

Comportamiento mecánico del hueso metatarsiano III aislado de equino ante ensayo de flexión con monitoreo de emisión acústica

Mechanical behavior of the isolated equine metatarsal bone III during a flexion test with acoustic emission monitoring

FIORETTI, RC¹; MOINE, R¹; VARELA, P²; DE PRADA, R²; SALVI, M³; VARELA, M¹; MOUGUELAR, H¹; CANCINO, M¹; GONZALEZ SANCHEZ, S¹; ANDINO, Y¹; LIAUDAT, C⁴

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

²Laboratorio de Ensayos de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. ³Departamento de Clínica Animal, FAV, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. ⁴Departamento. Biología Molecular, Facultad de Ciencias Exactas, Fco-Qcas y Naturales. Instituto de Biotecnología Ambiental y salud (INBIAS). Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento mecánico del hueso metatarsiano III de equino ante ensayo de flexión en tres puntos y su relación con la morfología ósea y la aparición de eventos de Emisión Acústica, aportando conocimientos biomecánicos aplicables en Medicina Veterinaria. Se estudiaron los metatarsianos III de 20 equinos mestizos criollos, divididos en dos grupos etarios: animales de 1,5 a 2 años (G1) y de 2,5 a 5 años (G2). A los huesos izquierdos se les practicó una osteotomía transversal en la parte media de la diáfisis y se midió: espesores corticales, área cortical y área medular. A los huesos derechos se los sometió a la prueba de flexión en tres puntos, realizándose simultáneamente el monitoreo de Emisión Acústica. Las variables en estudio fueron sometidas a análisis estadísticos de correlación, regresión y varianza ($p \leq 0,05$). Se observó que los metatarsianos III del grupo G2 evidenciaron una resistencia mayor que aquellos del grupo G1 ($p=0,016$), además los hits de Emisión Acústica se incrementaban a medida que la fuerza del hueso también aumentaba. Dicho monitoreo permite evaluar daños, previos a la fractura total, en huesos sometidos a esfuerzos.

Palabras clave: (biomecánica), (equino), (resistencia), (esfuerzos)

Recibido: 23-03-2025

Aceptado: 04-08-2025

Correspondencia e-mail: Cecilia Rita Fioretti cfioretti@ayv.unrc.edu.ar

<https://doi.org/10.62168/invet.v27i1.64>

SUMMARY

The objective of this study was to determine the mechanical behavior of the equine Metatarsal bone III under a three-point bending test and its relationship with bone morphology and the appearance of acoustic emission events, providing biomechanical knowledge applicable to veterinary medicine. The equine Metatarsal bone III of 20 Creole crossbreed horses were studied, divided into two age groups: animals from 1.5 to 2 years old (G1) and from 2.5 to 4.5 years old (G2). A transverse osteotomy was performed on the left bones in the middle of the diaphysis, and the following measurements were made: cortical thickness, cortical area, and medullary area. The right bones were subjected to a three-point bending test, while acoustic emission monitoring was performed simultaneously. The study variables were subjected to statistical analyses of correlation, regression, and variance ($p \leq 0.05$). It was observed that the metatarsals III of group G2 showed greater resistance than those of group G1 ($p = 0.016$) furthermore, the Acoustic Emission hits increased as bone strength increased. This monitoring allows for the assessment of bone damage before to the complete fractures in bones subjected to stress.

Keywords: (biomechanics), (equine), (resistance), (stress)

INTRODUCCIÓN

Los huesos del pie del caballo están expuestos a esfuerzos biomecánicos, traumatismos y/o caídas y es por ello que pueden presentar fracturas^{1, 13, 22}. El metatarsiano III es un hueso largo con una estructura cortical muy desarrollada^{7, 8}. Varios factores como la anatomía, las propiedades morfológicas y materiales, el modo de aplicar la carga, así como la duración y la frecuencia de la misma, influyen en la respuesta biomecánica del hueso^{9, 13}.

Las lesiones óseas y también aquellas como tendinitis y artritis entre otras, pueden provocar pérdida de días de entrenamiento, descenso en el rendimiento deportivo e incluso la muerte del animal^{10, 22}.

