

ARTÍCULOS

Emisión acústica y ensayo de compresión del hueso carpo 3 de caballo Acoustic Emission and compression test of carpal bone 3 of horse

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13136180>

Matías Francisco Varela¹ ; Rita Cecilia Fioretti¹ ; Rosana Moine¹ ; Romina Bellingeri² ; Pablo Varela³; Rodrigo de Prada³; Leandro Giorgetti³; Cesar Barbero⁴

1- Departamento de Anatomía Animal. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

2- Grupo de Biomateriales- Instituto de Investigación en Tecnologías Energéticas y Materiales Avanzados (IITEMA-UNRC), Córdoba, Argentina.

3- Departamento de Mecánica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

4- Grupo de Nanomateriales – Instituto de Investigación en Tecnologías Energéticas y Materiales Avanzados (IITEMA-UNRC) Córdoba, Argentina.

Resumen. Las lesiones que afectan al hueso carpiano (C3) en caballos generalmente incluyen fracturas en fragmentos de pequeños chips, completas (slab) o conminutas. En este trabajo se realizan estudios exhaustivos de los componentes biomecánicos del tercer hueso carpiano de la mano del caballo. Los objetivos fueron determinar las características mecánicas del tercer hueso del carpo monitoreado con la técnica de Emisión Acústica. Se utilizaron diez huesos carpales tres, derechos e izquierdos de equinos. Se obtuvieron datos morfométricos tales como diámetro latero-medial y dorso-palmar, volumen total, superficie de articulación total y diámetro próximo-distal. Los huesos derechos fueron sometidos a una prueba de compresión con orientación próximo-distal. Al mismo tiempo se recolectaron datos de emisión acústica. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, de correlación, regresión y varianza. Los valores máximos destacados fueron: peso promedio 37,6 g.; fuerza máxima soportada 47,27 kN y deformación 7,53 mm. Los eventos de Emisión Acústica (hits) máximos detectados fueron en promedio 341 hits. La emisión acústica ocurre en simultáneo con el comienzo de las fracturas, es una gran herramienta para la detección temprana de lesiones óseas y puede ser aplicada a estudios futuros de ensayos mecánicos.

Palabras clave: equino, hueso del carpo 3 (C3), compresión, emisión acústica

Abstract. Injuries involving the third carpal bone (C3) in horses generally include chip, complete (slab) or comminuted fragment fractures. Exhaustive studies of its biomechanical components are carried out. The objectives of this study were to determine the mechanical characteristics of the third carpal bone together with a follow-up of the test using the Acoustic Emission technique. Ten right and left equine C3 bones were used. The bones were separated into right and left. Morphometric data such as medial lateral and palmar dorsum diameter, total volume, total articulation surface and distal proximal diameter were obtained. The right bones were subjected to a compression test in a distal proximal orientation. At the same time, data collection was carried out with the Acoustic Emission team. A descriptive, correlation, regression and variance statistical analysis was performed. The maximum values highlighted were of a weight of about 37.6g. The maximum supported force of 47.27 kN and deformation of 7.53 mm. The maximum Acoustic Emission events (hits) detected were 341. Acoustic emission occurs simultaneously with the onset of fractures, it is a great tool for early detection of bone lesions and can be applied to future studies of mechanical tests.

Keywords: Horse, carpal bone 3 (C3), compression, acoustic emission

Artículo recibido: 28/9/2023. Artículo aceptado: 28/12/2023

*Autor para correspondencia: Matías Francisco Varela, mvarela@ayv.unrc.edu.ar Ruta nac 36 km 601; Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina.

Financiamiento: PICT-2016-1760. Desarrollo de materiales avanzados y metodos de fabricacion. Síntesis, propiedades y prototipado de innovaciones, Dir. Barbero, Cesar. Resolución n°285/17.

INTRODUCCIÓN

Los miembros torácicos y pelvianos del caballo están adaptados para correr con rapidez. La angulación excesiva en la postura del carpo se ha perdido en comparación con otras especies. El caballo es un animal unguligrado y como resultado del alisado y alargamiento de sus extremidades es capaz de dar un largo paso. En su evolución ha perdido los dedos 1 y 5, se han reducido los metacarpos 2 y 4, y el dedo 3 está muy bien desarrollado, soportando el peso del cuerpo y es parte de la misma adaptación de la especie (Budras *et al.*, 2009).

