

Densidad mineral ósea y resistencia ante la prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro

Rita Cecilia Fioretti^{1*}; Rosana Moine¹; Matías Varela¹; Pablo Varela²; Ada Mónica Galán¹; Soledad Gigena¹; Horacio Mouguelar¹; Silvana Gonzalez Sanchez¹; José Natali¹

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

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

Palabras clave:

fémur,
biomecánica,
densidad mineral,
perro

Resumen. Las propiedades biológicas y bioquímicas del tejido óseo representan el sustento de las propiedades mecánicas de los huesos. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la densidad mineral ósea del hueso fémur de perros de diferente talla, edad y sexo, evaluar el comportamiento mecánico ante las cargas de compresión en la mitad de su diáfisis y relacionar la densitología con la resistencia a la compresión. Se trabajó con huesos fémures provenientes de 30 perros mestizos adultos entre 2 y 14 años. A los huesos izquierdos se les practicó una osteotomía transversal en la parte media de la diáfisis de donde se extrajeron muestras para la prueba de compresión y otras para el análisis densitométrico. Las variables en estudio fueron sometidas a análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. Los valores promedio obtenidos fueron: cantidad mineral ósea $1,32 \text{ g} \pm 1,10$; densidad mineral ósea $0,60 \text{ g/cm}^2 \pm 0,17$; fuerza $9,32 \text{ KN} \pm 2,96$, deformación $1,11 \text{ mm} \pm 0,49$. Los fémures de animales de talla grande presentaron una resistencia significativamente mayor ante la compresión ($p=0,0124$), que aquellos provenientes de animales de talla chica. Los huesos fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia ante la compresión que aquellos provenientes de hembras ($p=0,17$). Se determinó que un incremento de la densidad mineral ósea corresponde linealmente con un aumento de su resistencia ante la prueba de compresión ($R^2=0,93$, $p < 0,0001$).

Cita sugerida: Fioretti, C., et al. 2018. Densidad mineral ósea y resistencia ante prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro. Revista Científica FAV-UNRC Ab Intus 1 (1): 50-59

Recibido: 14 de marzo 2018; aceptado: 9 de mayo 2018

*Autor para correspondencia: Cecilia Fioretti. Email: cfioretti@ayv.unrc.edu.ar. Ruta Nac. 36, Km 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Financiamiento: Este proyecto fue financiado por Secyt UNRC (Res. 331/16). PPI 2016-2018.



Bone mineral density of dog femur bone and resistance to the compression test in the middle of the diaphysis

Key words:

femur,
biomechanics,
mineral density,
dog

Abstract. The biological and biochemical properties of the bone tissue represent the sustenance of the mechanical properties of bones. The objectives of this study were to determine the bone mineral density of the femur bone of dogs of different sizes, ages and sex, to evaluate the mechanical behavior of compression loads in the middle of the diaphysis and to relate the densitology of the bones to their resistance to compression. Femur bones were obtained from 30 adult mongrel dogs between 2 and 14 years old. A transverse osteotomy was performed on the femoral bone in the middle of the shaft from where samples were taken for compression test and others for the densitometric analysis. The variables under study were subjected to descriptive and inferential statistical analyzes. The mean values obtained were: bone mineral quantity $1.32 \text{ g} \pm 1.10$; bone mineral density $0.60 \text{ g/cm}^2 \pm 0.17$; force $9.32 \text{ KN} \pm 2.96$, deformation $1.11 \text{ mm} \pm 0.49$. Femurs from large animals showed significantly greater resistance to compression ($p=0.0124$) than those from small animals. The femoral bones of male dogs presented greater resistance to compression than those obtained from females ($p=0.17$). It was determined that an increase in the bone mineral density corresponds linearly with an increase in its resistance to the compression test ($R^2 = 0.93$, $p < 0.0001$).