En estudios recientes se evaluaron fracturas condilares del hueso metatarsiano III y se observó que originaban fracturas diafisarias². Es así como este hueso debe contrarrestar las cargas mediante adaptaciones en su geometría^{21, 24, 25}. Otros autores analizaron las propiedades morfológicas en el hueso metatarsiano III de caballo¹³. Además, en trabajos previos se han realizado estudios respecto de las propiedades morfológicas de huesos largos, como el metacarpiano III de equinos, durante los primeros 5 años de vida y observaron que a un incremento de área total lo acompaña un incremento mayor de área cortical que del área medular^{11, 25}. El incremento del área cortical también determina un aumento del área total y ello es debido a la adaptación de cargas de tensión y compresión^{4, 5, 12, 15}. También,

se observaron diferencias en el área cortical, entre grupos etarios diferentes, en estudios morfológicos de huesos de perro^{3, 4}.

Actualmente se aplica la técnica de Emisión Acústica en casi todas las áreas de ciencia y tecnología que incluyen la evaluación de la integridad estructural de un elemento, ampliando el abanico de posibles aplicaciones en la salud^{5, 16, 25}. Esta herramienta permite evaluar el comportamiento mecánico de una estructura ya que detecta ondas elásticas producidas cuando aparece un defecto sobre la misma y convierte esas señales a eléctricas^{6, 17, 25}. Consiste en un método de prueba no destructiva, muy versátil que ha generado grandes avances para evaluar la integridad de un material. Se ha trabajado también, con el monitoreo de Emisión Acústica en el cartílago articular de equinos in vitro proponiendo un abordaje alternativo para el diagnóstico de osteoartritis de la articulación metatarso-sesamoideo-falangiana (nudo)^{19, 23}.

Analizando las variaciones de módulos biomecánicos, en huesos expuestos a cargas, se pueden mejorar materiales para osteosíntesis. En este sentido se presenta actualmente poca información sobre el comportamiento mecánico del hueso metatarsiano III aislado de equino sometido a ensayo de flexión en tres puntos. Además, en la práctica de la Medicina Veterinaria se desconocen los resultados acerca del monitoreo de ese tipo de ensayos con Emisión Acústica en huesos largos de equino. En respuesta a ello, se utilizó un modelo

experimental para evaluar el comportamiento mecánico del hueso metatarsiano III.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento mecánico del hueso metatarsiano III de equino, mediante la obtención de curvas de fuerza-deformación, y su relación con la morfología ósea y la aparición de eventos de Emisión Acústica, aportando conocimientos biomecánicos aplicables en Medicina Veterinaria.

Este estudio presenta originalidad, ya que no existen datos previos obtenidos de la flexión del metatarsiano III de equino, con monitoreo de eventos de Emisión Acústica, que permitan caracterizar su comportamiento biomecánico ante este tipo de ensayo. Los nuevos aportes para la aplicación en la clínica se presentan con el análisis de la aparición de dichos eventos, lo cual permite evaluar daños, previos a la fractura total, en huesos sometidos a esfuerzos. La Emisión Acústica es un fenómeno útil en estudios de huesos, bajo condiciones de carga variables, permitiendo caracterizar su comportamiento mecánico para obtener información sobre los procesos de crecimiento de fisuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material óseo

El presente trabajo se realizó utilizando los huesos metatarsianos III de equinos mestizos criollos, en condiciones aisladas, obtenidos del frigorífico LAND L General Pico, Las Higueras, Córdoba, Argentina. Se trabajó con las piezas anatómicas provenientes de 20 animales. Los huesos se dividieron en dos grupos: G1 (huesos provenientes de animales de 1,5 a 2 años) y G2 (huesos provenientes de animales de 2,5 a 5 años), la edad se determinó por cronometría dentaria.

Procesamiento de los metatarsianos III. El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Anatomía Veterinaria de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Una vez extraídos, los metatarsianos III, se realizó la disección convencional para liberarlos de sus tejidos blandos, no se retiraron los huesos metatarsianos II y IV. Posteriormente, se mantuvieron envueltos en gasa humedecida con solución fisiológica y fueron conservados a -20 °C hasta su montaje para el ensayo mecánico de flexión, preservando así las propiedades óseas^{11, 14}. A los huesos izquierdos se le practicó una osteotomía transversal en la parte media de la diáfisis. La elección de lateralidad (derecho o izquierdo) en el hueso osteotomizado sólo responde a la metodología de trabajo. En la superficie de sección se determinó: espesor de la cortical en los cuadrantes (dorsal, plantar, lateral y medial), diámetro medular (dorso-plantar y latero-medial) y se obtuvieron los valores de las áreas de sección total, cortical y medular, con micrómetro de escala 0,02 mm (Figura 1 A).