Las extremidades torácicas en el caballo de pie soportan alrededor del 55-60% del peso corporal, aparecen rectas y paralelas una al otro cuando se ve desde el frente. En vista lateral, ellas deben aparecer rectas y vertical (Dyce *et al.*, 2002; König y Liebich, 2020; Bose *et al.*, 2013; Budras *et al.*, 2009).

Las lesiones que afectan el tercer hueso carpiano (C3) en caballos de carreras generalmente incluyen fracturas en fragmentos de pequeños chips, completas (slab) o conminutas (Secombe *et al.*, 2011; Giraldo Botero y Restrepo, 2006). Generalmente estas fracturas involucran la porción distal del borde articular dorsal del radio, la porción proximal y distal del hueso carpo radial e intermedio y el C3 (Secombe *et al.*, 2011, Giraldo Botero y Restrepo, 2006).

El C3, cuboidal, es el más grande de los huesos del carpo. Está compuesto de hueso esponjoso intercalado entre dos placas de hueso subcondral. La superficie proximal consta de dos facetas articulares y tanto la superficie proximal como la distal están cubiertas por cartílago articular hialino. Las trabéculas óseas del tercer hueso carpiano tienen un predominio próximo-distal (Uhlhorn, 2000). Las dos facetas de la superficie proximal están separadas por una cresta dorsopalmar. La faceta medial (cóncava), es la faceta radial, que se articula con la superficie distal del hueso radial del carpo. La faceta lateral (cóncava dorsalmente y convexa palmarmente) es la faceta intermedia y se articula con la superficie distal del hueso carpiano intermedio. La superficie distal carpal tres se articula casi enteramente con el metacarpiano tercero (Secombe *et al.*, 2002).

En estudios morfológicos y biomecánicos realizados en huesos de la mano del caballo, Moine *et al.*, (2015 y 2020) y Natali *et al.*, (2019) observaron que el hueso metacarpiano III de caballo durante el primer año de vida, sufre cambios en las propiedades geométricas, influenciado esto por el sexo, la raza, el ejercicio y la alimentación.

Durante la fase de paso que no soporta peso, el carpo se flexiona, por lo que reduce el momento de inercia cuando la extremidad se adelanta. El movimiento articular se limita casi por completo al rango radiocarpiano y articulaciones intercarpianas. Poco antes del impacto, se extiende la extremidad (Uhlhorn 2000; Dyce *et al.*, 2002).

La mayoría de las articulaciones sagitales entre los huesos del carpo tienen una disposición superpuesta de modo que la carga axial pueda atenuarse parcialmente a través del desplazamiento de medial a lateral de los huesos del carpo, disipando la tensión en los ligamentos intercarpianos. Sin embargo, la cara medial de la articulación intercarpiana es incapaz de atenuar la carga axial a través del desplazamiento interóseo. El C3 transmite su carga completa a la articulación dorso-proximal del carpo (Uhlhorn 2000). Fioretti, *et al.*, (2022) mencionaron que el hueso es el único tejido capaz de experimentar adaptaciones mecánicas y su conocimiento es esencial desde el punto de vista clínico. Además, se puede optimizar el material a utilizar en procesos de osteosíntesis a través de variaciones en los módulos biomecánicos obtenidos de huesos expuestos a cargas.

Ensayo de Compresión y Emisión Acústica

La fuerza o carga es un vector con una magnitud, dirección y punto de aplicación, que cuando actúa sobre un cuerpo cambia la velocidad o la forma del mismo. En el SI (Sistema Internacional de Unidades) se mide en newtons (N). Según el ángulo y la forma de aplicación de la fuerza, un modo de clasificarla es mediante la compresión (cuando el cambio en la forma del objeto se manifiesta como un acortamiento) (Guede *et al.*, 2013).

Cuando se realiza un ensayo mecánico sobre un objeto se obtiene una curva carga-desplazamiento, que define la deformación total del objeto en la dirección de aplicación de la fuerza. La curva carga-desplazamiento se usa para medir la resistencia y la rigidez de una estructura. La deformación representa los cambios en las dimensiones del objeto sometido a la acción de la fuerza (Fradinho *et al.*, 2015; Varela *et al.*, 2021). La deformación puede expresarse en unidades de longitud absolutas. A su vez, en la curva esfuerzo-deformación se distingue una primera región en la que el esfuerzo y la deformación son proporcionales (región lineal de la curva), que corresponde a la región elástica, en la cual se cumple la ley de elasticidad de Hooke y otra región en la que no se recupera la forma original del objeto, aunque deje de aplicarse la carga (zona plástica o de deformación irreversible). El punto de

transición entre la región elástica y la región plástica se denomina punto de vencimiento o cesión, que corresponde con la deformación de vencimiento y con el esfuerzo de vencimiento o resistencia elástica máxima, que estima la capacidad de un material de deformarse sin sufrir microfracturas (Natali *et al.*, 2008; Guede *et al.*, 2013; Fradinho *et al.*, 2015).

