados por raza tanto desde el punto de vista descriptivo como para las relaciones entre las variables consideradas (largos óseos).

5.1 - Análisis descriptivo de las longitudes óseas en la población y por raza

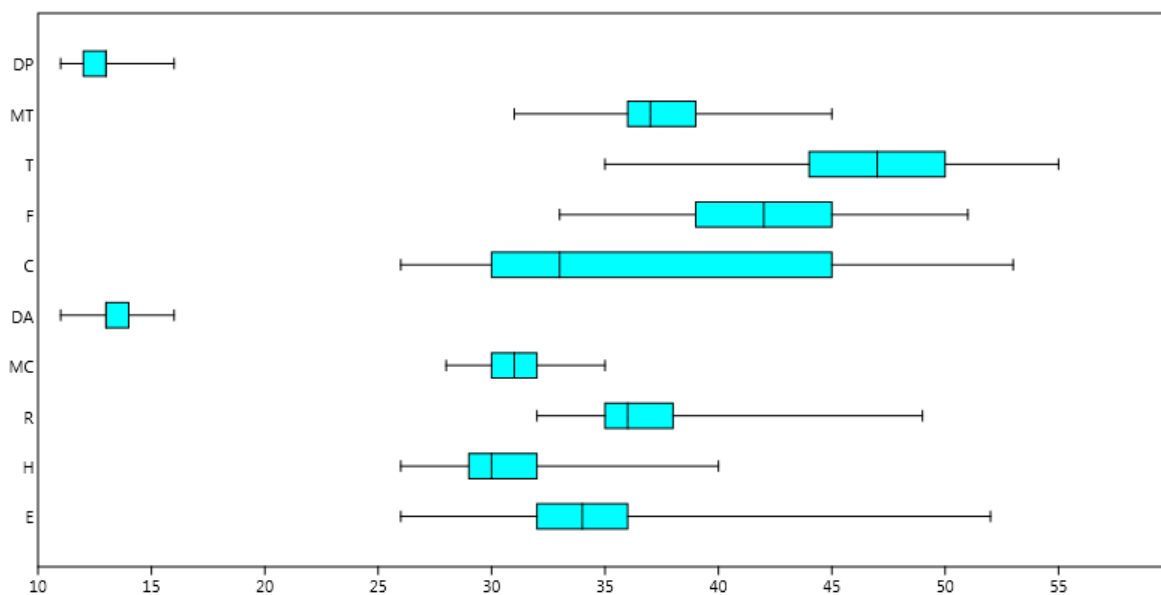
Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las variables objeto de estudio (longitudes en centímetros).

TODOS LOS CABALLOS	E	H	R	MC	DA	C	F	T	MT	DP
Media	34,88	30,85	37,24	31,03	13,28	36,79	42,16	46,22	37,74	12,81
Error típico	0,31	0,20	0,26	0,11	0,09	0,56	0,25	0,32	0,18	0,07
Mediana	34,00	30,00	36,00	31,00	13,00	33,00	42,00	47,00	37,00	13,00
Moda	35,00	30,00	36,00	30,00	13,00	30,00	40,00	50,00	37,00	13,00
Desviación estándar	4,33	2,81	3,59	1,57	1,25	7,87	3,54	4,50	2,51	0,95
Varianza de la muestra	18,78	7,87	12,86	2,48	1,55	61,91	12,50	20,28	6,28	0,91
Rango	26,00	14,00	17,00	10,00	13,00	27,00	21,00	20,00	15,00	5,00
Mínimo	26,00	26,00	32,00	28,00	3,00	26,00	33,00	35,00	31,00	11,00
Máximo	52,00	40,00	49,00	38,00	16,00	53,00	54,00	55,00	46,00	16,00
Cuenta	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
<i>Coefficiente de variación</i>	12	9	10	5	9	21	8	10	7	7
Criollo	E	H	R	MC	DA	C	F	T	MT	DP
Media	33,86	30,29	35,97	30,56	13,18	35,13	41,27	45,46	36,90	12,62
Error típico	0,23	0,16	0,19	0,09	0,08	0,62	0,25	0,37	0,14	0,07
Mediana	34,00	30,00	36,00	31,00	13,00	31,00	41,00	46,00	37,00	13,00
Moda	35,00	30,00	36,00	31,00	13,00	30,00	45,00	45,00	37,00	12,00
Desviación estándar	2,76	1,94	2,30	1,09	1,00	7,47	3,01	4,49	1,67	0,89
Varianza de la muestra	7,60	3,78	5,30	1,18	1,00	55,77	9,06	20,18	2,79	0,79
Rango	20,00	11,00	14,00	7,00	5,00	25,00	13,00	19,00	13,00	4,00
Mínimo	26,00	26,00	32,00	28,00	11,00	26,00	33,00	35,00	31,00	11,00
Máximo	46,00	37,00	46,00	35,00	16,00	51,00	46,00	54,00	44,00	15,00
Cuenta	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147
<i>Coefficiente de variación</i>	8	6	6	4	8	21	7	10	5	7
Cuarto de Milla	E	H	R	MC	DA	C	F	T	MT	DP
Media	34,87	35,57	39,09	32,70	12,96	47,39	46,43	47,35	38,52	12,91
Error típico	0,62	0,61	0,55	0,33	0,46	0,60	0,59	0,59	0,32	0,14
Mediana	35,00	36,00	39,00	33,00	13,00	47,00	46,00	47,00	39,00	13,00
Moda	35,00	33,00	41,00	33,00	13,00	46,00	46,00	46,00	39,00	13,00
Desviación estándar	2,97	2,94	2,63	1,58	2,23	2,86	2,81	2,84	1,53	0,67
Varianza de la muestra	8,85	8,62	6,90	2,49	4,95	8,16	7,89	8,06	2,35	0,45
Rango	12,00	9,00	10,00	6,00	11,00	13,00	11,00	12,00	6,00	2,00
Mínimo	28,00	31,00	34,00	29,00	3,00	40,00	40,00	41,00	35,00	12,00
Máximo	40,00	40,00	44,00	35,00	14,00	53,00	51,00	53,00	41,00	14,00
Cuenta	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
<i>Coefficiente de variación</i>	9	8	7	5	17	6	6	6	4	5
Pura sangre	E	H	R	MC	DA	C	F	T	MT	DP
Media	46,33	28,40	45,93	31,13	14,60	34,73	42,60	52,00	42,93	14,07
Error típico	0,75	0,34	0,41	0,31	0,21	0,58	0,70	0,55	0,36	0,23
Mediana	45,00	29,00	46,00	31,00	15,00	35,00	43,00	52,00	43,00	14,00
Moda	44,00	29,00	46,00	30,00	15,00	33,00	40,00	53,00	43,00	14,00
Desviación estándar	2,92	1,30	1,58	1,19	0,83	2,25	2,72	2,14	1,39	0,88
Varianza de la muestra	8,52	1,69	2,50	1,41	0,69	5,07	7,40	4,57	1,92	0,78
Rango	9,00	4,00	7,00	4,00	3,00	7,00	10,00	7,00	6,00	3,00
Mínimo	43,00	26,00	42,00	29,00	13,00	32,00	38,00	48,00	39,00	13,00
Máximo	52,00	30,00	49,00	33,00	16,00	39,00	48,00	55,00	45,00	16,00
Cuenta	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
<i>Coefficiente de variación</i>	6	5	3	4	6	6	6	4	3	6

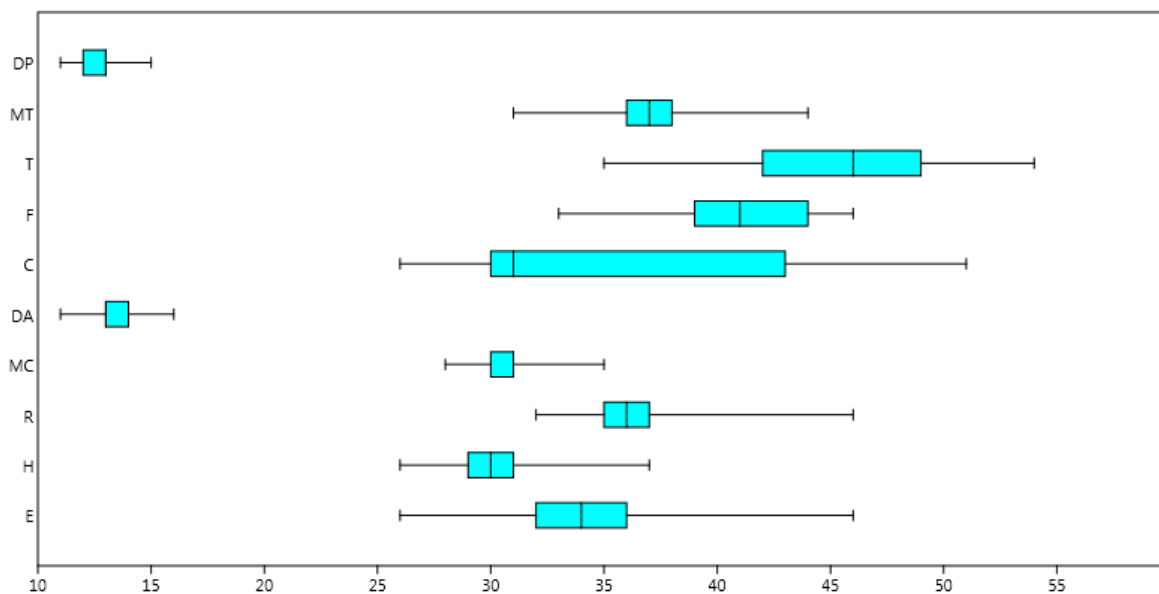
Gráfica 1. Mediana por variable de la población (cm) y de cada raza.