Ensayo mecánico

El trabajo se desarrolló en los Laboratorios de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Los huesos metatarsianos III derechos se colocaron en una Máquina Universal de Ensayos marca Amsler, modelo 6PZD 1406, para realizar la carga de flexión en tres puntos. En la Figura 1B se muestra una imagen del metatarsiano III montado para el ensayo de flexión en tres puntos. En el soporte inferior se observa la colocación de dos sensores de Emisión Acústica, uno está conectado a un pre-amplificador. Al mismo tiempo de la realización de los ensayos mecánicos se procedió a la recolección de datos con el equipo de Emisión Acústica.

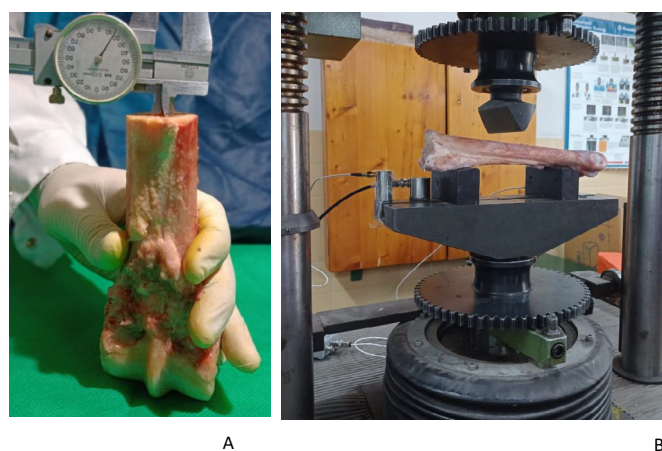


Figura 1A. Mediciones morfológicas en el hueso metatarsiano III izquierdo osteotomizado. **1B.** Metatarsiano III derecho in situ, en la Máquina de Ensayo Servohidráulica (marca Amsler, modelo 6PZD 1406).

Registro y procesamiento de las señales de Emisión Acústica

En este fenómeno se generan ondas elásticas transitorias, mediante la liberación rápida de energía desde fuentes como la deformación plástica, propagación de grietas, impacto o fugas localizadas en un material cuando está sometido a cierto nivel de esfuerzos. Una vez que la onda se ha generado, ésta se propaga superficialmente y la interacción de estas ondas con el área superficial provoca un movimiento, los sensores acústicos instalados sobre esta superficie detectan este microscópico movimiento y convierten la onda elástica en una señal eléctrica, la cual puede ser procesada y analizada^{18, 26}.

En el presente estudio se utilizaron dos sensores, modelos R15I y WDI de Physical Acoustics Corporation, fijados a la máquina de ensayos mediante una cera sintética, ellos se conectaron a un sistema de obtención de datos (Physical Acoustics Corporation, modelo PCI-2

Based AE System). Se recolectó la información del número de eventos, las amplitudes y la cantidad de ondas de cada evento. Finalmente, con el software AEWIN se procesaron las señales obtenidas brindando información sobre la amplitud de hit y el número de ondas por evento.

Análisis estadístico. Se realizó análisis estadístico descriptivo, de correlación, regresión y varianza ($p \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico InfoStat (2017), bajo licencia de la FCA de la UNC, Argentina.

RESULTADOS

Análisis estructural y de resistencia del metatarsiano III de equino mestizo criollo

Las medidas de tendencia central de cada variable tomadas en los huesos metatarsianos III se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Medidas resumen del metatarsiano III (n=20).

Variable	Media	EE	Min	Máx
Edad (años)	3	0,33	1,5	5
Cuad/dorsal (cm)	1,16	0,03	1,00	1,34
Cuad/plantar (cm)	0,88	0,03	0,71	1,03
Cuad/lateral (cm)	0,99	0,02	0,89	1,22
Cuad/medial (cm)	1,23	0,03	1,12	1,36
Diám CM D/P (cm)	1,25	0,04	1,15	1,40
Diám CM L/M (cm)	1,24	0,03	1,08	1,50
Área Total (cm ²)	10,77	0,48	7,80	11,65
Área Medular (cm ²)	1,50	0,30	0,80	2,09
Área Cortical (cm ²)	8,94	0,45	6,27	15,48
Fuerza (kN)	19,58	0,73	15,40	26,10
Deformación (mm)	8,35	0,45	6,90	10,60
Conteo Acumulado (EA)	90,69	0,48	59,20	163

Cuad=cuadrante; EE=error estándar; Cuad=cuadrante; Diám CM D/P=diámetro cavidad medular dorso plantar; Diám CM L/M= diámetro cavidad medular latero medial; F Máx=fuerza máxima; EA= emisión acústica.