La emisión acústica (EA) es un método de prueba no destructiva comúnmente utilizado para detectar y localizar fallas en estructuras y componentes cargados mecánicamente en el campo biomédico (Reuben, 2017; Pacheco Salazar *et al.*, 2015). De esta manera la técnica involucra ondas ultrasónicas, que son autogeneradas, más comúnmente por fracturas a micro escala. Estas ondas generalmente se propagan a frecuencias en el rango ultrasónico y se detectan en las superficies del material objetivo (Reuben, 2017).

Fioretti *et al.*, (2022) indicaron que la (EA), actualmente, es una herramienta de gran utilidad, la cual es una técnica no destructiva comúnmente usada para detectar y localizar fallas en estructuras y componentes cargados mecánicamente. Esta técnica se basa en la detección de ondas elásticas producidas por la aparición o crecimiento de un defecto en el material y la conversión de éstas a señales eléctricas, las cuales se digitalizan y almacenan para su posterior análisis a través de parámetros característicos.

Pacheco Salazar *et al.*, (2015) en sus resultados demostraron el potencial de la técnica de EA para ser utilizada como una herramienta de detección precisa y fiable para la compresión cuasi estática en cementos óseos acrílicos modificados con nanopartículas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron diez huesos carpo 3 (C3) derechos e izquierdos de equinos. Las piezas anatómicas se obtuvieron del frigorífico General Pico (Las Higueras). Se registraron el sexo y la edad calculada por cronología dentaria. Una vez extraídos los C3 del miembro torácico, los mismos se liberaron de los tejidos blandos por disección convencional. Los huesos fueron preservados según Wang *et al.*, (2010), en gasa humedecida en solución fisiológica y conservados en freezer a -20°C hasta la adquisición de imágenes y ensayos de resistencia mecánica. Para los cuales se descongelaron a temperatura ambiente.

Los huesos se separaron en derechos e izquierdos previo realizar los ensayos biomecánicos. Los huesos izquierdos se pesaron con balanza electrónica (Systel Clipse 5 V2®). Luego se escanearon utilizando un escáner óptico 3D (Matter and Form®). Se realizaron diferentes vistas y se generaron archivos estereolitograficos (SLT). A partir de los archivos SLT se obtuvieron datos morfométricos tales como diámetro latero-medial y dorso-palmar, volumen total, superficie de articulación total y diámetro próximo-distal. Los huesos derechos se pesaron con balanza electrónica y luego fueron sometidos a una prueba de compresión con orientación próximo-distal. Este ensayo consiste en producir fuerzas hasta romper al hueso en un punto determinado. Previo al ensayo de compresión los C3 fueron descongelados de forma natural a temperatura ambiente. Luego fueron cubiertos, en la superficie articular proximal, por una masilla epoxi (figura 1 A).