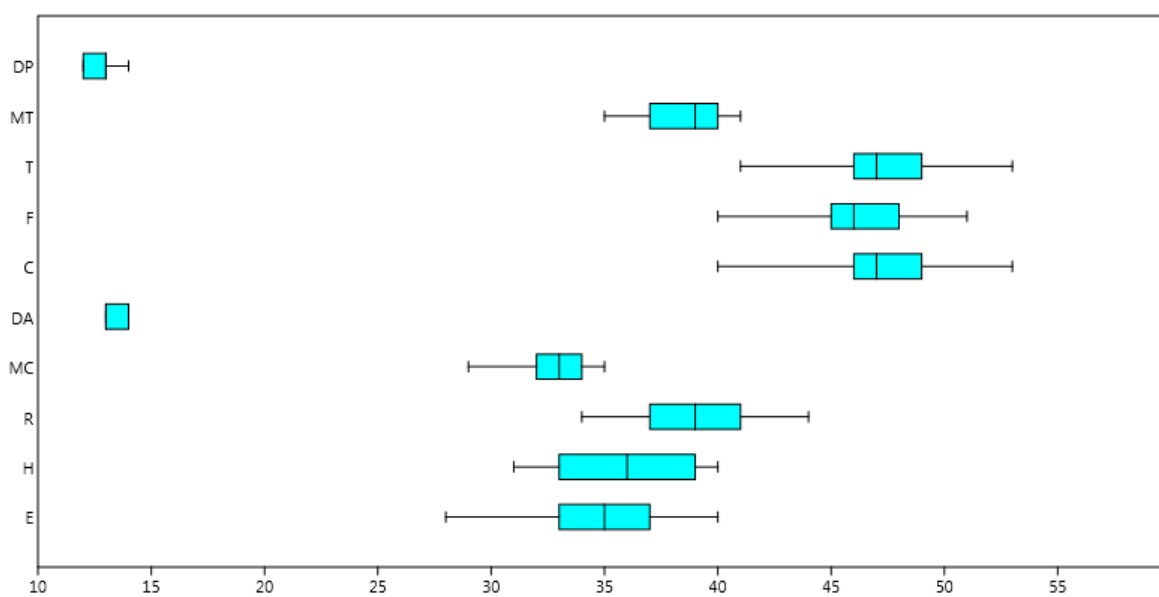
Gráfica 2. Representación de "cajas" para el total de la población (Criollo, Cuarto de Milla y Pura Sangre) por variable (cm)



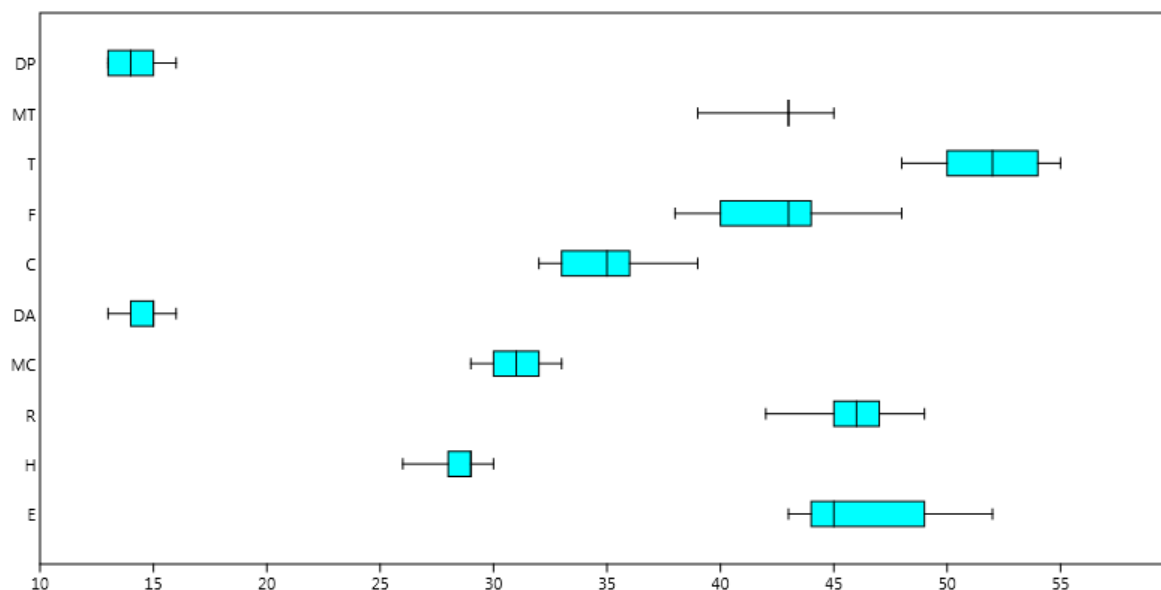
Gráfica 3. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza criolla



Gráfica 4. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza Cuarto de Milla



Gráfica 5. Representación de "cajas" por variable (cm) para la raza Pura Sangre de Carrera



Para la medida del hueso coxal (C) en las gráficas anteriores se aprecia un claro desvío de la mediana hacia la izquierda cuando se considera a la población, en la raza criolla y los cuarto de milla, no así en los pura sangre. Esto muestra una cierta variabilidad ya que aparece mayor cantidad de datos por encima de la mediana, no obstante, el coeficiente de variación se mantiene por debajo de 30 %. Para la escápula (E) la mediana se mantiene en el centro de la caja, pero se ve desplazada hacia la izquierda en los pura sangre. Para el caso del fémur (F) la mediana también se mantiene relativamente centrada pero desplazada hacia la derecha en los pura sangre. En el radio (R) y metacarpo (MC) la variabilidad es mínima y la mediana se mantiene en el centro de la caja.

Tabla 2. Comparación de la mediana entre las razas. Los símbolos “* ψ e ξ ” corresponden a los pares estudiados donde se encontró diferencia significativa a través del test de Mann-Whitney.

Variable (longitud)	Raza	Mediana	Intervalo Intercuartílico	valor-p
E	Criollo (147)	34 ψ	4	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	35 ξ	4	
	Pura Sangre (15)	45 $\psi \xi$	5	
H	Criollo (147)	30* ψ	2	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	36* ξ	6	
	Pura Sangre (15)	29 $\psi \xi$	1	
R	Criollo (147)	36* ψ	2	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	39* ξ	4	
	Pura Sangre (15)	46 $\psi \xi$	2	
MC	Criollo (147)	31*	1	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	33* ξ	2	
	Pura Sangre (15)	31 ξ	2	
DA	Criollo (147)	13 ψ	1	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	13 ξ	1	
	Pura Sangre (15)	15 $\psi \xi$	1	
C	Criollo (147)	31*	13	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	47* ξ	3	
	Pura Sangre (15)	35 ξ	3	
F	Criollo (147)	41*	5	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	46* ξ	3	
	Pura Sangre (15)	43 ξ	4	
T	Criollo (147)	46 ψ	7	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	47 ξ	3	
	Pura Sangre (15)	52 $\psi \xi$	4	
MT	Criollo (147)	37* ψ	2	<0,001

Variable (longitud)	Raza	Mediana	Intervalo Intercuartílico	valor-p
	Cuarto de Milla (23)	39* ξ	3	
	Pura Sangre (15)	43 ψ ξ	0	
DP	Criollo (147)	13 ψ	1	<0,001
	Cuarto de Milla (23)	13 ξ	1	
	Pura Sangre (15)	14 ψ ξ	2	

En la tabla anterior se aprecia que los caballos criollos presentan diferencias estadísticamente significativas con los pura sangre para los valores de E, H, R, DA, T, MT y DP y con los cuarto de milla para MC, C y F. Los cuarto de milla presentan diferencias significativas con los pura sangre en E, H, R, MC, C y F.

5.2 - Análisis global de las relaciones entre las longitudes óseas

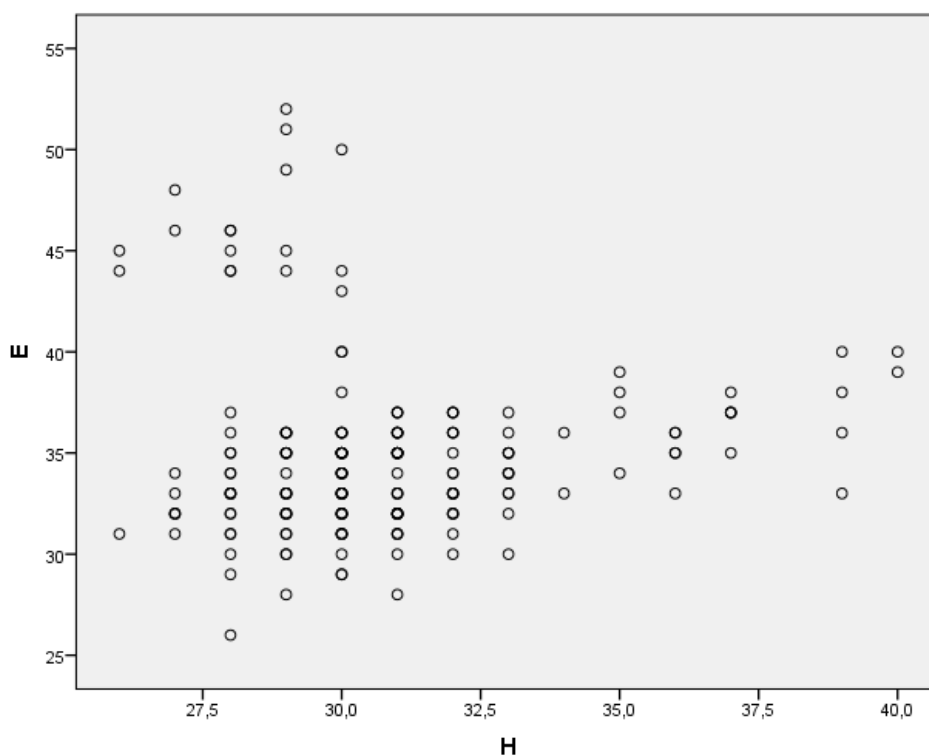
A excepción de las relaciones de E con H, R con H y E con MC, el resto son estadísticamente significativas (valor p menor que 0,05) (Tabla 8).

Las variables cuyo valor de **Rho de Spearman** son positivos, indica que a medida que aumenta una (longitud) la otra también aumenta, es decir, que están correlacionadas positivamente, como ocurrió en la mayoría de las mediciones con la excepción de la relación entre F con T cuyo valor fue negativo (-0,240, $p < 0.05$), lo que indica que, si aumenta la longitud F, disminuye la longitud T.