Análisis del Ensayo de flexión en tres puntos con monitoreo de Emisión Acústica

El tipo de curva modelo que arroja el ensayo se muestra en la Figura 2 donde se observa el esfuerzo/deformación obtenido de la flexión en tres puntos de un metatarsiano III de equino y se genera la curva de conteo de Emisión Acústica en función del tiempo. La energía de ondas se irradia a través del material en forma de ondas

elásticas y es captada por sensores sensibles, la monitorización de estas ondas permite detectar a tiempo fallos en la superficie interna del material y de esta forma predecir fracturas¹⁶. Dicha figura presenta los resultados de la muestra N° 1: metatarsiano III derecho, de animal macho de 2,5 años y del grupo G2. La fuerza máxima soportada por el hueso fue de 20,77 kN y los conteos de Emisión Acústica detectados fueron 59,20.

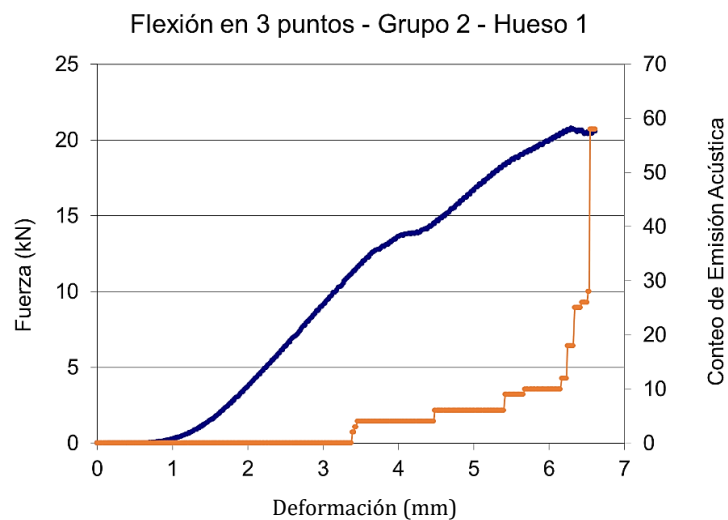


Figura 2: Fuerza/Deformación obtenida ante ensayo de flexión en tres puntos y conteo de Emisión Acústica en función del tiempo, para la muestra N°1.

El análisis de correlación para las variables área cortical vs fuerza máxima ($r = 0,86$) muestra que hay asociación entre dichas variables a nivel poblacional, trabajando con un nivel de significación de Probabilidad $p < 0,05$. El análisis de regresión lineal de las variables Fuerza vs. Área cortical del hueso, los coeficientes de regresión con sus estadísticos asociados y el análisis de la varianza se

muestran en las Tablas: 2, 3, y 4, respectivamente. En la Figura 3 se muestra la recta de regresión para la variable Fuerza del metatarsiano en función de su Área cortical. Las variables Área cortical y Fuerza están correlacionadas positivamente ($r = 0,86$, $p < 0,0001$), podemos observar que el 86 % de la Fuerza está explicada por el Área cortical del hueso.

Tabla 2. Análisis de regresión lineal para las variables Fuerza vs. Área cortical. Coeficiente de determinación ($n=20$).

Variable	n	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Fuerza (kN)	20	0,73	0,72	5,01	82,41	85,39

n=número de muestras; **R²**: Regresión; **R² Aj**: Regresión ajustada; **ECMP**: Error cuadrático medio; **AIC**: Criterio de información de Akaike; **BIC**: Criterio de información bayesiano.

Tabla 3. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para la variable área cortical ($n=20$).

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	t	p-valor
Área cortical (cm ²)	1,37	0,19	0,96	1,78	7,04	<0,0001

Est.: Estadístico; **EE**: error estándar; **LI(95%)**: Límite inferior; **LS(95%)**: Límite superior; **t**: prueba t de Student; **P-valor**: Probabilidad

Tabla 4. Análisis de la varianza para la variable Área cortical (n=20).

