**Morfovirtual 2022**

**VI Congreso virtual de Ciencias Morfológicas.**

**Sexta Jornada Científica de la Cátedra Santiago Ramón y Cajal.**

**PROPIEDADES BIOMECÁNICAS Y ENSAYO DE FLEXIÓN EN TRES PUNTOS EN LA MITAD DE LA DIÁFISIS DEL FÉMUR DE PERRO**

**Isabel Yolanda Pacheco Szlabi1, Rita Cecilia Fioretti Fessia2, Rosana Maricel Moine3, Pablo Gerardo Varela Farah4, José María Caminos5, María Soledad Gigena Álvarez6, Matías Francisco Varela Díaz7 Silvana Gonzalez Sanchez8, Maximiliano Cancino9,Marco Nozzi10, Gastón Comeglio11, Josefina Boatti12**

1 Jefe de Trabajos Prácticos, Fisiología Animal, Universidad Nacional de La Rioja. Sede Chamical, La Rioja, Argentina.

2 Profesora Adjunta, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.

3 Profesora Titular, Anatomía Veterinaria, FAV, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.

4 Profesor Titular, Laboratorio Ensayo de Materiales, Fac. Ing. UNRC, Río Cuarto, Argentina.

5 Médico Veterinario, Clínica de Grandes Animales, Universidad Nacional de La Rioja Sede Chamical, La Rioja, Argentina.

6 Jefe de Trabajos Prácticos, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.

7 Jefe de Trabajos Prácticos, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.

8 Jefe de Trabajos Prácticos, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

9 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

10 Becario de Investigación, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

11 Becario de Investigación, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

12 Becario de Investigación, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

[cfioretti@ayv.unrc.edu.ar](mailto:cfioretti@ayv.unrc.edu.ar)

**Resumen**

La determinación experimental de las propiedades mecánicas del tejido óseo en caninos es fundamental, ya que los datos bibliográficos actuales presentan gran dispersión. Sus propiedades morfológicas y mecánicas tienen gran aplicabilidad en la creación de modelos matemáticos y/o computacionales presentando interés para la fisiología, patología, traumatología y ortopedia. El objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento mecánico y la resistencia ante cargas de flexión en tres puntos mediante la obtención de la curva fuerza–deformación, del tercio medio de la diáfisis del fémur aislado y aportar conocimientos biomecánicos en perros de diferente talla, edad y sexo. Se trabajó con los huesos fémures provenientes de 15 perros mestizos adultos entre 2 a 10 años. Las variables en estudio fueron sometidas a análisis estadísticos. Los valores promedio obtenidos fueron: fuerza 0,96 kN±0,12, deformación 5,95 mm±1,10. Se observó que los fémures provenientes de animales de talla grande presentaron una resistencia significativamente mayor ante la flexión que aquellos de animales de talla chica *(p=0,0124)*. Los fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia ante la flexión que aquellos provenientes de hembras *(p=0,017)*. Las características estructurales y mecánicas son factores determinantes en el momento de evaluar la resistencia del hueso a la flexión.

***Palabras Clave*:** fémur, flexión en tres puntos, biomecánica, perro.

**Introducción**

El perro es el animal doméstico por excelencia y uno de las más preciados por el hombre. Está dotado de una inteligencia especial, que además de aprender, adaptarse y resolver situaciones, le permite desarrollar relaciones con los seres humanos. A través de la historia el perro se ha asociado con la vida humana de diferentes formas, realizando diversas tareas y actividades como la caza, el pastoreo, fuente de calor, camillero en las guerras, de rescate, en el espectáculo, para el deporte y, además, actualmente, en vigilancia, defensa, como lazarillo y animal de compañía1. Se han publicado diversos artículos en los cuales se enumeran los accidentes más frecuentes en las mascotas y que son la causa por la cual el hombre acude al veterinario. Entre una extensa nómina de accidentes más habituales en las mascotas, se encuentran las caídas, los traumatismos, atropellamientos, etc.; siendo las fracturas de huesos largos las de mayor frecuencia en animales pequeños, y dentro de ellos es la fractura del hueso fémur (*os femoris*) la que lidera esa lista. Las fracturas están ocasionadas debido a golpes, fuerzas o tracciones de alta intensidad, o por un sobreesfuerzo que altera la elasticidad de los huesos y afecta el funcionamiento del aparato locomotor2.