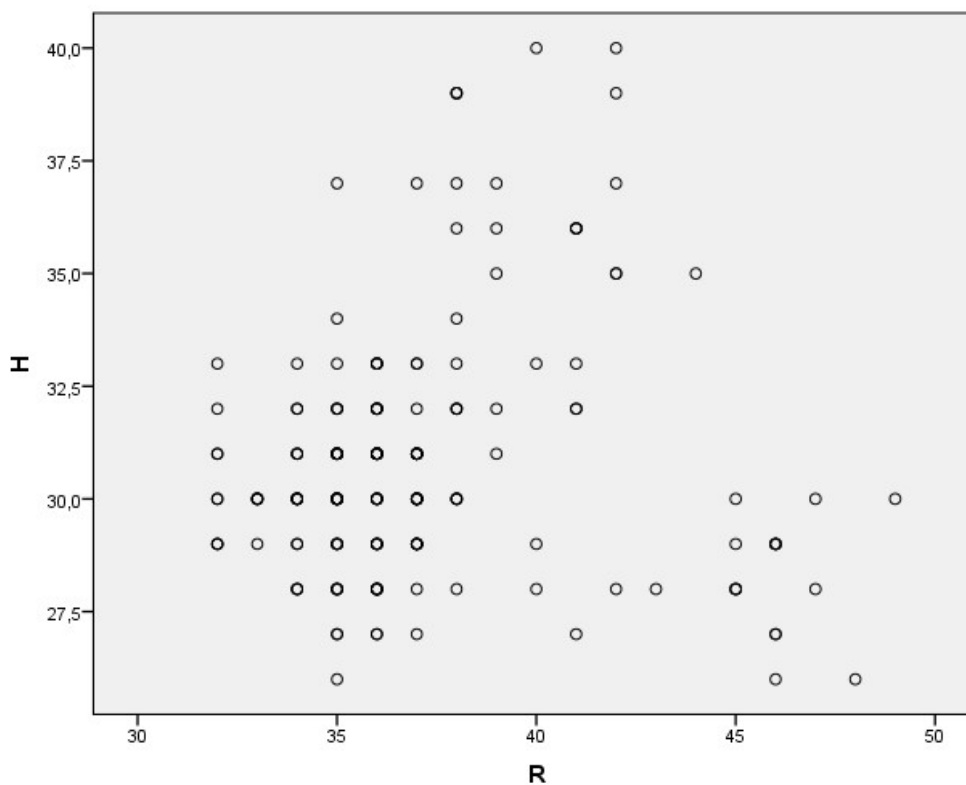
Tabla 3. Resultados del análisis de relación no paramétrica de Spearman entre las variables objeto de estudio.

Análisis de relación de variables	Rho de Spearman	valor-p
E con H	0,136	0,058
H con R	0,086	0,231
C con F	0,681	<0,001
F con T	-0,240	0,001
MT con C	0,187	0,009
MT con F	0,200	0,005
MT con T	0,387	<0,001
MT con DP	0,323	<0,001
MC con E	0,119	0,098
MC con H	0,283	<0,001
MC con R	0,310	<0,001
MC con DA	0,206	0,004
MC con MT	0,481	<0,001

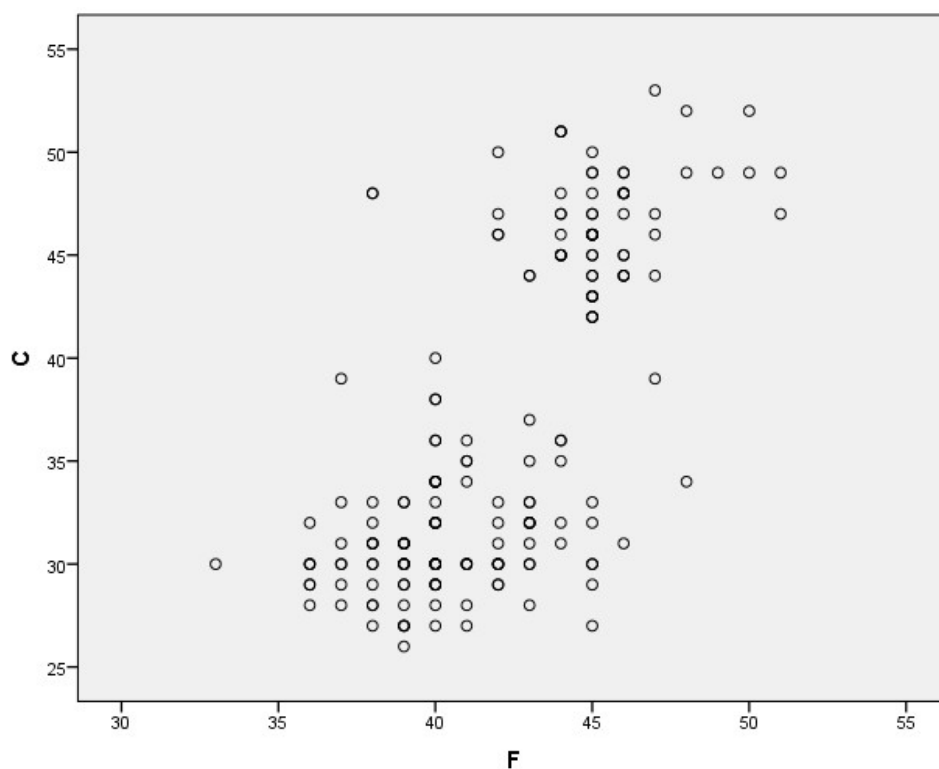
Gráfica 6. Distribución de las variables E y H, relación no significativa ($p= 0,058$)



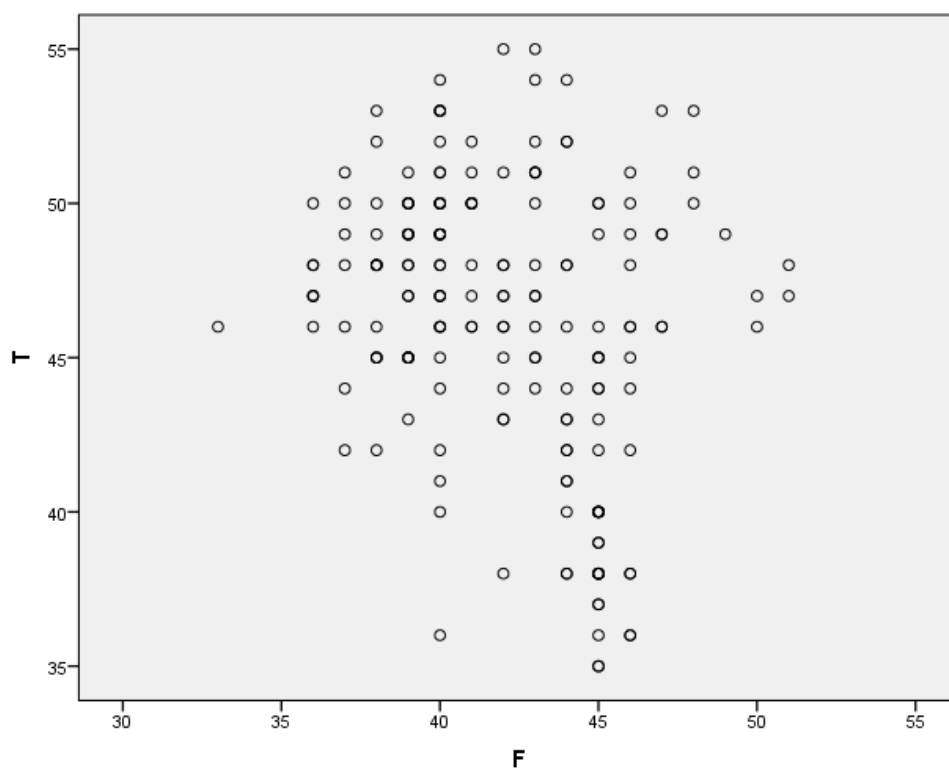
Gráfica 7. Distribución de las variables H y R, relación no significativa ($p= 0,231$)



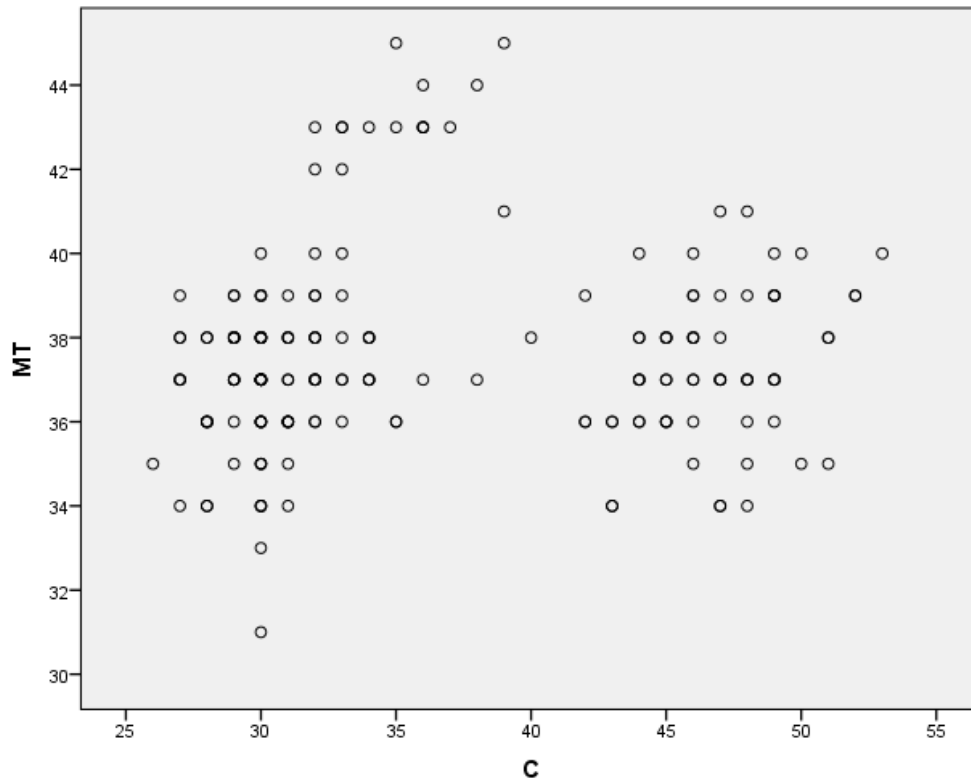
Gráfica 8. Distribución de las variables C y F, relación positiva ($p < 0,001$)