INTRODUCCIÓN

El hueso es capaz de adaptarse modificando sus propiedades en función del tipo de sollicitaciones a que se vea sometido (Cristofolini *et al.*, 2010; Bonneya *et al.*, 2011). El modelado del comportamiento mecánico del hueso es de alta complejidad partiendo del hecho de que su constitución, estructura y propiedades se ven afectadas por la edad, el sexo y las enfermedades del individuo. Dichas propiedades dependen de factores tales como la distribución mineral, el arreglo estructural, las variaciones entre individuos (edad, sexo, patologías, etc.) y la función mecánica del hueso del cual provenga la muestra (Nordin y Frankel, 2004; Natali *et al.*, 2008; Plischuk *et al.*, 2014). La variedad de los factores involucrados, su efecto en el comportamiento mecánico y la diversidad de métodos de evaluación de las propiedades, se han traducido en una amplia dispersión de los datos reportados, a la vez que conlleva diversas idealizaciones en su modelado (Dimitriou *et al.*, 2016).

Shires (2006) afirma que el fémur es el hueso más comúnmente asociado con fracturas traumáticas en el perro. Dentro de las fracturas de fémur, las más comunes son las fracturas diafisarias, las cuales son frecuentemente producidas por traumas (accidentes vehiculares, disparos, traumatismos romos, etc.) y en menor medida provocadas por patologías pre-

existentes (tumores esqueléticos primarios o metastásicos) (Fossum *et al.*, 1999; Latorre *et al.*, 2009). Los principales factores que determinan la resistencia del hueso frente a un trauma son su densidad mineral, geometría y microarquitectura. Fioretti *et al.*, (2011, 2013) han publicado estudios sobre comportamientos mecánicos de los huesos fémur y tibia de perros, utilizando ensayos mecánicos de impacto mediante el método de Charpy. Dichos autores determinaron que el hueso tibia de perro presenta en promedio un 45% más de resistencia al impacto que el hueso fémur, debido principalmente a su área cortical.

El 75 al 80% de la resistencia efectiva de los huesos lo justifica su densidad mineral, en este sentido la densitometría ósea permite cuantificar el contenido mineral existente en los huesos explorados. En la cuantificación de la masa ósea se utilizan varias técnicas, entre ellas, la absorciometría de energía única o doble y la tomografía computarizada cuantitativa. La absorciometría radiológica de doble energía (DEXA), es el método más ampliamente difundido (Beck, 2003; Aguiar *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2016). Para la determinación de resistencia mecánica en huesos de perro se puede utilizar el ensayo estático de compresión. Dicho ensayo permite comparar la resistencia entre huesos aportando datos acerca del estado general de los mismos ya que ellos responden a las fuerzas aplicadas sobre su superficie siguiendo

un patrón característico (Barak *et al.*, 2009; Martínez Hernández *et al.*, 2010). La determinación experimental de las propiedades mecánicas del hueso de perro es fundamental para el desarrollo de prótesis, de biomateriales sustitutos de huesos y la elaboración de un modelo extrapolable al humano. Los interrogantes acerca del comportamiento biomecánico del fémur demuestran relevancia en las áreas de morfología, patología y medicina en general, como así también en la medicina y la cirugía ortopédica del perro en particular.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la densidad mineral ósea de los huesos fémures de perros de diferente talla, edad y sexo, evaluar el comportamiento mecánico ante las cargas de compresión en la mitad de su diáfisis y relacionar la densitología con la resistencia a la compresión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron los huesos fémur extraídos de 30 perros mestizos (16 machos y 14 hembras), adultos jóvenes, destinados para docencia respetando el protocolo en el marco del proyecto "Perros derivados del ámbito privado (Veterinarias) y con indicación de eutanasia para docencia e investigación en el departamento de Anatomía" Res. N° 124/16. Los animales caninos utilizados en este estudio no presentaron alteraciones clínicamente detectables en su aparato locomotor y en su salud en general. Al tratarse de perros mestizos, la muestra se dividió en dos: perros de talla grande (t1) de 35 a 45 cm de altura y de 20 a 30 Kg y perros de talla chica (t2) de 25 a 35 cm de altura y de 10 a 20 Kg. Además se los agrupó por edad en G1: de 2 a 4 años y G2: de 5 a 14 años. La edad se determinó a través de cronología dentaria. Se les practicó eutanasia cumpliendo estrictamente con las normas institucionales previstas para el sacrificio de animales, utilizando para ello: Acepromacina, Tiopental sódico, sangrado y fijación general con formol al 3%. Las muestras se aislaron por desarticulación coxofemoral y fémorotibiopatelar. Por disección convencional se los liberó de sus partes blandas. Los procedimientos citados se llevaron a cabo en la cátedra de Anatomía Veterinaria del Departamento de Anatomía Animal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Los huesos se mantuvieron envueltos en gasa humedecida con solución fisiológica y se conservaron a -20°C hasta su montaje para la prueba de compresión. Las propiedades mecánicas del hueso cortical y trabecular no se ven afectadas por la congelación a -20°C hasta un máximo de 100 días (Reich y Gefen, 2006; Yeni *et al.*, 1998; Cerrud *et al.*, 2005). Previamente al ensayo se descongelaron los huesos en forma natural y se llevaron a temperatura ambiente. Para dicho test mecánico se extrajo una muestra cilíndrica (altura igual al diámetro) a través de un corte transversal en la mitad de la diáfisis del hueso. Se utilizó para la prueba de compresión una máquina universal de ensayos estáticos y dinámicos servohidráulica AMSLER 6PZD 1406 y se obtuvieron curvas de fuerza - deformación con 16 datos/s (8 datos de fuerza y 8 datos de deformación) (figura 1). La máquina se estandarizó bajo los siguientes parámetros: Escala de F (carga)=30 KN; Escala de L (deformación)=10 mm y Tiempo=31min.