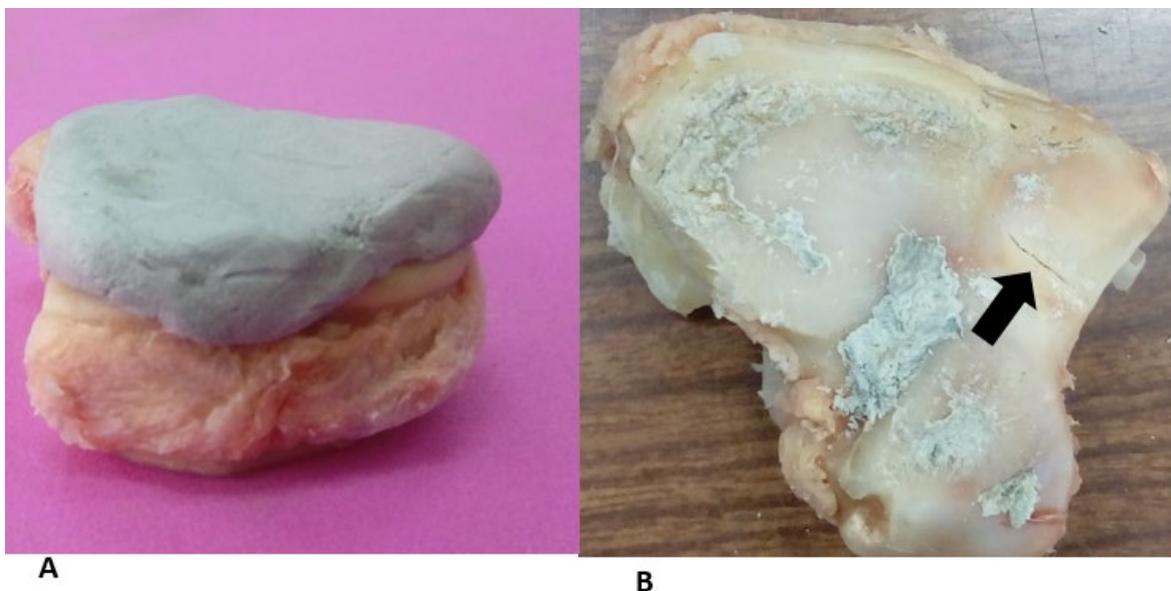


Figura 1. A: hueso C3 preparado previo ensayo de compresión y B: hueso con la fractura (flecha) pos compresión y retiro de la masilla.



Figura 2. Ensayo de compresión. Máquina de ensayos universal AMSLER 6PZD 1406. Colocación del hueso al momento del ensayo con dos sensores de Emisión Acústica.

Para el ensayo se utilizó un equipo universal de ensayos estáticos y dinámicos servohidráulico AMSLER 6PZD 1406® (figura 2). Se observa que en el soporte inferior se han colocado dos sensores de emisión acústica, uno de los cuales está conectado a un pre-amplificador. Se procedió a la realización de los ensayos de compresión y al mismo tiempo, la recolección de datos con el equipo de emisión acústica. En la figura 1 B se muestra la fractura ocasionada por el ensayo mecánico. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, de correlación, regresión y varianza ($p \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico InfoStat (2018), bajo licencia de la FCA de la UNC, Argentina. Se obtuvieron curvas de esfuerzo-deformación con 16 datos por segundo (8 datos de fuerza y 8 datos

de deformación) indicando el esfuerzo máximo y la deformación máxima. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante correlación y regresión lineal simple, análisis de la varianza y comparaciones múltiples de Tukey, usando el software estadístico Infostat® (2018) con un nivel de significación de 0,05.

RESULTADOS

Morfología

Las medidas de tendencia central de cada variable tomadas en el C3 de caballo y su resistencia a la prueba de compresión, se muestran en la Tabla 1. Los valores de resistencia se expresan en KN (kilo/newton) respecto de la fuerza absorbida.

Tabla 1. Medidas de resumen de los parámetros morfométricos, mecánicos y de emisión acústica del C3 (n=10).

Variable	Media	D.E.	Mínimo	Máximo
Edad	3.06	1.05	2.50	5.00
PesoC3 izquierdo (mg)	37750.00	5311.71	26000.00	44000.00
Peso C3 derecho (mg)	39375.00	5527.53	30000.00	48000.0
Volumen (mm ³)	27012.73	5231.95	21941.80	36641.80
Superficie total (mm ²)	5625.35	695.33	4899.40	6734.10
Densidad ósea (mg/mm ³)	1.44	0.35	0.82	1.77
Resistencia (kN)	43.55	3.75	38.90	47.89
Deformación (mm)	7,0893255	0,75	5,425415	7,74353
Emisión Acústica (Hits)	377,1	4,28	145	661

C3= hueso del carpo tres; D.E.= Desvío Estándar, kN= kilonewton.

En el análisis de correlación para las variables volumen vs. superficie total ($r= 0.98$), se observó que hay una asociación entre ellas ($p < 0,0001$). El análisis de regresión lineal de las variables mencionadas

reveló que el volumen depende de la superficie del hueso, ($R_2= 0,95$ y $p < 0,0001$) y nos indicaría que, a mayor superficie total, mayor es el volumen (figura 3).