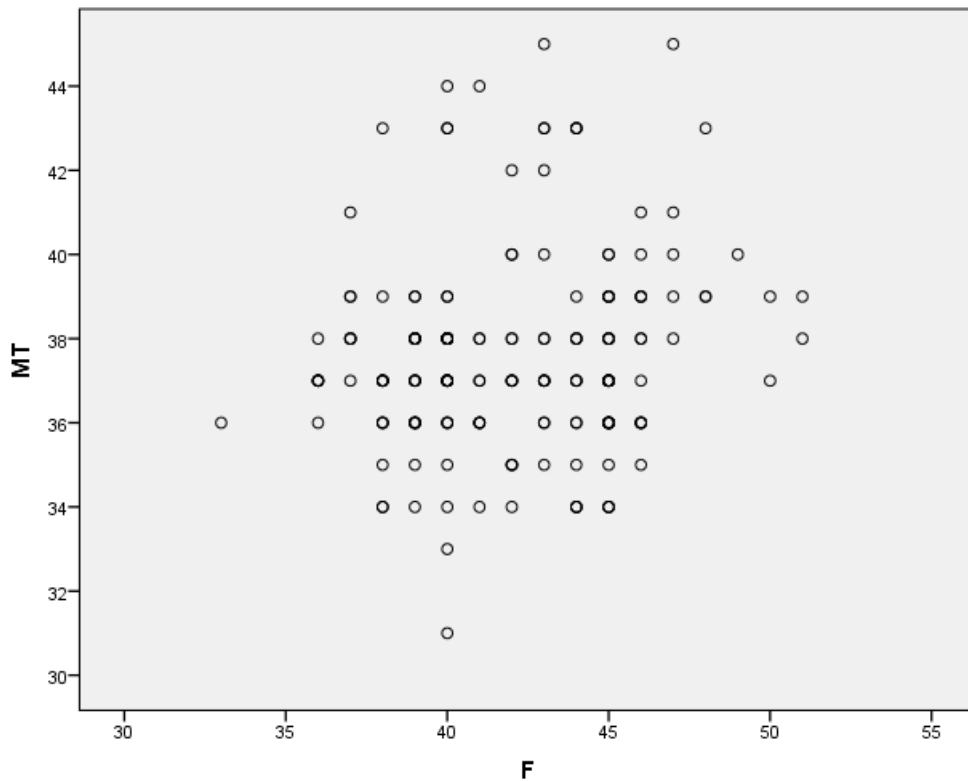
Gráfica 9. Distribución de las variables F y T, relación *negativa* ($p = 0,001$)



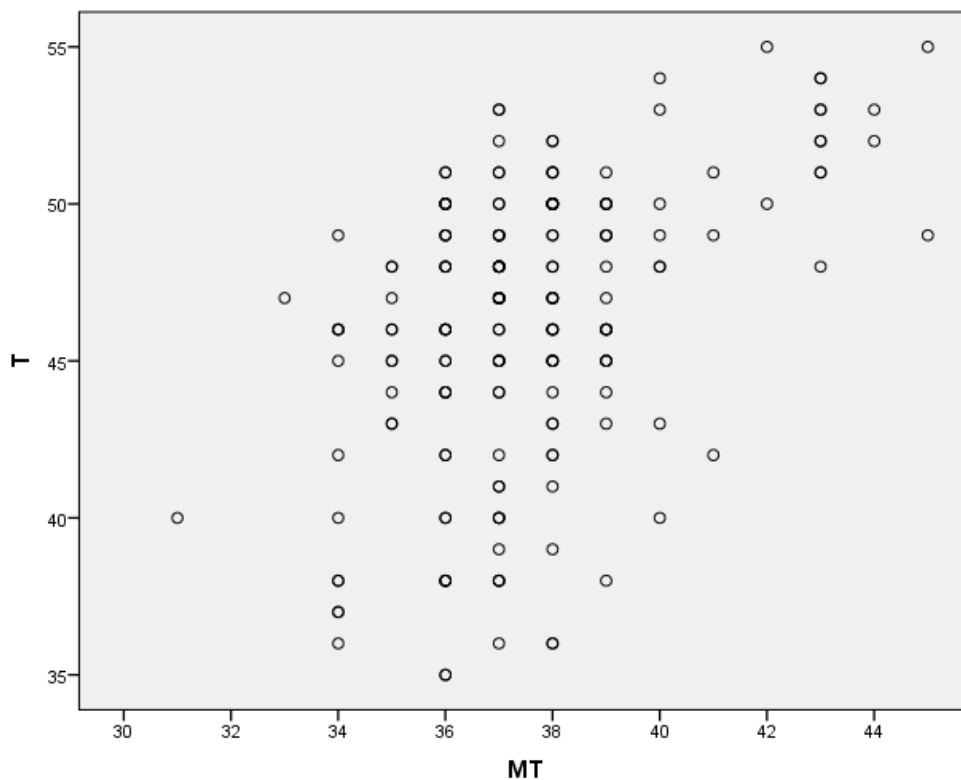
Gráfica 10. Distribución de las variables MT y C, relación positiva ($p = 0,009$)



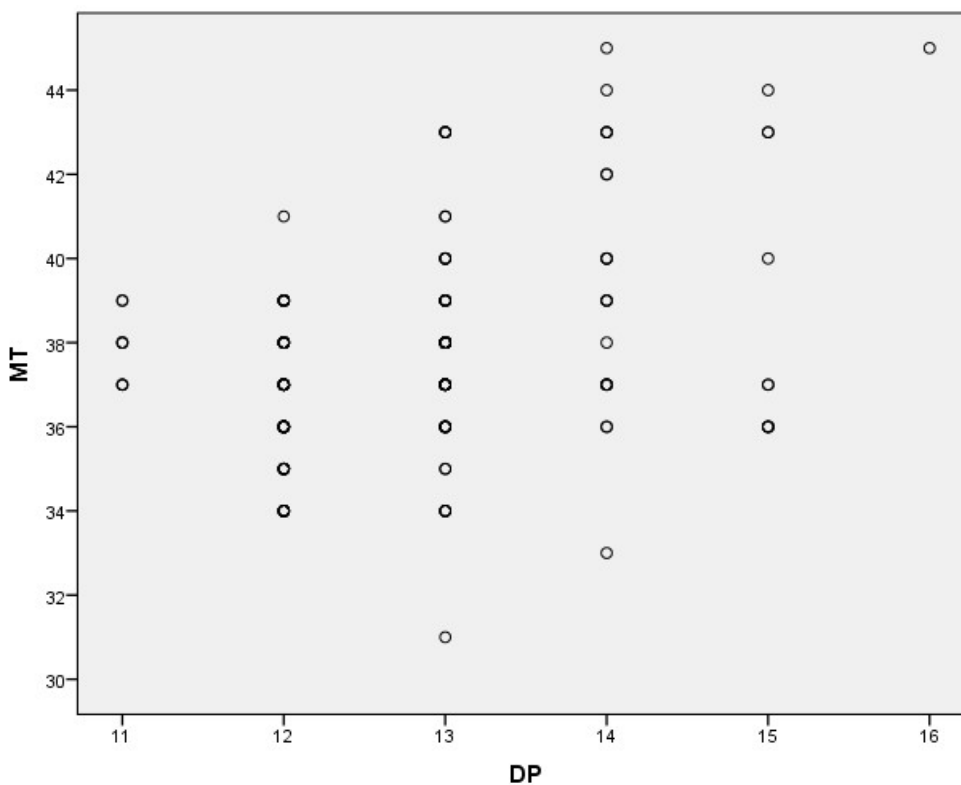
Gráfica 11. Distribución de las variables MT y F, relación positiva ($p = 0,005$)



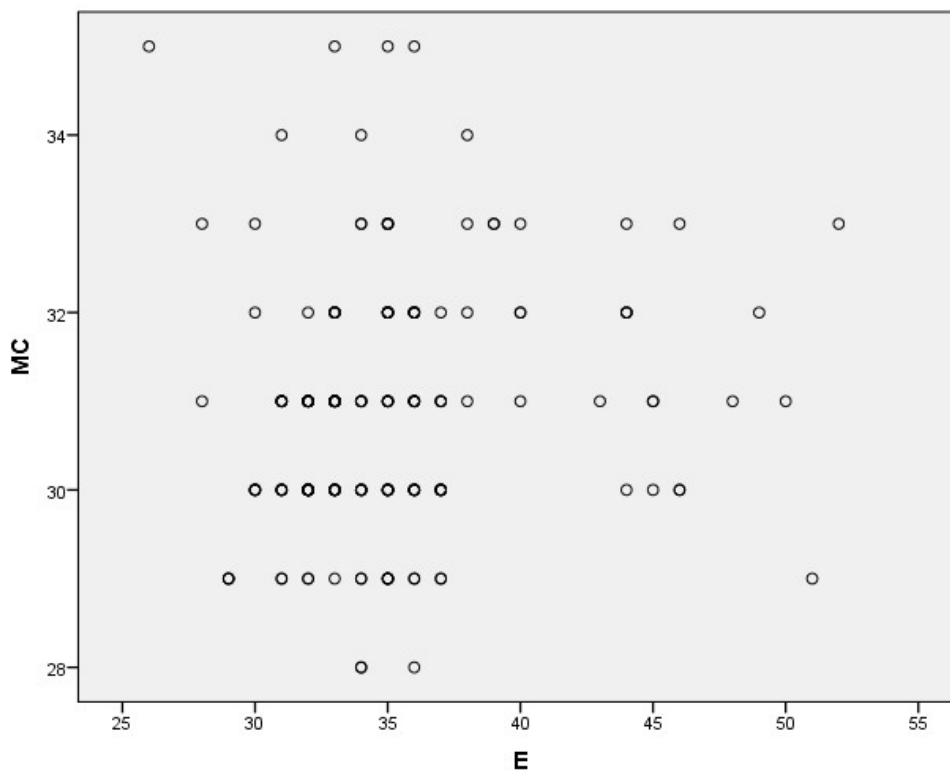
Gráfica 12. Distribución de las variables MT y T, relación positiva ($p < 0,001$)