	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	147,17	1	147,17	49,59	<0,0001
Área cortical (cm ²)	147,17	1	147,17	49,59	<0,0001
Error	53,42	18	2,97		
Total	200,59	19			

SC: Factor de desviación de la media; **gl:** grados de libertad; **CM:** Cuadrado medio; **F:** Prueba F de Fisher;
P-valor: Probabilidad

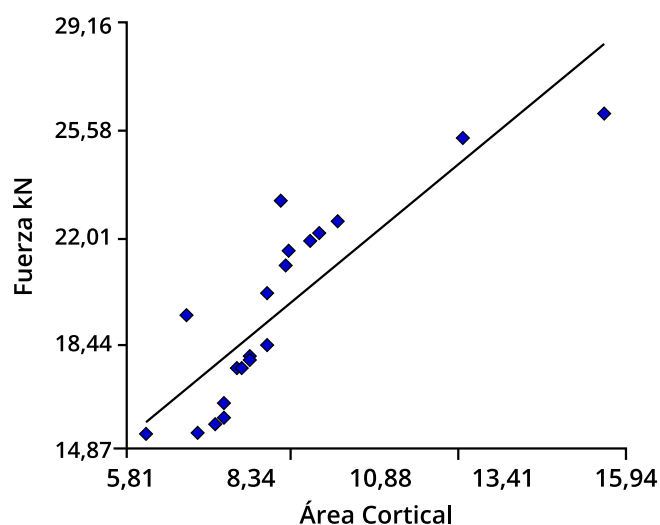


Figura 3. Regresión lineal simple para las variables Fuerza (kN) vs. Área cortical (cm²).

En el Gráfico de Cajas (Box-Plot) de la Figura 4 se muestra la Fuerza máxima soportada por la diáfisis del metatarsiano III para las dos categorías

de la variable edad, donde se observa una mayor fuerza en los animales de 2,5 a 5 años (G2) que en los animales de 1,5 a 2 años (G1).

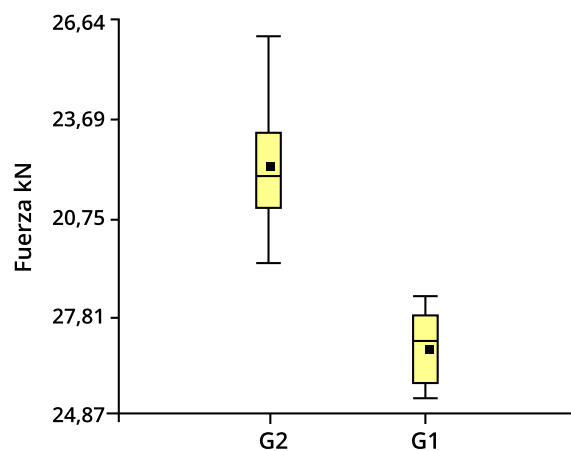


Figura 4. Gráfico de Cajas para las variables Fuerza (kN) vs. Grupo etario (n=20).

DISCUSIÓN

Las propiedades morfológicas del metatarsiano III están íntimamente relacionadas con las propiedades biomecánicas del hueso. Para contrarrestar el esfuerzo, el hueso se adapta en su geometría a través de su construcción y destrucción continua y coordinada^{3, 11, 12, 13}. Dentro de los huesos del miembro pélvico, el metatarsiano III debe soportar una carga elevada y por fundamentos anatómicos y biomecánicos está expuesto a injurias¹³. Tanto los tejidos blandos, como el tejido óseo están diseñados para resistir fuerzas de manera repetitiva de distinta intensidad, sin sufrir cambios en su estructura y funcionamiento. Sin embargo, cada tejido tiene una capacidad de resistencia determinada que depende de su composición, ubicación anatómica y función²¹.

En este trabajo los resultados indican que la fuerza que soporta el metatarsiano III depende linealmente del área cortical del hueso ($R^2=0,73, p<0001$), por lo cual a medida que aumenta el área cortical aumenta la fuerza que soporta el metatarsiano III. El aumento del espesor de los cuadrantes puede ser atribuido a una adaptación de las cargas que se incrementan con la velocidad del ejercicio y para contrarrestar las tensiones y fuerzas de compresión^{4, 8, 9, 13}.