Fig. 1. Se indica la muestra montada en la máquina de compresión

El estudio clínico de la densidad mineral ósea (DMO) de la mitad de la diáfisis del fémur aislado de perro se realizó con el método de DEXA, cuya energía es producida por una fuente de rayos X. La unidad de medida de la DMO se interpreta como gramos de contenido mineral óseo (hidroxiapatita de calcio) por área en cm^2 . El presente estudio de densitome-

tría mineral ósea se realizó en el Instituto Médico Río Cuarto, el cual cuenta con equipamiento de última generación para realizar densitometrías óseas. El software del equipo fue preparado y calibrado en función de la muestra a analizar para la obtención de la cantidad mineral ósea (CMO) y DMO. Una vez tabulados los datos, las variables en estudio fueron analizadas mediante estadística descriptiva (medidas resumen, gráficos de barras) e inferencial (correlación de Pearson y regresión lineal simple) con la utilización del programa estadístico InfoStat® versión 2009, bajo licencia de la FCA de la UNC, Argentina.

N° Perro	Fuerza (KN)	Deformación (mm)
1	9,24	1,41
2	9,52	0,89
3	14,82	0,84
4	7,34	1,19
5	10,90	0,89
6	5,46	2,36
7	8,46	1,17
8	12,14	1,24
9	6,8	1,59
10	8,24	1,27
11	8,29	1,35
12	5,95	2,88
13	10,50	0,86
14	9,41	0,72
15	9,30	0,60
16	15,19	0,69
17	8,20	1,05
18	15,05	0,89
19	15,19	0,7
20	5,50	0,68
21	7,64	0,85
22	5	0,67
23	7,62	0,83
24	10,05	1,23
25	9,90	0,95
26	9,50	0,89
27	8,20	1,15
28	12,50	1,25
29	5,1	0,68
30	8,7	1,53
Media	9,32	1,11
D.E.	2,96	0,49

Tabla 1. Valores de resistencia y deformación, con sus medias y desvíos estándar. Fémur izquierdo (n = 30).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados individuales de los ensayos mecánicos de compresión del fémur izquierdo. Los valores de resistencia se expresan en KiloNewton (KN) para la fuerza y en milímetros (mm) para la deformación.

En la tabla 2 se muestran las propiedades densitométricas en la parte media de la diáfisis del hueso fémur izquierdo, observándose la CMO expresada en g y la DMO en g/cm².