El hueso realiza funciones fundamentales facilitando el sostén y la locomoción mediante su integridad biomecánica, protege órganos vitales y es reserva de minerales esenciales para el metabolismo. Es un tejido complejo, cuyas propiedades son producto de la asociación de una morfología macroscópica y microestructural. El hueso es capaz de evolucionar modificando sus propiedades en función del tipo de solicitaciones a que se vea sometido3,4. Además puede regenerarse en caso de fractura, o por el contrario, alterar sus propiedades mecánicas ante procesos patológicos graves, o simplemente por la edad. Al considerar el diseño de un modelo de prótesis animal es importante discutir las diferencias en la composición y estructura del tejido óseo entre las especies. Si bien el modelo ideal que puede imitar perfectamente los huesos humanos no existe, una gran similitud se encontró entre huesos humanos y caninos. Las leyes de la mecánica se han formulado utilizando modelos y abstracciones que en la mayoría de los casos no son precisamente fáciles de aplicar a los elementos biológicos. Es necesario estudiar el tejido óseo desde tres puntos de vista completamente diferentes, considerando por una parte su estructura, por otra el material constitutivo, y por último el sistema biológico del que forma parte5.

El primer acercamiento hacia el modelado mecanobiológico de los huesos consiste en considerar el hueso macroscópicamente, realizando análisis de distribución de cargas mecánicas semejante a los realizados en vigas y otras estructuras estáticas6 7. El modelado del comportamiento mecánico del hueso animal y humano es de alta complejidad partiendo del hecho de que su constitución, estructura y propiedades se ven afectadas por la edad, sexo y patologías del individuo. Además, se trata de un tejido vivo cuyas propiedades mecánicas, morfométricas e histológicas se deben evaluar in vitro8 9. En huesos largos, la sección y el espesor varían a lo largo del perfil en diferentes partes de la diáfisis, ajustándose a los requerimientos a que estará sometido en cada zona.

Las aplicaciones biomecánicas de la física en la medicina veterinaria son cada vez más variadas e importantes para la ortopedia, cirugía general, diagnósticos, etc. En este sentido uno de los temas más novedosos sería el estudio de los biomateriales utilizados como implantes al tejido óseo. Por ello es necesario conocer la resistencia del hueso a fuerzas externas10. Los principales factores determinantes de la resistencia ósea a la fractura son la densidad mineral, la geometría y la microarquitectura11. Ellos se relacionan con las fuerzas de atracción y repulsión de los átomos que los conforman, los cuales se encuentran en equilibrio. Ahora bien, si por algún factor externo actúa una fuerza sobre un cuerpo sólido, como por ejemplo el hueso, éstos átomos comienzan a separarse y las fuerzas internas de atracción tenderán a unirlas. Por el contrario, si se aproximan, las fuerzas internas de repulsión tenderán a separarlas con la finalidad de mantener la posición de equilibrio12. Para evaluar las propiedades mecánicas del hueso se pueden emplear ensayos de tracción, compresión, flexión en tres o cuatro puntos, torsión, indentación (dureza), impacto y fatiga. Los parámetros que se obtienen en el ensayo de flexión en tres puntos se presentan en la forma de curvas de fuerza vs. deformación.