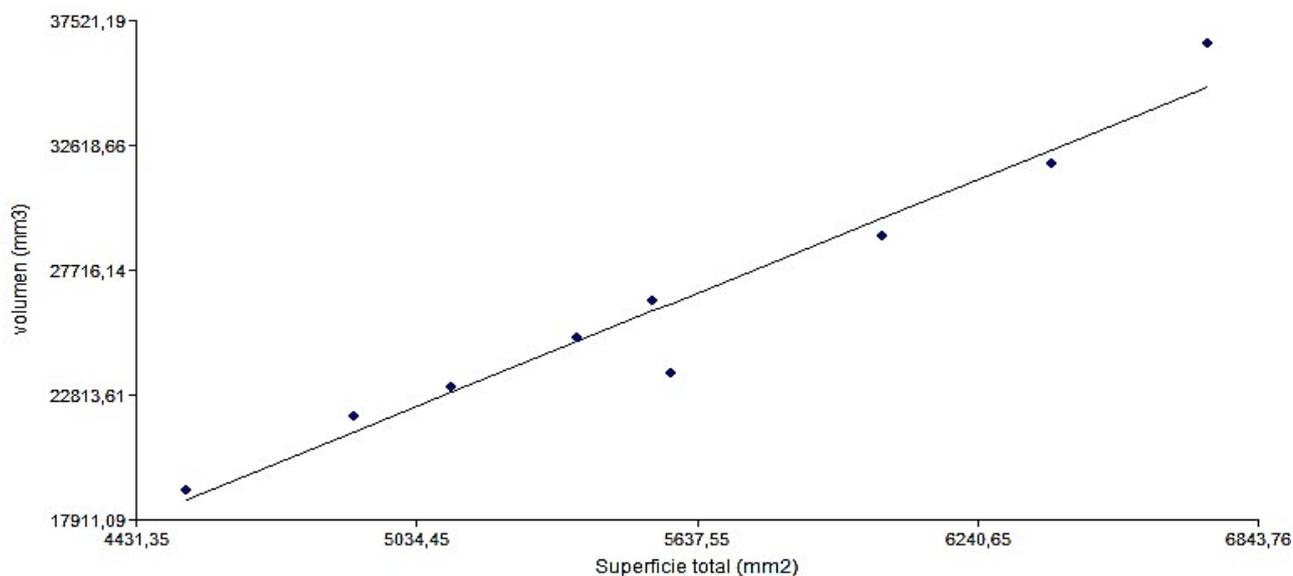


Figura 3. Regresión lineal simple para las variables superficie total (mm^2) vs. volumen (mm^3) ($n=10$).

Tabla 2. Análisis de regresión para las variables volumen vs. superficie total. Coeficiente de determinación ($n=10$).

Variable	N	R^2	R^2 Aj
volumen (mm^3)	10	0,95	0,95

Ensayo Mecánico y Emisión Acústica

Para lograr obtener el valor de resistencia de cada muestra se practicó el ensayo de compresión con orientación próximo-distal. Este ensayo consistió en producir fuerzas hasta romper al hueso en un punto determinado.

Las muestras se colocaron directamente entre las placas de acero. A los laterales, se colocaron sensores acústicos y se comprimieron en un eje de dirección longitudinal al hueso. En la figura 4 se puede

observar la curva de ensayo esfuerzo/deformación, que arroja la máquina universal de ensayos y la curva de cantidad de hits de emisión acústica de un canal, en función del tiempo (actividad de emisión acústica producida por la carga). Dicha figura presenta los resultados de la muestra N° 5: del hueso carpo 3 de la mano derecha de animal hembra de 2,8 años, cuyo peso fue de 37,6 g. La fuerza máxima soportada por el hueso fue de 47,27 kN y la deformación de 7,53 mm. Los eventos de emisión acústica (hits) máximos detectados fueron 341.