N° Perro	CMO	DMO
	Hueso fémur (g)	Hueso fémur (g/cm ²)
1	0,09	0,457
2	3,34	0,884
3	0,11	0,522
4	2,84	0,827
5	2,38	0,778
6	0,06	0,332
7	2,49	0,558
8	1,96	0,750
9	1,59	0,462
10	0,08	0,429
11	0,08	0,509
12	1,72	0,557
13	1,98	0,559
14	0,07	0,405
15	0,10	0,490
16	1,95	0,690
17	2,90	0,790
18	1,95	0,884
19	2,37	0,885
20	0,11	0,520
21	0,15	0,510
22	0,90	0,640
23	0,06	0,383
24	2,30	0,790
25	1,52	0,565
26	0,19	0,523
27	1,98	0,450
28	1,99	0,82
29	0,07	0,454
30	2,30	0,623
Media	1,32	0,60
D.E.	1,10	0,17

Tabla 2. Propiedades densitométricas de los fémures izquierdos (n = 30).

En la figura 2 se muestra una curva de fuerza-deformación representativa de los resultados obtenidos a partir de los resultados mecánicos. Se observó en ella la representación gráfica de la respuesta mecánica a la compresión del hueso fémur izquierdo N°15 proveniente de un animal hembra de talla chica y 2 años de edad. La curva muestra en la región elástica lineal una pendiente importante, demostrando la ri-

gidez estructural del hueso. Se observó que el punto de transición entre la región elástica y la región plástica de la curva, en el cual se incluye el límite elástico aparente, se encuentra aproximadamente cuando la aplicación de la fuerza (carga) es de 9,49 KN, acompañado por una deformación de 0,65 mm.

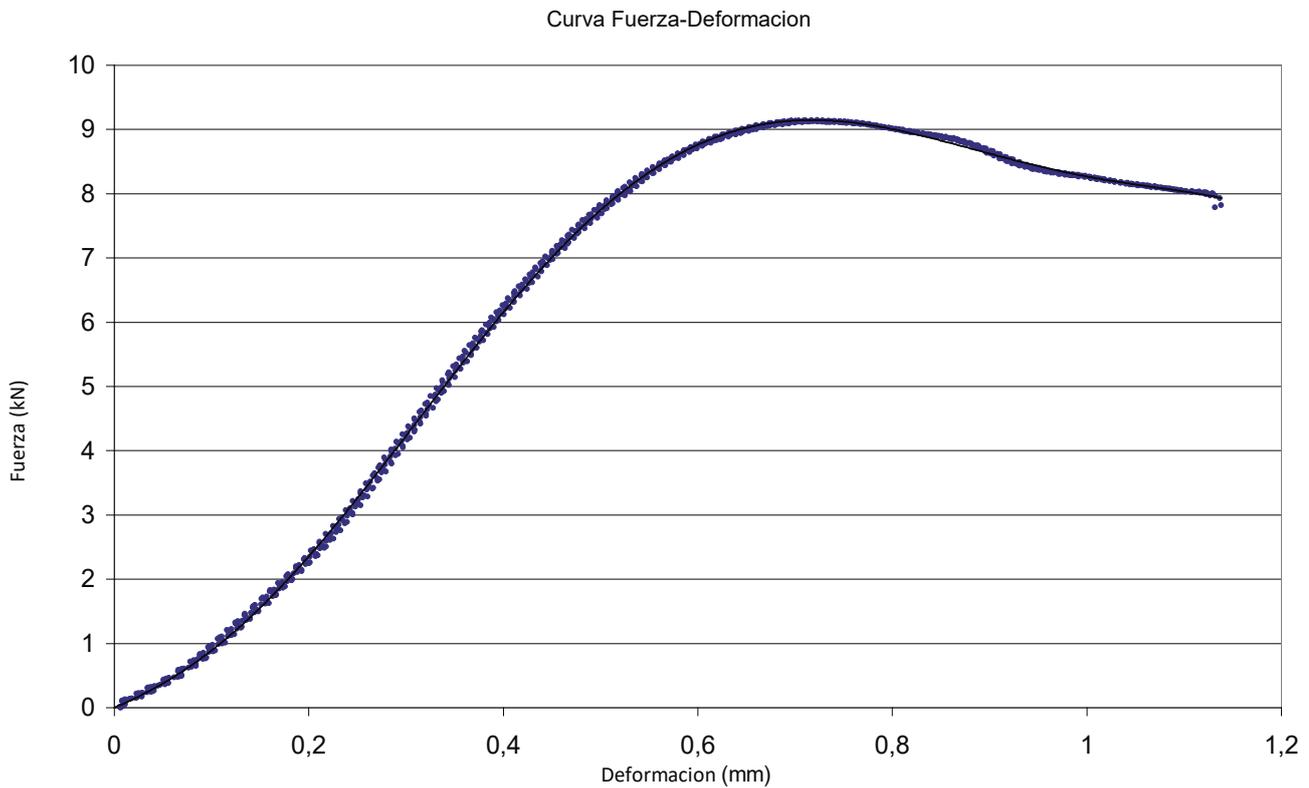


Fig. 2. Curva de fuerza - deformación del hueso fémur N° 15.