A su vez, los huesos de animales inmaduros presentan corticales relativamente delgadas, variabilidad en la longitud y forma de las diáfisis, constituyéndose esto como factores que afectan la reparación de fracturas 13 14. Fioretti y col., (2011,2013 y 2018) han estudiado el fémur y la tibia del perro y ensayado pruebas de impacto y compresión en la mitad de su diáfisis, destacando que la resistencia del fémur en perros mestizos, depende del área cortical y total, además de otras variables como densidad mineral ósea; influidos por la talla, edad y sexo15 16 17.

El hueso constituye un sistema complejo, sujeto a un gran número de procesos bioquímicos, biofísicos y biológicos, relacionados entre sí, y, lo que es más importante, íntimamente relacionados con las propiedades mecánicas y estructurales.

**Objetivos**

* Determinar el comportamiento mecánico y la resistencia ante cargas de flexión en tres puntos mediante la obtención de la curva fuerza (carga) - deformación, del tercio medio de la diáfisis del fémur aislado de perro.
* Determinar las características morfológicas del hueso fémur aislado de perro en el tercio medio de su diáfisis.
* Comparar resistencia del tercio medio de la diáfisis del fémur sometido a ensayo de flexión en tres puntos entre perros de diferente talla, edad y sexo.

**Materiales y métodos**

Este trabajo se realizó con piezas anatómicas (huesos fémur) con acuerdo de la *Comisión de Bioética de la Universidad Nacional de Río Cuarto.* Se utilizaron los huesos fémur de perro en condiciones aisladas (Fig. 1). Se trabajó con huesos provenientes de 15 caninos mestizos adultos jóvenes (cuyas edades oscilaron entre 2 y 10 años). Se aislaron por desarticulación coxofemoral y fémorotibiopatelar ambos fémures y se liberaron de sus partes blandas. El material óseo se dividió en dos grupos: huesos provenientes de perros de talla grande, entre 20 y 30 Kg, (G1) y huesos provenientes de perros de talla chica, entre 10 y 20 Kg, (G 2). Los procedimientos citados se llevaron a cabo en conjunto entre la cátedra de Anatomía Veterinaria del Departamento de Anatomía Animal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC y la cátedra de Fisiología Animal de la Universidad de La Rioja sede Chamical. Los huesos se mantuvieron envueltos en gasa humedecida con solución fisiológica y se conservaron a -20 C° hasta su montaje para el ensayo mecánico, preservando de esta manera las propiedades óseas18.

Se determinó, en todos los huesos, el peso con balanza digital (SYSTEL-Modelo CLIPSE, peso mínimo=0,1 kg y máximo=30 kg), y la longitud total con regla micrométrica de 0,02 mm de graduación, la cual se tomó desde el extremo proximal de la cabeza del fémur *(caput ossis femoris)* hasta el extremo distal de la fosa intercondílea *(fosa intercondylaris)*. Además, se determinó el diámetro cráneo-caudal y diámetro latero-medial en la mitad de la diáfisis con escalímetro digital (Digital Caliper 0-200 mm).

El fémur del miembro derecho fue osteotomizado transversalmente en la mitad su diáfisis, utilizando una amoladora y disco de corte específico. 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 (craneal, caudal, lateral y medial), diámetro medular (cráneo-caudal y latero-medial) y se obtuvieron los valores de las áreas de sección total, cortical y medular.

El método empleado en este estudio consistió en realizar ensayos de flexión en tres puntos. Para llevar a cabo dicha prueba se colocó el hueso fémur izquierdo entero, apoyado en sus epífisis y con su cara craneal enfrentada a la carga axial. Dicho hueso fue preparado en sus extremos con moldes de resina epoxi para coaptar y alisar la superficie y que el apoyo sea recto. El ensayo de flexión consistió en aplicar cargas iguales y opuestas hacia el interior del material. Para el test mecánico se utilizó una máquina universal de ensayos estáticos y dinámicos servohidráulica (AMSLER 6PZD 1406) la cual proporcionó curvas de fuerza vs. deformación con 16 datos por segundo (8 datos de fuerza y 8 datos de deformación). La maquinaria específica para este tipo de ensayo se encuentra en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (L.E.M.) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Cada muestra se colocó entre una placa y un dispositivo cilíndrico para realizar la flexión. Los ensayos se estandarizaron con parámetros de Escala de F (carga) en kN (kilogramo Newton); Escala de L (deformación) en mm. y Tiempo en minutos (Fig. 2).