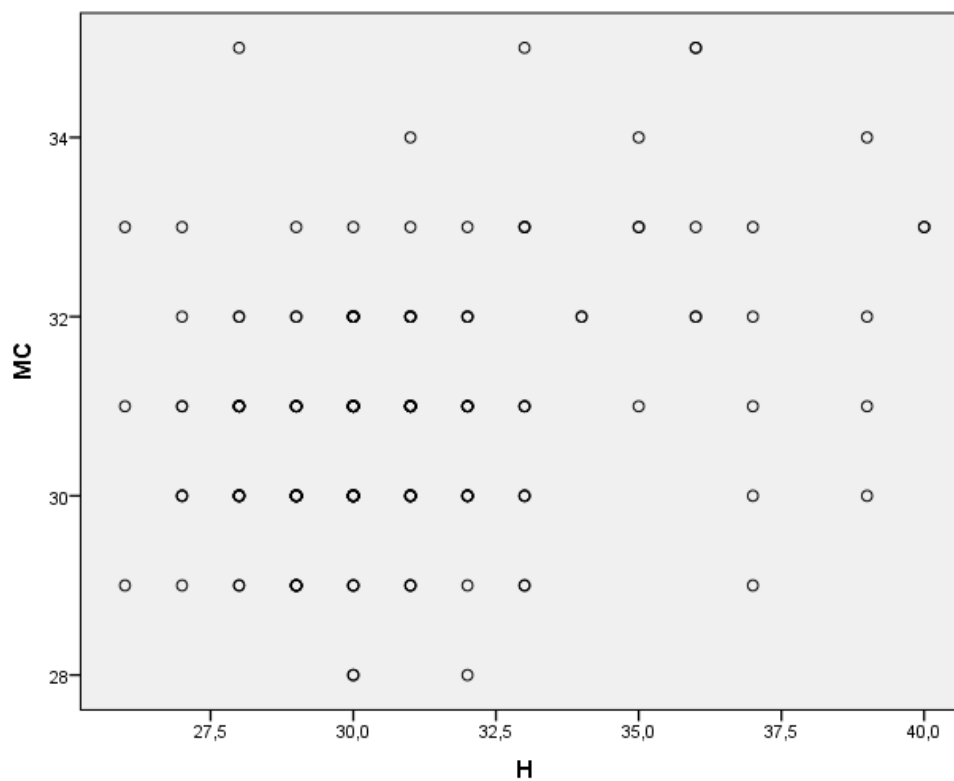
Gráfica 13. Distribución de las variables MT y DP, relación positiva ($p < 0,001$)



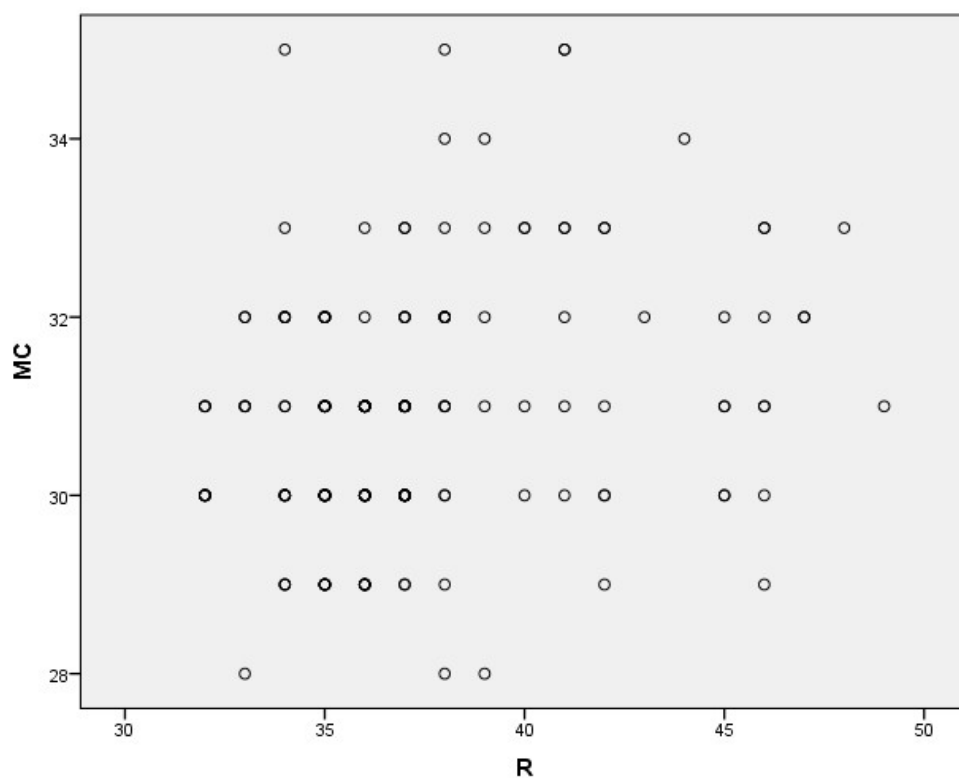
Gráfica 14. Distribución de las variables MC y E, relación positiva ($p = 0,098$)



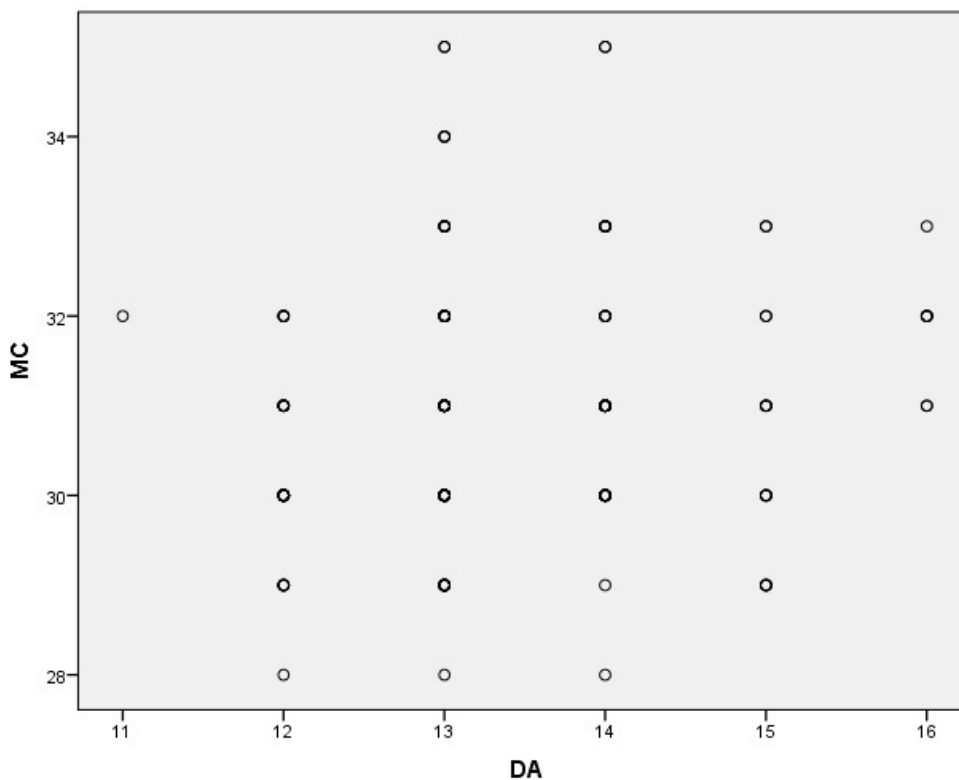
Gráfica 15. Distribución de las variables MC y H, relación positiva ($p < 0,001$)



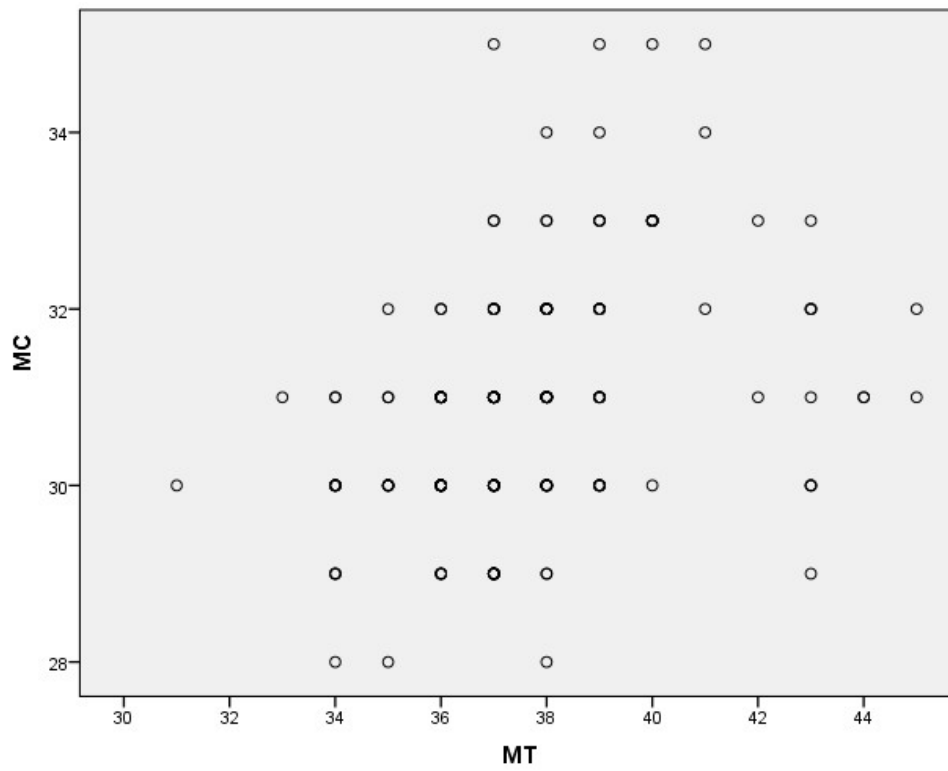
Gráfica 16. Distribución de las variables MC y R, relación positiva ($p < 0,001$)



Gráfica 17. Distribución de las variables MC y DA, relación positiva ($p = 0,004$)



Gráfica 18. Distribución de las variables MC y MT, relación positiva ($p < 0,001$)



5.3 - Análisis de relaciones para la raza criolla

Tabla 4. Análisis de la relación para la raza Criolla (n=147).

VARIABLES CORRELACIONADAS	RHO DE SPEARMAN	VALOR-P
E con H	0,274	<0,001
T con MT	0,239	0,004
H con R	0,106	0,201
C con F	0,567	<0,001
F con T	-0,511	0,001
MT con F	-0,039	0,642
MT con C	0,001	0,986
MT con DP	0,086	0,299
MC con E	0,195	0,006
MC con H	0,144	0,083
MC con R	0,126	0,128
MC con DA	0,147	0,076
MC con MT	0,381	<0,001

5.4 - Análisis de relaciones para la raza Cuarto de Milla.