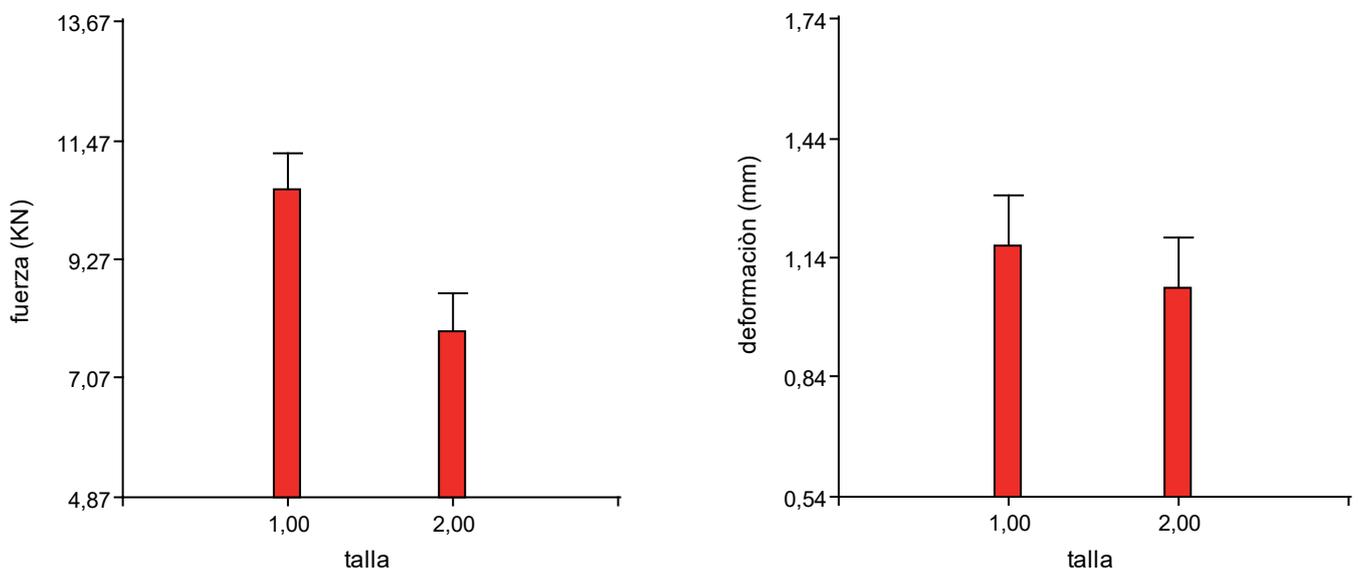


Fig. 3. Gráfico de barras de talla vs. fuerza y talla vs. deformación del hueso fémur (n=30). *Diferencias significativas ($P < 0,05$)