Las variables en estudio fueron sometidas análisis estadísticos específicos, descriptivos e inferenciales, mediante el empleo del programa estadístico InfoStat 2018 (Di Rienzo, y col, 2018). Se realizó una estadística descriptiva tabulando los valores de tendencia central (media) y de dispersión (desvío estándar) para las variables cuantitativas fuerza y deformación. Los análisis estadísticos inferenciales consistieron en pruebas de correlación lineal simple. Con fines exploratorios, se obtuvieron gráficos de barras para la fuerza del hueso fémur vs. talla y sexo del animal.

**Resultados y Discusión**

Los valores obtenidos para la variable fuerza (kN) fueron: Media=0,96; DE= 0,12 y para la variable deformación (mm) fueron: Media=5,95; DE= 1,10. En este trabajo los valores hallados de fuerza son menores a Fioretti y col, (2011) y a Natali y col, (2008) ya que se trata de otro tipo de ensayo mecánico, sirviendo para caracterizar el comportamiento del hueso fémur en la mitad de su diáfisis ante la flexión en tres puntos.

En la figura 3 se observa la representación gráfica de la respuesta mecánica a la flexión del hueso fémur izquierdo N°5 proveniente de un animal de 2 años, talla chica, macho. La curva muestra en la región elástica lineal una pendiente importante, demostrando la rigidez estructural del hueso. El punto de transición entre la región elástica y la región plástica de la curva se encuentra aproximadamente cuando la aplicación de la fuerza (carga) es de 0,94 kN, con una deformación de 6,9 mm.

Se determinó la influencia que ejerce la variable talla sobre la fuerza que soporta el hueso fémur izquierdo en la mitad de su diáfisis. Se observó que el fémur que proviene de animales de talla grande presenta una resistencia significativamente mayor ante la flexión que aquella que proviene de animales de talla chica *(p=0,0124)*. No se observan diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la deformación del hueso *(p=0,56)* versus la talla del animal.

Respecto de la influencia que ejerce la variable sexo sobre la fuerza que soporta el fémur izquierdo se observó que el fémur que proviene de perros machos presenta una mayor resistencia ante la flexión en tres puntos que aquel que proviene de hembras *(p=0,017)*, mientras que los fémures de hembras presentan una mayor deformación (*p=0,04)*. Estos resultados coinciden parcialmente con los estudios realizados por Fioretti y col, (2011 y 2018) quienes observaron la influencia, estadísticamente significativa, de la talla respecto a la fuerza y deformación sufridas por el material óseo, pero no así del sexo, en su muestreo de fémures caninos.

En este trabajo la comparación entre la fuerza del hueso fémur vs. edad nos indica que al aumentar la edad del animal el hueso soportó una mayor fuerza a la flexión *(p= 0,017)*, destacando que se utilizaron todos animales adultos. La deformación del hueso fémur vs. edad indica que al aumentar la edad del animal el hueso tuvo una menor deformación ante la flexión en tres puntos *(p=0,029)*. Si bien es conocido que al avanzar la edad declina la resistencia y rigidez ósea, como así también la capacidad para absorber energía. En la osteoporosis, al haber una pérdida de espesor en la cortical y en el tejido trabecular, se somete al hueso cortical a una mayor carga fisiológica (Reich, 2005; Syahrom, 2011; Green, 2011).