Tabla 5. Análisis de la relación para la raza Cuarto de Milla (n=23).

Variables correlacionadas	Medida de correlación	valor-p
E con H	0,831	<0,001
T con MT	0,395	0,062
H con R	0,217	0,319
C con F	0,629	<0,001
F con T	0,488	0,018
MT con F	0,145	0,518
MT con C	0,211	0,335
MT con DP	0,237	0,276
MC con E	-0,231	0,289
MC con H	-0,293	0,174
MC con R	0,087	0,692
MC con DA	0,121	0,583
MC con MT	0,206	0,345

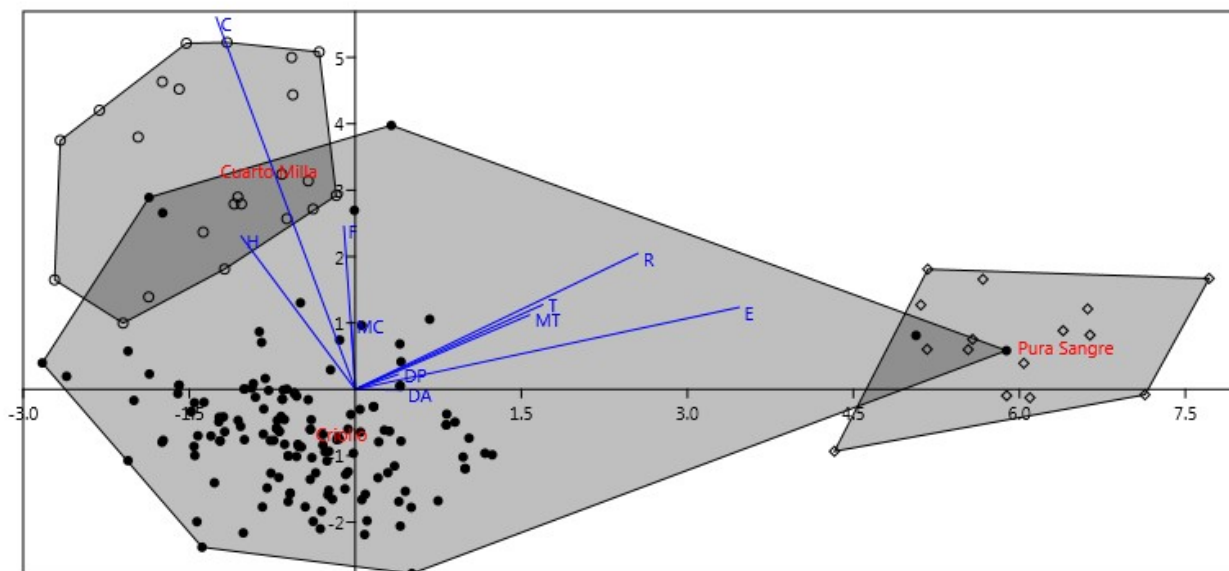
5.5 - Análisis de relaciones para la raza Pura Sangre

Tabla 6. Análisis de la relación para la raza Pura Sangre (n=15)

Variables correlacionadas	Medida de correlación	valor-p
E con H	0,059	0,834
T con MT	0,137	0,625
H con R	0,049	0,863
C con F	0,343	0,211
F con T	-0,049	0,862
MT con F	0,246	0,378
MT con C	0,696	0,004
MT con DP	0,304	0,270
MC con E	-0,165	0,557
MC con H	-0,083	0,768
MC con R	0,424	0,115
MC con DA	0,349	0,203
MC con MT	0,064	0,820

5.6 - Análisis discriminante de las razas en estudio

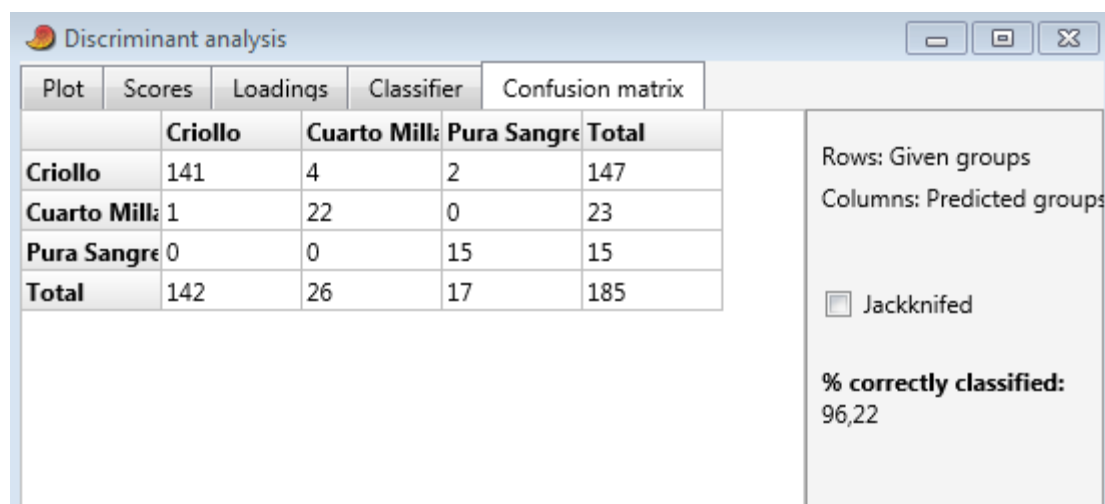
Gráfica 19. Resultado del análisis discriminante (factor 1: horizontal y factor 2: vertical) donde se observan los grupos de razas y las variables que más contribuyen a su discriminación



Referencias. ●: Criollo; ○: Cuarto de Milla; ◇: Pura Sangre

Matriz de confusión por raza según el software PAST

Tabla 7. Matriz de confusión



Plot	Scores	Loadings	Classifier	Confusion matrix
	Criollo	Cuarto Milla	Pura Sangre	Total
Criollo	141	4	2	147
Cuarto Milla	1	22	0	23
Pura Sangre	0	0	15	15
Total	142	26	17	185

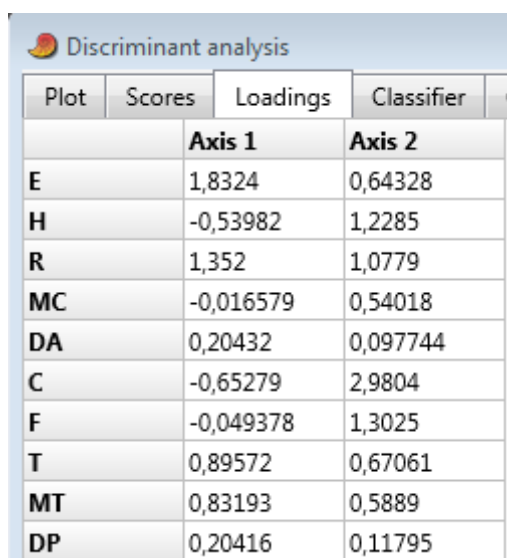
Rows: Given groups
Columns: Predicted groups

Jackknifed

% correctly classified:
96,22

Estos resultados indican que el 96,22 % de los individuos analizados por raza fueron correctamente clasificados a pesar de que 4 criollos podrían pertenecer a cuarto de milla y dos podrían clasificarse como pura sangre. También hay 1 cuarto de milla que podría clasificarse como criollo y todos los pura sangre fueron correctamente clasificados.

Tabla 8. Aporte de las variables a los factores de clasificación por raza.



Plot	Scores	Loadings	Classifier
		Axis 1	Axis 2
E	1,8324	0,64328	
H	-0,53982	1,2285	
R	1,352	1,0779	
MC	-0,016579	0,54018	
DA	0,20432	0,097744	
C	-0,65279	2,9804	
F	-0,049378	1,3025	
T	0,89572	0,67061	
MT	0,83193	0,5889	
DP	0,20416	0,11795	

Se observa que las variables E, R, T y MT contribuyen a determinar los pura sangre mientras que C y H son las variables que contribuyen para determinar los cuarto de milla.

6.- DISCUSIÓN

6.1 – Sobre los antecedentes

El primer registro conocido sobre las proporciones corporales del caballo data del año 1333 publicado por el veterinario árabe Abu Bekr Ibn Bedr Al Baytar (Hossaini-Hilali J, 2012), lo cual demuestra el interés sobre el tema desde hace siglos. Sin embargo, no existen en la bibliografía publicaciones que se ocupen específicamente de la longitud de cada uno de los huesos del esqueleto del caballo. La selección ejercida sobre los equinos llevó a la formación de varias razas y con ellas a diferentes conformaciones y proporciones corporales.

En nuestro país, la raza predominante es el caballo criollo (Ferrari et al., 2012) que coincidentemente posibilitó un mayor número de mediciones. Estos resultados son en cierta forma confiables en virtud del número de animales medidos respecto de la raza, no obstante, el número de caballos medidos Cuarto de Milla y Pura Sangre de Carrera está dentro del mínimo aceptable para realizar el análisis e inferir conclusiones. Las mediciones en caballos árabes y mestizos fueron pocas y se descartaron para los estudios por raza.

6.2 – Sobre los puntos de medición y el margen de error

El presente trabajo es estrictamente anatómico donde se han estudiado las relaciones de longitud entre los huesos que componen los miembros del caballo. La medición de caballos vivos en puntos que son fácilmente palpables tiene la ventaja de trabajar con la certeza de que cada variable se corresponde con el mismo individuo; algo difícil de conseguir usando huesos aislados para un número importante de mediciones. No obstante, medir animales vivos representa un mínimo margen de duda ya que cada punto de medición se toma en un círculo que oscila entre 0,5 y 1 cm de diámetro. Estadísticamente este tipo de “error” sólo se puede resolver con un número de datos importante (Misa, 2015) y por tanto se consideró casi el doble de mediciones que las originalmente propuestas (n=194). Asimismo, el pelo podría influir si está largo o espeso y para minimizar este margen de error se midieron animales en época de primavera y verano que es cuando el pelaje está más corto y con poca densidad. La

obesidad o el nerviosismo también son un problema para palpar los puntos óseos por lo que se descartaron animales con estas condiciones para evitar mediciones dudosas.