La fuerza máxima promedio de resistencia del metatarsiano III fue de 19,58 kN, con rangos entre 15,40 kN y 26,10 kN. Al examinar los resultados del conteo de Emisión Acústica y las curvas obtenidas por la máquina universal de ensayos, aparecen eventos que pueden ser detectados y acompañan gradualmente al aumento de la fuerza que va soportando el hueso. El conteo de Emisión Acústica crece, conforme crece la aplicación del esfuerzo. Otros autores determinaron también que la actividad de Emisión Acústica puede mostrar el punto de inicio de la microfisuración, así como su desarrollo; además los parámetros de Emisión Acústica como la frecuencia y el tiempo de subida exhiben fuertes cambios con el aumento de la carga, lo que muestra que los mecanismos de fractura no son estables²³. Coincidimos con otros trabajos, ya que se encontró una fuerte asociación entre la fuerza que soportaba cada metatarsiano III respecto a la intensidad de las señales de Emisión Acústica analizadas en el rango de 1,5 a 6 kHz^{5, 25}. La Emisión Acústica resultó un fenómeno útil para estudiar material óseo bajo condiciones de carga variables ya que a partir de vincular el comportamiento mecánico y algunos parámetros se puede obtener información sobre los procesos de crecimiento de fisuras^{18, 20, 26}. Analizando con detalle la curva de fuerza deformación

obtenida del hueso N°1, se observa que al aumentar la deformación, los eventos de Emisión Acústica aparecen y también se incrementan. En la rotura del metatarsiano III, con el monitoreo de Emisión Acústica, se detectó la energía liberada en forma de ondas elásticas ante cambios irreversibles en el hueso como la propagación de fisuras. Si bien el comportamiento elástico de los huesos es un fenómeno que ya está definido de forma teórica mediante una ecuación fundamental, que relaciona tensión y deformación, el fallo o rotura es menos previsible y la aparición de fisuras son consecuencia de factores micro estructurales heterogéneos.

CONCLUSIÓN

Se hallaron un importante número de eventos previo al colapso del metatarsiano III de equino ante el ensayo de flexión en tres puntos. Los hits de Emisión Acústica se incrementaban a medida que la fuerza del hueso también iba en aumento. Dicho monitoreo permite evaluar daños, previos a la fractura total, en huesos sometidos a esfuerzos. El uso de la técnica Emisión Acústica como ensayo no destructivo en biomecánica es reciente, pero en el futuro podría ser de utilidad en distintas áreas biológicas, incluso monitoreando esfuerzos en un animal vivo. Para ello se debe resolver el filtrado de señales que generan hits secundarios (ruido) al colocar los sensores a través de la piel.

BIBLIOGRAFÍA

1. Baxter G. In Adams and Stashak's Lameness in Horses, 7ª Edition, 2020.
2. Espil J. I., Sánchez L., Dutra F., *et al.* Fractura catastrófica condilar lateral del III hueso metatarsiano: reporte de caso en un equino pura sangre de carrera del Hipódromo de La Plata. 2022; FAVE – Sección Ciencias Veterinarias 20 Suplemento Jornadas FCV-UNL.
3. Fioretti C., Galán A., Moine R., *et al.* Características Mecánicas Dinámicas de la Tibia Aislada de Perro Sometida a Prueba de Impacto. *Int. J. Morphol.* Chile. 2013; 31 (2): 562-569. <https://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v31n2/art33.pdf>
4. Fioretti, R.; Moine, R.; Varela, M., *et al.* Densidad mineral ósea y resistencia ante la prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro. *Ab Intus. FAV-UNRC.* 2018; 1 (1): 43-52. En: http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/15
5. Fioretti, R.C.; Moine, R.; Varela, P. *et al.* 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. *Ab Intus. FAV-UNRC.* 2022; 10 (5): 25-32. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/42