**Conclusiones**

* Los huesos fémur de animales de talla grande presentan una mayor resistencia promedio ante la flexión que los huesos de animales de talla chica.
* No hay diferencias estadísticamente significativas en la deformación soportada por los fémures entre animales de talla grande y talla chica ante la prueba de flexión.
* Ante la prueba de flexión en la mitad de la diáfisis del fémur no existen diferencias estadísticamente significativas de resistencia y deformación óseas entre sexos.
* El 76 % de la variabilidad de la fuerza máxima, soportada por el hueso antes de la fractura, puede ser explicada por el área cortical.
* El 64 % de la variabilidad de la fuerza, soportada por el hueso antes de la fractura, puede ser explicada por el área total.
* A medida que aumentan el área cortical y total, también lo hace su resistencia a la flexión en tres puntos.
* A medida que aumenta el área cortical el hueso sometido a flexión no sufre mayor deformación.

Por lo tanto, la resistencia del fémur de perro a la flexión en tres puntos depende mayormente del área cortical y se encontró asociación con la talla de los animales, los perros de talla grande presentaron mayor resistencia.

**Bibliografía:**

1. KOSCINCZUK, P. Domesticación, bienestar y relación entre el perro y los seres humanos. Rev. vet. 2017; 28: 1, 78-87.
2. OCAMPOS M.; PENAGOS, E.; RAMÍREZ, N. Tratamiento de una fractura distal del Fémur de un joven canino. Ciencias Agropecuarias. 2011; 3 (2):40-43.
3. CRISTOFOLINI L, CONTI G, JUSZCZYK M, CREMONINI S, VANSINTJAN S, VICECONTI M. Structural behaviourand strain distribution of the long bones of the human lower limbs. Journal of Biomechanics. 2010; 43: 826–835.
4. BONNEYA H, [COLSTONA](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=RedirectURL&_method=outwardLink&_partnerName=27983&_origin=article&_zone=art_page&_linkType=scopusAuthorDocuments&_targetURL=http%3A%2F%2Fwww.scopus.com%2Fscopus%2Finward%2Fauthor.url%3FpartnerID%3D10%26rel%3D3.0.0%26sortField%3Dcited%26sortOrder%3Dasc%26author%3DColston%2C%2520B.J.%26authorID%3D37111948200%26md5%3De3408a22f0e9e203584fea43ced463b4&_acct=C000054195&_version=1&_userid=1675229&md5=e0b2857c7f0becf044699a6f3ae85bbd) BJ AND [GOODMAN](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=RedirectURL&_method=outwardLink&_partnerName=27983&_origin=article&_zone=art_page&_linkType=scopusAuthorDocuments&_targetURL=http%3A%2F%2Fwww.scopus.com%2Fscopus%2Finward%2Fauthor.url%3FpartnerID%3D10%26rel%3D3.0.0%26sortField%3Dcited%26sortOrder%3Dasc%26author%3DGoodman%2C%2520A.M.%26authorID%3D36716391900%26md5%3D9031f4b8c225370152146f9fffe364d1&_acct=C000054195&_version=1&_userid=1675229&md5=25913dac0b3c7d65a6e325ec50044782) AM. Regional variation in the mechanical properties of cortical bone from the porcine femur. [Medical](http://www.sciencedirect.com/science/journal/13504533) [Engineering & Physics](http://www.sciencedirect.com/science/journal/13504533). 2011; 33 (4):513-520.
5. BLOEBAUM, R.D.; OTA, D.T.; SKEDROS, J.G.; MANTAS, J.P. Comparison of human and canine external femoral morphologies in the contex of total hip replacement. Journal of Biomedical Materials Research. 1993; 27: 1149-1159.