Estos puntos de medición coinciden con los utilizados por Machado de Andrade (2014) para realizar estudios de biometría y locomoción en caballos de raza Brasileiro de Hipismo. No obstante, este autor no consideró la longitud entre puntos (distancia) sino que solamente fueron utilizados como referencia para los estudios biomecánicos del desplazamiento del caballo. Además, otros autores han utilizado estas mismas eminencias óseas como puntos de referencia para el análisis cinemático. Esto evidencia la dificultad insalvable de tener un punto exacto del esqueleto del animal vivo. Sin embargo, conociendo que la variación para ubicarlos manualmente está en un área pequeña, nos permite trabajar con certeza asumiendo ese “margen de error”. Esta coincidencia entre varios autores sobre la elección de los puntos óseos palpables es particularmente interesante ya que fortalece la idoneidad que tienen en el presente trabajo.

Estadísticamente ese “error” queda absorbido por el número de animales medidos que es de 194 como se indicó anteriormente. Por ese motivo se descartaron los caballos de raza árabe y mestiza como razas individuales al ser bajo el número de mediciones. No obstante, fueron incluidas en el análisis global.

Según el coeficiente de variación todas las variables consideradas están por debajo de 30 %, lo que indica una baja variabilidad. Esto aporta confiabilidad a los datos obtenidos y a la interpretación de sus resultados. Casi todos presentan valores muy bajos, aunque el coxal (C) llega a 21 % en los caballos criollos y el dedo anterior (DA) a 17 % para los cuarto de milla.

6.3 – Sobre las regiones corporales y su función

El presente trabajo de investigación no pretende realizar estudios biomecánicos, pero sí aportar información que pueda ser utilizada en el futuro. El análisis realizado integra todo el esqueleto de los miembros del caballo a diferencia de varios autores que se han enfocado únicamente en la porción distal, es decir, desde el carpo o desde tarso hacia abajo sobre aspectos morfológicos o funcionales y no proporcionales (Albernaz et al., 2011, Denoix, 1999; Galán et al., 2002; Nunamaker, 1991; Parks, 2003; Redden, 2003; Shorafa et al., 1979).

Desde el punto de vista biomecánico, en cada una de las articulaciones de los miembros existen fuerzas de palanca durante el desplazamiento. Estas palancas son accionadas por los músculos que se insertan en los huesos y su fuerza va a depender tanto del largo del “brazo de palanca” como del ángulo. Al medir los huesos indirectamente se está midiendo el largo de los músculos de la región y por tanto es un insumo para futuros estudios biomecánicos.

Si bien el presente trabajo se ocupa de la longitud de un solo hueso en su mayoría; para el caso del metacarpo y del metatarso se incluyó también al carpo y al tarso respectivamente. Por tanto, las medidas serán mayores a las obtenidas por otros autores. La explicación de haberlos incluido es que forman parte del conjunto de huesos de la región anatómica ya que están unidos entre sí por fuertes ligamentos (Barone, 1989) y actúan como una unidad. Esto también fue estudiado así por Machado de Andrade (2014) en sus estudios biomecánicos confirmando que sería correcta nuestra forma de tomar las mediciones.

6.4 – Sobre la relación entre el largo de los huesos

En el miembro torácico (anterior) a nivel global de la población se observó que entre escápula (E) y húmero (H) y entre húmero (H) y radio (R) no existe relación y no es significativa (Tabla 3). Esto indica que en cada individuo puede darse cualquier combinación de longitud en estos huesos haciéndolo único y quizás sea irrepetible. Esto explicaría por qué caballos muy veloces no logran repetir esa característica en su descendencia.

Por su parte el metacarpo (MC) tiene una relación positiva con todos los huesos del miembro, es decir, que hay una tendencia a que cuando aumenta el largo del metacarpo aumenta también el de los demás huesos. Esto resulta interesante ya que en el ambiente ecuestre se dice que el potrillo nace con el metacarpo y el metatarso del mismo tamaño que tendrá de adulto. Al respecto no se encontró bibliografía que sustente esta afirmación, de ser cierta se estaría frente al desafío de realizar el seguimiento a lo largo del crecimiento de los potrillos.

Para el miembro pelviano (posterior) se observó que existe relación positiva entre el coxal (C) y el fémur (F), es decir una tendencia a que cuando uno aumenta el otro también aumentará. Entre el fémur y la tibia se encontró una relación negativa, o sea, que cuando un hueso aumenta el otro disminuye. El metatarso (MT) mostró una relación positiva con todos los huesos del miembro.

En síntesis, se observa que, a mayor longitud del coxal, mayor longitud del fémur, pero menor longitud de la tibia, que a su vez está correlacionada positivamente con el metatarso. Teóricamente podría aplicarse al momento de elegir un potrillo teniendo en cuenta que un metatarso más largo o más corto representa el futuro desarrollo en longitud del resto de los huesos del miembro pelviano (posterior).

6.5 – Sobre las diferencias entre las razas

Respecto de las razas y sus diferentes fenotipos se utilizaron Criollo, Cuarto de milla, Pura Sangre encontrando diferencias significativas entre ellas en el largo del húmero (H). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre Criollo y Pura Sangre para el largo del coxal (C) ni entre Criollo y Cuarto de milla para el largo de la tibia (T). Por tanto, se puede afirmar que los caballos de raza criolla tienen un coxal similar a la raza Pura Sangre y una tibia similar a los Cuarto de milla. Esto confirma con datos objetivos las apreciaciones subjetivas que se tienen sobre las proporciones entre las diferentes razas.

La tabla 2 muestra con símbolos (* ψ e ξ) las razas que tienen diferencias altamente significativas entre sí. Los caballos criollos presentan diferencias estadísticamente significativas con los pura sangre para los valores de E, H, R, DA, T, MT y DP y con los cuarto de milla para MC, C y F aunque un 4 % de los individuos presentan valores en el largo óseo diferente de la media de su raza y se los pueda clasificar en otra (tablas 9 y 10).

Por su parte, el análisis discriminante muestra que la raza criolla tiene características similares a la Pura Sangre de Carrera y al Cuarto de Milla representado en la gráfica 19 donde se aprecia la intersección entre ellas. Entre Pura Sangre y Cuarto de Milla los grupos de datos aparecen alejados entre sí y no hay intersección en el gráfico. A los caballos Pura Sangre de Carrera los caracteriza la escápula (E), radio (R), la tibia y el metatarso (Mt); para los caballos Cuarto de Milla, la variable que los caracteriza es el coxal (C).

Respecto de la raza asignada en la toma de datos y la calculada como resultado del análisis discriminante (tabla 7) se muestra que el 96,22 % de los animales estuvo correctamente clasificado. Queda demostrado con datos objetivos que las longitudes de los huesos que componen el esqueleto es característico para cada raza. No obstante, 4 caballos criollos presentaron medias similares a los cuarto de milla y 2 fueron similares a los Pura Sangre de Carrera. Al verificar los datos en la planilla electrónica original se observó que las medidas que los hicieron clasificar en estas razas fueron la escápula (E)

y el húmero (H) con un valor superior a los demás. Al presentar escápulas y húmero más grandes el software los clasificó en otra raza. Por su parte 1 caballo Cuarto de Milla presentaba medidas similares a los Criollos; para los caballos Pura Sangre no hubo variación de clasificación demostrando una morfología racial bien definida.

Tabla 9. Animales que fueron clasificados en diferente raza.

Nº	Given group	Classification	Jackknifed
35	Criollo	<i>Pura Sangre</i>	Pura Sangre
36	Criollo	<i>Pura Sangre</i>	Pura Sangre
45	Criollo	<i>Cuarto Milla</i>	Cuarto Milla
46	Criollo	<i>Cuarto Milla</i>	Cuarto Milla
47	Criollo	<i>Cuarto Milla</i>	Cuarto Milla
48	Criollo	<i>Cuarto Milla</i>	Cuarto Milla
167	Cuarto Milla	<i>Cuarto Milla</i>	Criollo
170	Cuarto Milla	<i>Criollo</i>	Criollo

Siendo que las variables E, R, T y MT contribuyen a determinar los pura sangre; C y H contribuyen para determinar los cuarto de milla (grafica 19; tabla 8) en las tablas 7 y 9 se aprecia que 6 caballos criollos (4,1 %) fueron clasificados en otras razas por el software PAST y 1 (4,3 %) cuarto de milla fue clasificado como criollo.

Al observar las medidas individuales de los caballos criollos que fueron clasificados como pura sangre se observa que presentaban valores de escápula (E), radio (R), tibia (T) y metatarso (MT) superiores a la media de su raza (tablas 1 y 10). Para aquellos criollos que fueron clasificados como cuarto de milla la medida superior a la media de su raza fue el coxal (C) (Tabla 10).

Esto demuestra que las variables están relacionadas de manera significativa y que cada raza tiene características morfométricas propias, aunque algunos individuos pueden ser diferentes.

Tabla 10. Medidas de los caballos clasificados en diferente raza según la tabla 9.

Nº	E	H	R	MC	DA	C	F	T	MT	DP
35	45	28	45	31	14	36	41	52	44	14
35	46	27	46	33	16	33	43	54	40	14
45	33	36	38	32	13	47	46	45	39	12
46	37	37	39	31	13	48	46	46	35	12
47	37	35	42	31	13	48	45	44	39	11
48	38	35	42	33	13	50	45	50	40	13
167	37	37	35	30	13	48	46	44	36	12
170	28	31	36	33	13	40	40	41	38	13

Al comparar cada raza entre sí, se aprecia (tabla 1; gráficas 1 al 5) que los caballos Pura Sangre de Carrera presentan un largo superior a las demás razas en la escápula (E), radio (R), dedos (DA, DP), tibia (T) y metatarso (Mt). No así en el húmero (H), metacarpo (Mc), coxal (C) y fémur (F). Esto probablemente responda a la especialización para la carrera. Para los caballos cuartos de milla se observa que superan al caballo criollo en todas las mediciones a excepción del largo de los dedos (DA y DP).