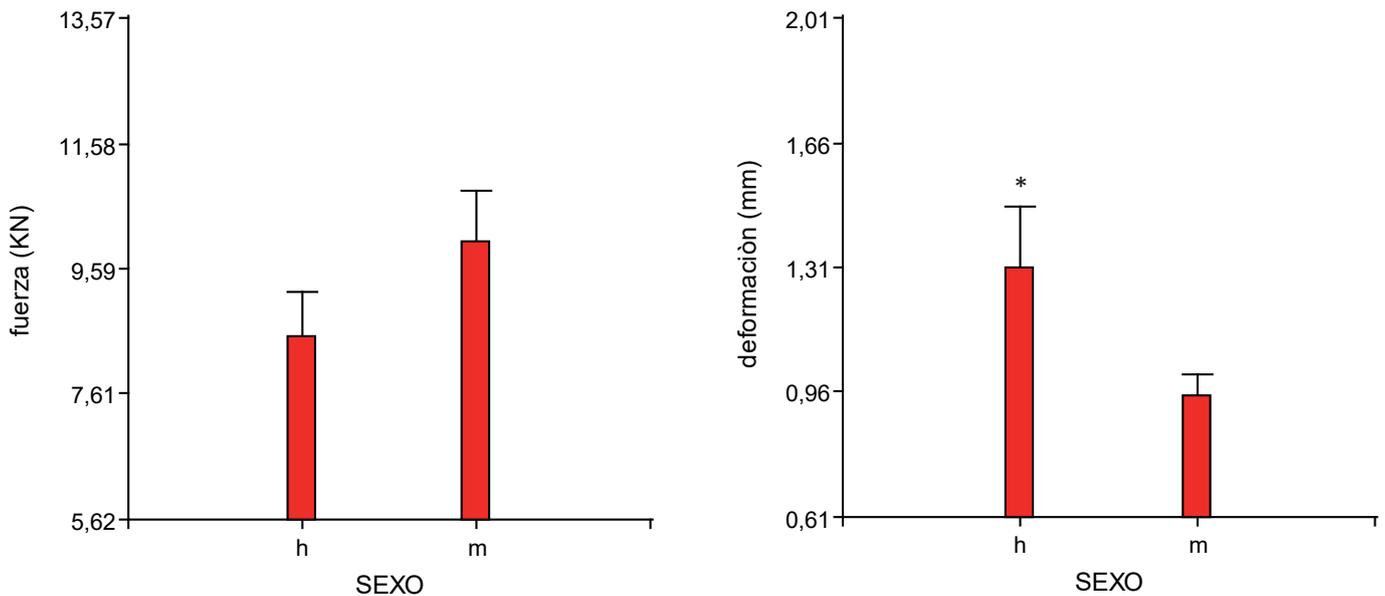


Fig. 4. Gráfico de barras de sexo vs. fuerza y sexo vs. deformación del hueso fémur (n=30).
*Diferencias significativas ($P < 0,05$)

En las figuras 3 y 4 se muestra la influencia que ejercen las variables talla y sexo sobre la fuerza y la deformación 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 mayor resistencia promedio ante la compresión que aquel que proviene de animales de talla chica ($p=0,0124$). Mientras que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la deformación del hueso con un $p=0,56$ (figura 3). Se observó que los fémures provenientes de perros machos presentan una mayor resistencia promedio ante la compresión que aquellos que provienen de hembras ($p=0,17$), mientras que en las hembras se observa una mayor deformación de los huesos con un $p=0,04$ (figura 4).

Para la variable edad, se halló que los fémures provenientes de animales de G1 (de 2 a 4 años) presentaron una DMO promedio de $0,604 \text{ g/cm}^2$, mientras que los fémures de animales de G2 (de 5 a 10 años) presentaron una DMO promedio de $0,642 \text{ g/cm}^2$. El análisis estadístico correspondiente a la fuerza del

fémur versus la edad del animal muestra un coeficiente de correlación de Pearson de $r=0,71$ y para la deformación del fémur versus la edad, el coeficiente de Pearson es de $r=0,73$.

El análisis de regresión lineal de la fuerza versus la DMO de la diáfisis del hueso fémur, muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0,93, lo cual evidencia que la variable respuesta es explicada en un 93% por la variable regresora, es decir la DMO explica en un 93% a la fuerza. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significación del 5%. Por otro lado, el análisis de regresión lineal de la deformación versus la DMO de la diáfisis del hueso fémur, muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0,75, lo que evidencia que en los 30 huesos fémures estudiados la DMO explica en un 75% a la deformación. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significación del 5%. En las figuras 5 y 6 se muestran las rectas de regresión de las variables fuerza y deformación versus DMO.