6. Hellier C.J. Handbook of nondestructive evaluation. 2003; 10. Acoustic Emission Testing. McGraw-Hill, USA.
7. König H, Liebich H. Veterinary Anatomy of domestic animals. Textbook and Colour Atlas. Tomo 1, 7° Edition. Ed. Thieme. Alemania, 2020.
8. Logan, A. and Nielsen, B. Training Young Horses: The Science behind the Benefits. Animals. 2021; 11(2): 463-476. <https://doi.org/10.3390/ani11020463>
9. Lopez, M.J. 2019: Bone Biology and Fracture Healing. Chapter: 75. In: Equine Surgery. 5th Ed. Elsevier, Missouri, United States. 2019; 1255- 1269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48420-6.00075-2>
10. Medina L., Velásquez C.A., Figoli, M. Tratamiento de fractura transversa del hueso tercer metatarsiano en un potrillo mediante la técnica de fijación interna. *Revista Científica*, vol. XXI, núm. 2, Universidad del Zulia Maracaibo, Venezuela. 2011; 118-124. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95918097003.pdf>
11. Moine R., Galán M., Vivas A., *et al.* Propiedades Morfológicas en la Parte Media de la Diáfisis del Hueso Metacarpiano III de Equino Mestizo Criollo. *Int. J. Morphol.* Chile. 2015; 33 (3):955-961. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022015000300024
12. Moine R., Fioretti R.C., Galán A., *et al.* 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. FAV-UNRC.* 2020; 6 (3): 47-56. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/53
13. Moine R., Fioretti R.C., Gigena S., *et al.* Determinación de las propiedades morfológicas en la mitad de la diáfisis del hueso metatarsiano III de caballos mestizos criollos. *Revista Ab Intus FAV-UNRC.* 2024; 7 (14): 1-13. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/153
14. Moncayo Matute, F. and Moncayo Vásquez. Estudio de la resistencia a flexión de la falange proximal de la mano del caballo mestizo criollo. *Revista Ab Intus. FAV. UNRC.* 2019; 3 (2): 56-62. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/113
15. Natali J., Fioretti R., Moine R., *et al.* Morfología y comportamiento biomecánico de la falange proximal de la mano del caballo mestizo criollo. *Revista Ab Intus. FAV. UNRC.* 2019; 3 (2): 56-62. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/113
16. Ramírez Vesga, M.; Camilion, E.; Gomez, M. E. Algoritmo de localización de fuentes de emisión acústica. *Actas de Trabajos Completos del E-ICES 15: Decimoquinto Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra.* 2021. En: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/161289>
17. Ramirez A, Filipussi D, Camilion E & Gómez M. Study of the acoustic emission of basaltic rock fracture in uniaxial compression test. *Geoacta.* 2023; 45(1):38-52. En: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/175173/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
18. Reuben, R. L. Emisión acústica y ultrasonidos para el seguimiento de la interfase hueso-implante. *Respuesta ósea a los materiales de implantes dentales.* 2017; 247-259.
19. Shakya, B., Tiulpin, A; Saarakkala, S; Turunen, S; Thevenot, J. Detection of experimental cartilage damage with acoustic emissions technique: an in vitro equine study. *Equine Vet J.* 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31032989/>
20. Singer E., Garcia T, Stover, S. 2015: Hoof position during limb loading affects dorsoproximal bone strains on the equine proximal phalange. *Journal of biomechanics*, 2015; 49: 1930-1936.
21. Southwood L. and Mclwaith C. Arthroscopic removal of abaxial fracture fragments involving a portion of the base of the proximal sesamoid bone in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2000; 217(2):236- 240.
22. Stover S. M. and Murray A. The California Postmortem Program: Leading the Way. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice.* 2008; 24 (1): 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2007.11.009>.
23. Strantz M., Polyzos D., Louis O., Boulpaep F, Van Hemelrijck D., Aggelis D.G. Damage characterization on human femur bone by means of ultrasonics and acoustic emission. *J. Phys.: Conf. Ser.* 628 012016 doi:10.1088/1742-6596/628/1/0, 2015.
24. Varela, M.; Moine, R.; Fioretti, R.C., *et al.* Análisis mecánico y morfométrico del hueso carpo III del caballo mestizo Criollo Argentino. *Revista de Medicina Veterinaria.* (En línea). 2021; 102(2): 36-42. ISSN 1852-771X. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/163663>
25. Varela, M; Fioretti, C.; Moine, R. *et al.* Emisión acústica y ensayo de compresión del hueso carpo 3 de caballo. *Ab Intus FAV-UNRC.* 2024; 13(7):1-9. http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/137
26. Zavarce A. Fundamentos y aplicaciones de la Emisión Acústica (EA). 2021. En: <https://inspenet.com/articulo/fundamentos-aplicaciones-emision-acustica-ea/>, consultado 10 de marzo 2024.