7.- CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que:

1. Existen diferencias significativas entre las medias de las longitudes de las variables consideradas según las razas de equinos.
2. El conjunto de huesos del carpo + metacarpo (MC) está relacionado positivamente con el resto de los huesos del miembro torácico (anterior).
3. El conjunto de huesos del tarso + metatarso (MT) está relacionado positivamente con el resto de los huesos del miembro pelviano (posterior).
4. No existe diferencia significativa entre la raza criolla y la raza cuarto de milla respecto del largo de la escápula (E), tibia (T) ni de los dedos anterior (Da) o posterior (Dp).
5. No existen diferencia significativa entre la raza criolla y la raza Pura Sangre de Carrera respecto del largo de los huesos coxal (C) y fémur (F).
6. La mayoría de los huesos de los miembros del caballo están relacionados (positivamente o negativamente) a excepción de la escápula, húmero y radio.
7. El fémur y la tibia están relacionados negativamente.
8. Se acepta parcialmente la hipótesis de trabajo al comprobarse estadísticamente que existe relación (positiva o negativa) en la mayoría de los huesos estudiados siendo la excepción escápula, húmero y radio.
9. La clasificación de razas en base a la longitud de los huesos de los miembros es correcta en un 96,22 %.
10. El 4 % de los caballos criollo y cuarto de milla presentan longitudes óseas similares a otras razas.

8.- BIBLIOGRAFÍA

1. Adams and Stashak's 2011. Lameness in Horses. 6th Edition. Gary M. Baxter Wiley-Blackwell Editor. 1272 pp.
2. Alberdi, M. T.; Prado, J. L. 2004. Caballos fósiles de América del Sur. Una historia de tres millones de años. INCUAPA serie monográfica, 3, 269 pp. Facultad de Ciencias Sociales, Olavarría. Argentina.
3. Albernaz, R. M.; Basile, R. C.; Dias, D. P. M.; Paiva-Neto A.O.; Gomide, L. M. W.; Queiroz-Neto, A.; Lacerda-Neto, J. C. 2011. Descrição do movimento da articulação metacarpofalangiiana de equinos pela metodologia baseada em videogrametria Equine metacarpophalangeal joint movement using videogrammetry method. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., .63, .2, .302-307.
4. Bach, O.; White, K.; Butler, D. 1991. Factors involved in balancing equine hooves. J Am Vet Med Assoc; 198; 180-189.
5. Barone, R. 1999. Anatomie Comparée des mammifères domestiques - Tome I. Ostéologie. Vigot, París.
6. Barone, R. 1989. Anatomie Comparée des mammifères domestiques - Tome II. Arthrologie et myologie. Vigot, París
7. Barrey, E. 1990. Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine forelimb with an instrumented horseboot. Equine Vet J, (suppl): 35-38.
8. Bartel, D.; Schryver, H.; Lowe, J.; Parker, R. 1978. Locomotion in the horse: A Procedure for computing the internal forces in the digit. Am. J. Veterinary Res., 1721-7.

9. Bayon, H. P. 1935. The authorship of Carlo Ruini's "Anatomia del Cavallo" J. .
Comp. Path. 48: 138-148.
10. Caudron, I.; Meisen, M.; Grulke, S.; Vanschepdace, P.; Sertejn, D. 1997. Clinical and radiological assessment of the corrective trimming in lame horses. J. Equine Vet Sc. 17: 375- 379.
11. Chateau, H.; Degueurce, C., Denoix, J. M. 2004. Evaluation of three dimensional kinematics of the distal portion of the forelimb in horses walking in a straight line. Am J Vet Res; 65: 447- 455.
12. Chateau, H.; Degueurce, C.; Jerbi, H.; Crevier-Denoix, N.; Pourcelot, P.; Audigié, F.; Pasqui-Boutard, V.; Denoix, J. M. 2002. Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: articular impact of asymmetric bearing. Vet. Res. 33, 371–382.
13. Colles C. 1983. Interpreting radiographs 1. The foot. Equine Vet J; 15:297-303.
14. Denoix J. M. 1999. Functional anatomy of the equine interphalangeal joints, in Proceedings. 45th Annual American Association of Equine Practitioners Convention 174 -177.
15. Dos Santos, C. A.; Paganella, J. C.; Ripoll, P. K.; Paz, C.; Torres, A.; Nogueira, C. 2008. Influência da angulação das articulações escápulo-umeral, coxo-femural e tibio-metatarsiana na nota de andadura dos cavalos da raça crioula. XVII Congresso de Iniciação científica. X Encontro de Pós-Graduação.
16. Ferrari, A.; Sader, M; Perez, F; Lopez, D.; Recuero, M. 2011. Informe - Caracterización y potencialidades del sector ecuestre en Uruguay. Uruguay Siglo XXI:
17. Galán, A. M.; Rivera, M. C.; Moine, R.; Ferraris, G.; Gigena, M. S.; Natali, J. 2002. Propiedades morfométricas del metacarpiano III de potrillos mestizos. Rev. Chil. Anat. 20, 3:285-290.

18. Getty, R.; Grossman, J. D; Sisson, S. 2001. Anatomía de los animales domésticos. Tomo I (5ª Ed.) Ed. Masson. Barcelona.
19. Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp.
20. Hanson, P. D; Markel, M. D.; Ray Vanderby, Jr. 1995. Diaphyseal structural properties of equine long bones. *Am. J. Vet. Res.* 56, 2:233-40.
21. Hossaini-Hilali Jamal. 2012. Revisión del libro de Abu Bekr Ibn Bedr Al Baytar: El Naceri. XVIII Congreso Nacional y IX Congreso Iberoamericano de Historia de la Veterinaria. Santander (España), 4, 5 y 6 de octubre.
22. International Commission on Zoological Nomenclature. 2003. Usage of 17 specific names based on wild species which are pre-dated by or contemporary with those based on domestic animals (Lepidoptera, Osteichthyes, Mammalia): conserved. *Opinion 2027 (Case 3010). Bull. Zool. Nomencl.* 60, 1: 81-84.
23. Lawrence, L. A.; Ott, E. A.; Miller, G. J.; Poulos, P. W.; Piotrowski, G.; Asquith, R. L. 1994. The mechanical properties of equine third metacarpal as affected by age. *J. Animal Sci.* 72, 10: 2617-23.
24. Leach, D. H. and Dagg, A. I. 1983. A review of research on equine locomotion and biomechanics. *Equine Vet J*, 15: 93–102.
25. Les, C. M.; Stover, S. M.; Keyak, J. H.; Taylor, K. T.; Williks, N. H. 1997. The distribution of material properties in the equine third metacarpal bone serves to enhance sagittal bending. *J. Biomechanics*, 30, 4: 355 -61.
26. Levin, R. Estadística para Administradores. 1988. 2a ed. Prentice-Hall Hispanoamérica. México. 940 p.

27. Machado de Andrade, A. 2014. Biometria e locomoção de equinos da raça Brasileiro de Hipismo. Tesis Mestre em Ciências. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
28. Mac Fadden, B. J. 1999. Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae. Cambridge University Press, 369 pp.
29. -Manly B.F.J. (1994). Multivariate statistical methods—A Primer, second ed. Chapman and Hall, London.
30. Misa, A. Bioestadística Básica e Introducción a la Metodología de la Investigación. 2015. Ed. Bibliomédica. Montevideo, Uruguay. 439 p.
31. Moine, R.; Rivera, M.; Vivias, A.; Ferraris, G.; Galán, A. & Natali, J. 2001. Morfometría y determinación de calcio y fósforo en la parte media de la diáfisis del metacarpiano III en yeguas mestizas con criollo. Arch. Med. Vet. 33, 1:63-8.
32. Moine, R.; Galán, A.; Vivas, A.; Fioretti, C.; Varela, M.; Bonino, F.; Quinteros, R.; Natali, J. 2015. Morphological Properties in the Mid Part of the Metacarpal III Bone Diaphysis of Equine Criollo Crossbreed. Int. J. Morphol. 33, 3: 955-961.
33. Moleman M., van Heel MCV., van Weeren PR., Back W. 2006. Hoof growth between two shoeing sessions leads to a substantial increase of the moment about the distal, but not the proximal, interphalangeal joint. Equine Vet J. 38, 2: 170-174.
34. Molenaar, B. J. 1983. Kinematics of the Reciprocal Apparatus in the Horse. Anatomia, Histologia, Embryologia, 12: 278–287
35. Möller, R; Scavone, D. 2007. CD-ROM. Osteología comparada de los mamíferos domésticos. V Jornadas Técnicas de la Facultad de Veterinaria. 21 al 23 de noviembre de 2007. , Montevideo, Uruguay.

36. Nunamaker, D. M.; Butterwerck, D. M.; Black. J. 1991. In vitro comparison of thoroughbred and standardbred racehorses with regard to local fatigue failure of the third metacarpal bone. *Am J. Vet. Res.* 52, 1: 97-100.
37. Parks, A. H. Form and function of the equine digit. 2003. *Vet Clin North Am. (Equine Pract.)* 19:285-296.
38. Redden, R. F. 2003. Hoof capsule distortions: understanding the mechanisms as a basis for rational management. *Vet Clin North Am (Equine Pract)* 19:2:443-449.
39. Ruini, Carlo. 1599. *L'Anatomia del Cavallo, Infermita et suoi Rimedii.* Venetia.
40. Scavone, D.; Laino, J.; Möller, R. 2002. CD-ROM Apuntes y notas sobre la forma y estructura de los miembros del equino. Montevideo, Facultad de Veterinaria, UDELAR.
41. Schaller, O. 1996: *Nomenclatura Anatómica Veterinaria Ilustrada.* ed. Acribia. Zaragoza.
42. Schuurman, S O., Kersten, W.; Weijjs, W A. 2003. The equine hind limb is actively stabilized during standing. *J. Anat.* 202, 355–362.
43. Schyver, H. F. 1978. Bending properties of cortical bone of the horse. *Am. J. Vet. Res.* 39, 1:25-28.
44. Shorafa, W. M.; Feaster, J. P.; Ott, E. A. 1979. Horse metacarpal bone: age, ash content, cortical area and failure stress interrelationships. *J. Anim. Sci.*, 49:979-82.
45. Sokal, R. R. & F. J. Rohlf, 1998. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*, 850 pp. W. H. Freeman & Company, New York.
46. van Weeren P. R., van den Bogert A. J., Barneveld A, Hartman W., Kersjes A.W. 1990. The role of the reciprocal apparatus in the hind limb of the horse

investigated by a modified CODA-3 opto-electronic kinematic analysis system.
Equine Vet J Suppl. 9:95-100.