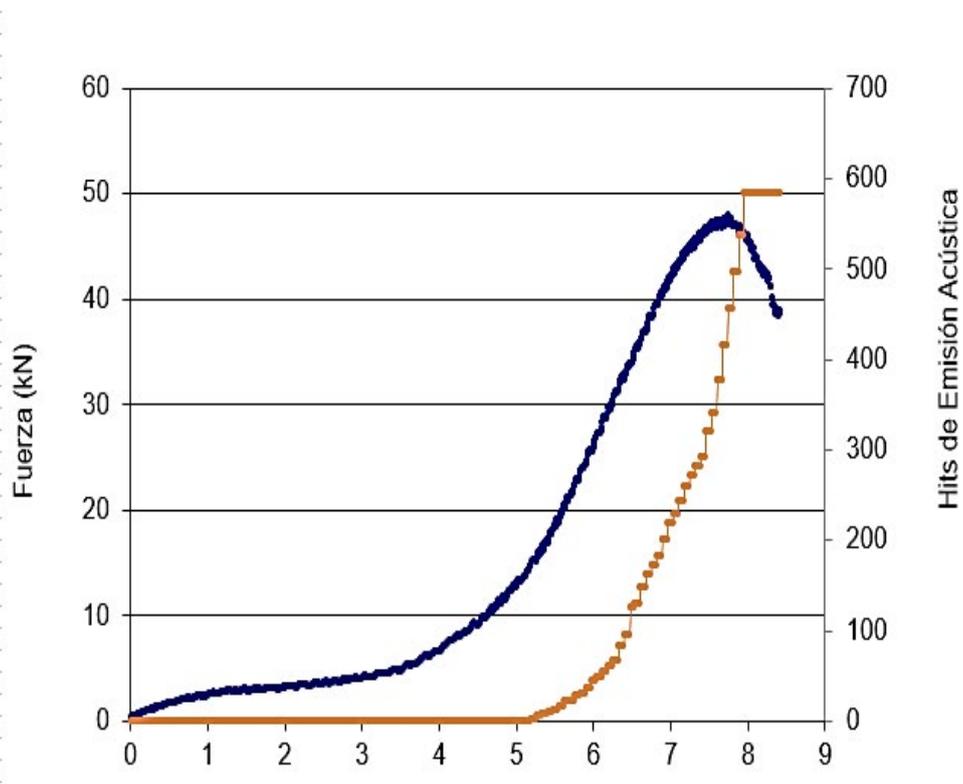


Figura 4. Curva de esfuerzo/deformación resultante de la compresión con datos de Emisión Acústica.

Tabla 3. Análisis de regresión lineal Resistencia del hueso (n=10).

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Resistencia (k/N)	10	0,07	0,00	27,61	61,41	62,32

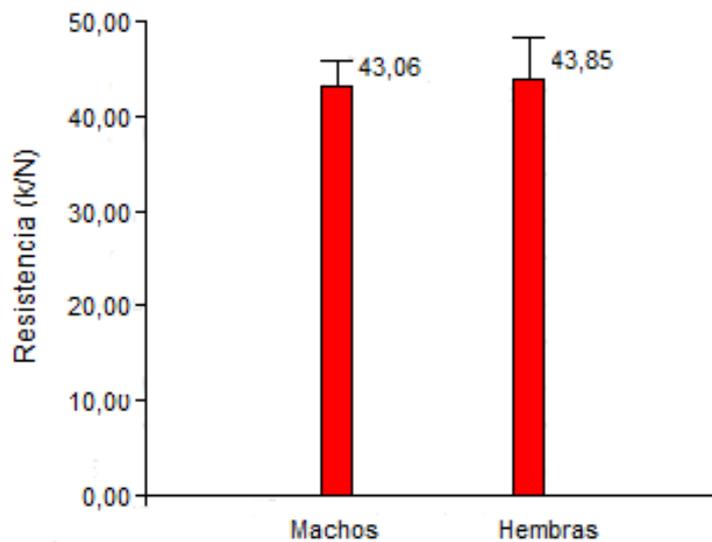


Figura 5. Diagrama de barras para la variable Resistencia (kN) vs. Sexo (p =0,5).

La figura 5 revela en el diagrama de barras, que no existen diferencias estadísticamente significativas en relación a la respuesta de ambos sexos ante el ensayo mecánico de compresión.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las propiedades morfométricas de los huesos están íntimamente relacionadas con las propiedades biomecánicas y estructurales del hueso. El hueso contrarresta las cargas mediante adaptaciones en su geometría, que involucra una actividad continua y coordinada de construcción y destrucción. Coincidimos en que las propiedades estructurales dependen de las características de cada hueso, entre ellas se involucra a las medidas geométricas (Natali *et al.*, 2019; Moine *et al.*, 2020; Varela *et al.*, 2021; Fioretti *et al.*, 2022).