6. DÁVILA, J. Actualidad en el diagnóstico de la osteoporosis. Rev. Obstet. Ginecol Venez. 2007; 67 (2).1-24.
7. BEDIZ, B. Measuring Structural Dynamic Properties of Human Tibia by Modal Testing. Biomechanical clinical.2010; 25 (4):159-165.
8. CERRUD, S.; SARA, M.; NARVÁEZ, C.; MÓNICA, Y.; MUÑOZ, G.; VIVALDO. Modelado del comportamiento mecánico del hueso (Análisis de los efectos del grado de hidratación). Ingeniería Mecánica. Tecnología y desarrollo. 2005; 1, No. 6, p.p. 223 - 232.
9. ANNELIESE; D. HEINERA, M. Structural properties of fourth-generation composite femurs and tibias. Short communication. Journal of Biomechanics.2008; 41 (15):3282-3284.
10. ESPINOSA, G. Pruebas mecánicas en implantes. Materiales Avanzados. 2006; 7: 21-26.
11. OROZCO SANTOS, P.; RUIZ, G. L.; RIVERA MONTOYA, G. F.; JARAMILLO RIVAS, J. Valores de densidad Mineral Ósea (DMO) y Densidad Mineral Volumétrica (DMOV) a Nivel de la Columna Lumbar, en adolescentes y adultos jóvenes. Revista de Investigaciones ALETHEIA No. 7 Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt. 2017; 143 – 155.
12. PELLEGRINO, F. Y BRUZZO LAFRATTO, J. Biofísica del aparato locomotor animal Cap. 6.113 123.2018; <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/113465/CONICET_Digital>
13. WHEELER, J.T.; ADAGIO, L.; D AMICO, G.; HIERRO, J.; HAGGE, M.; LATTANZI, D.; SCHIEDA, F.; SANFILIPPO, S. Fracturas de huesos largos en caninos inmaduros. Ciencia Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias UN.L.Pam. 2002; Pág. 57-67.
14. NATALI, J. Comparación de las Características Mecánicas Estáticas del Fémur Aislado de Perro, con y sin la Colocación de una Placa de Ortopedia Fabricada en Polipropileno. Int. J. Morphol. 2008; 26 (4): 791-797.
15. FIORETTI, C.; NATALI, J.; GALÁN, A.; RIVERA, M. C.; MOINE, R.; VARELA, P.; VARELA, M.; BONINO, F.; QUINTEROS, R. Características Mecánicas Dinámicas del Fémur Aislado de Perro, Sometido Prueba de Impacto. Int. J. Morphol Chile. Vol. 29. 2011; 716:722.
16. FIORETTI, C.; GALÁN, A.; MOINE, R.; VARELA, M.; VARELA, P.; MOUGUELAR, H.; GIGENA, S.; BONINO, F.; QUINTEROS, R.; NATALI, J. Características Mecánicas Dinámicas de la Tibia Aislada de Perro Sometida a Prueba de Impacto. Int. J. Morphol. Chile. ISSN 0717 - 9502. 31 (2). 2013; 562-569.
17. FIORETTI, R.C.; MOINE, R.; VARELA, M.; QUINTEROS, R.; VARELA, P.; GALÁN, A.M.; GIGENA, S.; MOUGUELAR, H.; GONZALEZ SÁNCHEZ, S.; NATALI, N. Densidad mineral ósea y resistencia ante la prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro. Ab Intus. ISSN 1234-5678. Vol.1 (1).2018; 43-52.
18. YENI, Y.N.; BROWN, C. U. AND NORMAN, T.L. Influence of Bone Composition and Apparent Density on Fracture Toughness of the Human Femur and Tibia. Bone. 22 (1). 1998; 79-84.

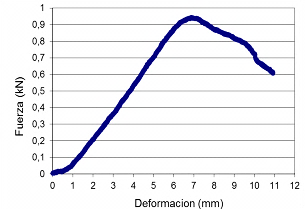
**Anexos**



**Fig. 1**. Preparación de los huesos.



**Fig. 2.** Muestra ósea (fémur entero) N° 5 sometida a flexión en tres puntos.



**Fig. 3.** Curva de fuerza (kN) - deformación (mm) del hueso fémur N° 5, sometido a prueba de flexión.