Se encontró una correlación entre superficie total y volumen del hueso. Secombe, *et al.*, (2002) mencionaron que un aumento de la densidad ósea es indicativo de una esclerosis. Tal lo observado en la gráfica de la curva esfuerzo deformación, una vez que el hueso es sometido a cargas de compresión, éste experimenta una serie de cambios dimensionales que llevan a su deformación, una vez superado el límite de proporcionalidad (pérdida de la linealidad en la curva esfuerzo-deformación), se obtiene la carga máxima que produce la fractura. A partir de la curva, se puede calcular el módulo de elasticidad o de Young, que representa la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación que experimenta el hueso.

En otros estudios utilizando el ensayo de compresión, Pacheco-Salazar, *et al.*, (2015) investigaron el efecto de la incorporación de partículas core-shell sobre los mecanismos de fractura de los cementos óseos mediante el uso de la técnica de emisión acústica y demostraron que el potencial de la técnica emisión acústica puede ser utilizada como una herramienta de detección precisa y confiable para la prueba de compresión en cementos óseos.

Natali *et al.*, (2019) han utilizado ensayos para comparar las características biomecánicas de la falange proximal de caballos mestizos criollos hembras y machos, reportando una mayor resistencia en animales machos. En contraste con dicho estudio, en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas entre la resistencia de los C3 pertenecientes a machos y a hembras. En cambio, estos resultados coinciden con lo mencionado en un trabajo sobre las propiedades biomecánicas del metacarpiano III de caballos mestizos criollos (Moine *et al.*, 2015).

Por su parte, Fioretti, *et al.*, (2018) utilizaron este ensayo para comparar la densidad mineral ósea y la resistencia ante la prueba de compresión del hueso fémur de perro y encontraron que los huesos fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia ante la compresión que aquellos provenientes de hembras y, también, que un incremento de la densidad mineral ósea se correspondía linealmente con un aumento de su resistencia ante la prueba de compresión.

Fradinho *et al.*, (2015) practicaron las pruebas de compresión en una Máquina Instron 8502 (Instron Corporation, Norwood, MA), con una celda de carga de 250 kN para medir piezas de 10mm de metacarpo equino. Las muestras las colocaron directamente entre las placas de acero y se comprimieron en un eje dirección correspondiente al eje longitudinal del hueso. Fioretti, *et al.*, (2022) indicaron que ocurre una fuerte asociación entre la fuerza que soporta cada falange proximal respecto a la potencia de las señales de emisión acústica (EA) analizadas en el rango de 1,5 a 6 kHz. Coincide con lo reportado por Pacheco-Salazar *et al.*, (2015) que encontraron relación en su estudio sobre la progresión del daño y el comportamiento mecánico bajo compresión de cementos óseos que contienen nanopartículas core-shell, con emisión acústica. Las curvas de deformación y emisión acústica de nuestro trabajo también muestran una relación entre la emisión acústica y la deformación del material.

Se concluye que a mayor peso hay mayor densidad y ocurre mayor capacidad de absorción de energía. No existen diferencias significativas entre la resistencia de huesos machos y hembras. La densidad ósea es una variable para tener en cuenta para determinar resistencia, sin embargo, otros factores también colaboran en la absorción de energía al momento del ensayo mecánico de compresión que deben ser estudiados. La emisión acústica es una gran herramienta para la detección temprana de lesiones óseas y pueden ser aplicados a estudios futuros de ensayos mecánicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bose, S., Vahabzadeh, S., Bandyopadhyay, A. (2013). "Bone tissue engineering using 3D printing," *Materials*. 16: 496-504.

Budras, K D., Sack W. O., Röck, S. (2009) *Anatomy of the Horse. Quinta Edición*. ISBN 978-3-89993-044-3 2: 3-5.

Dyce, K.M., Sack, W.O., Wensing, C.J.G. (2002). *Veterinary Anatomy. Third Edition. Edit. Saunders*. 2: 94.

Fioretti, R.C., Moine, R., Varela, M., Quinteros, R., Varela, P., Galán, A.M., Gigena, S., Mouguelar, H., Gonzalez Sanchez, S., Natali, N. (2018). Densidad mineral ósea y resistencia ante la prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro. *Revista Ab Intus*. ISSN 1234-5678. 1: 43-52.

Fioretti, R.C., Moine, R., Varela, P., Gigena, S., Salvi, M., Audap Soubie, R., de Prada, R., Giorgetti, L., Varela, M., Gonzalez Sanchez, S., Cancino, M., Nozzi, M., Comeglio, G., Boatti, J. (2022). Emisión acústica y prueba de flexión en tres puntos en la diáfisis de la falange proximal del dedo de la mano de equinos mestizos criollos. *Revista Ab Intus*. ISSN 2618-2734. 10 (5): 25-32.

Fradinho, M.J., Vale, A. C., Bernardesc, N., Caldeira, R.M., Vaz, M. F., Ferreira Dias, G. (2015). Propiedades biomecánicas del hueso del tercer metacarpiario equino: ultrasonografía cuantitativa in vivo frente a técnicas de compresión y flexión ex vivo. *Journal of Equine Veterinary Science*. 198-205.

Giraldo Botero, L, Restrepo A, E. (2006). Fractura completa del tercer hueso carpiano en un caballo de carreras p.s.i. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 2. 56-63.

Guede D, González P, Caeiro J.R. (2013). Biomechanics and bone (1): Basic concepts and classical mechanical trials. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 1. version On-line ISSN 2173-2345. Madrid, España.

König, H., Liebich, H. (2020). *Veterinary Anatomy of Domestic Animals*. Seventh ed. Thieme. 143-160.

Moine, R., Galán, M., Vivas, A., Fioretti, C., Varela, M.; Bonino, F., Quinteros, R., Natali, J. (2015). Pro-

iedades Morfológicas en la Parte Media de la Diáfisis del Hueso Metacarpiario III de Equino Mestizo Criollo. *International Journal. Morphology*. Chile. ISSN 0717 – 9502. 33 (3): 955-961.

Moine, R., Fioretti, R., Galan, A., Gigena, S., Salvi, M., Audap Soubie, R., Varela, P., Varela, M., Gonzalez Sanchez, S., Natali J. (2020). Propiedades estructurales y resistencia a la flexión en tres puntos en la parte media de la diáfisis de la falange proximal de la mano del caballo. *Revista Ab Intus*. 56-62. ISSN 2618-2734. 47-56.

Natali, J., Wheeler, J.T., Kohl, R., Varela, P. (2008). Comparación de las Características Mecánicas Estáticas del Fémur Aislado de Perro, con y sin la Colocación de una Placa de Ortopedia Fabricada en polipropileno. *International Journal. Morphology*. ISSN 0717 – 9502. 26(4): 791-797.

Natali, J., Fioretti, R., Moine, R., Gigena, M., Mouguelar, H., Varela, M., Gonzalez Sanchez, S. Quintero, R., Galán, A. (2019). Morfología y comportamiento biomecánico de la falange proximal de la mano del caballo mestizo criollo. *Revista Ab Intus*. ISSN 2618-2734 .3 (2): 56-62.

Pacheco-Salazar, A., Wakayama, S., Sakai, T., Rodríguez, C., Ríos-Soberanis C.R., Cervantes, J.M. 2015. Evaluación de la progresión del daño y el comportamiento mecánico bajo compresión de cementos óseos que contienen nanopartículas core-shell utilizando la técnica de emisión acústica *Jornada de Comportamiento Mecánico de Materiales Biomédicos*. 46: 137-147.

Reuben, R. L. (2017). Emisión acústica y ultrasonidos para el seguimiento de la interfase hueso-implante. *Respuesta ósea a los materiales de implantes dentales*. 247-259.

Secombe, C.J., Firth, E., Perkins, N.R. y Anderson, B.H. (2011). Pathophysiology and diagnosis of third carpal bone disease in horses: A review. *New Zealand Veterinary Journal*, 50:1, 2-8, DOI: 10.1080/00480169.2002.36241.

Uhlhorn H., (2000). Third Carpal Bone Sclerosis Radiographic evaluation and clinical implications in Standardbred trotters., Uppsala Tryck: Sveriges Lantbruk Universitate. ISSN 1401-6257 ISBN 9 1-576-5948-60. 11-17.

Varela, M., Moine, R., Fioretti, R.C., Varela, P., de Prada, R., Giorgetti, L., Bellingeri, R., Barbero. (2021). Análisis mecánico y morfométrico del hueso carpo III del caballo mestizo Criollo Argentino. *Revista de Medicina Veterinaria. (En línea)*, ISSN 1852-771X. 102(2): 36-42.

Wang, X., Dong, X., Reyes, M. (2010). Fundamental Biomechanics in BoneTissue. Engineering- Copyright © 2010 by Morgan & Claypool. 1: 1-67.