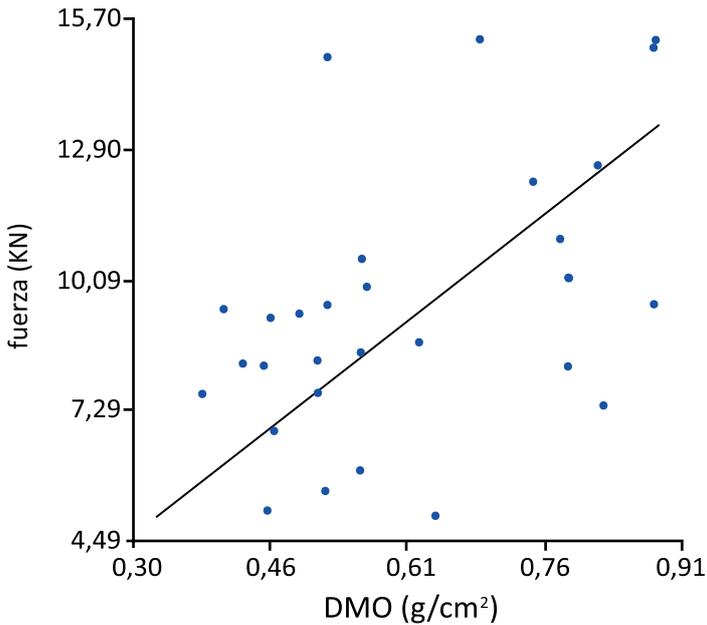


Fig. 5. Recta de regresión de la fuerza del fémur versus DMO (n=30)

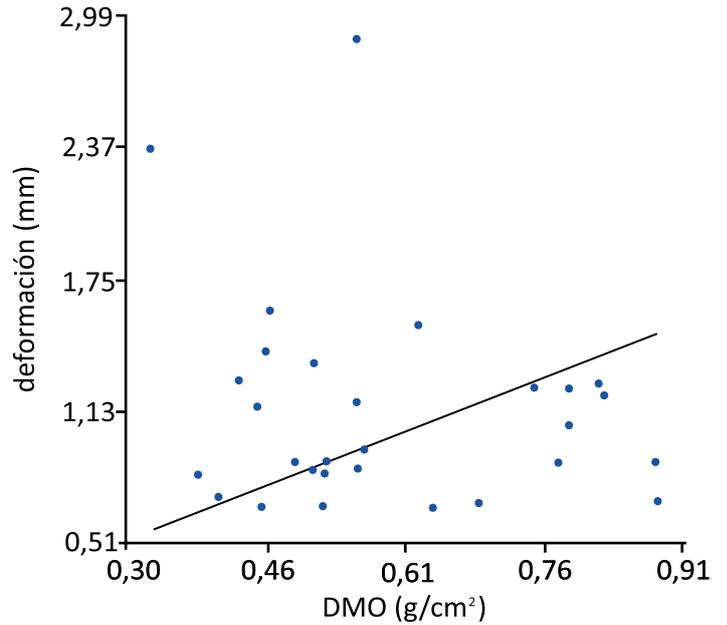


Fig. 6. Recta de regresión de la deformación del fémur versus DMO (n=30).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

En la evaluación de un material biológico el control de los factores in vivo es complejo, cuando se realizan estas evaluaciones in vitro, existen factores que intervienen afectando en alguna medida las pruebas mecánicas. La configuración geométrica de muestras para el ensayo de compresión puede ser cilíndrica o cúbica. En este caso se trabajó con muestras cilíndricas en la mitad de la diáfisis del fémur. La fuerza que soportó dicha muestra ante una carga de compresión fue, en promedio, de $9,32 \text{ KN} \pm 2,96$. Estos valores son superiores a los encontrados por Natali *et al.*, (2008), quienes compararon la resistencia del fémur entero aislado de perro con el fémur contralateral que se le había aplicado una placa ortopédica de polipropileno. Dichos autores obtuvieron como resultado que el fémur derecho soportó antes de la falla, una carga promedio de $6,66 \text{ KN}$ con una deformación de $3,66 \text{ mm}$, mientras que el conjunto fémur izquierdo + placa ortopédica soportó una carga de $4,49 \text{ KN}$, con una deformación de 3 mm . La mayor resistencia a la compresión en la mitad de la diáfisis del fémur de perro hallado en nuestro trabajo, respecto a los valores hallados por Natali *et al.*, (2008) es esperable dado que, las muestras sometidas a prueba de compresión en nuestro trabajo son de menor longitud.

Fioretti *et al.*, (2011), demostraron que la resistencia del hueso fémur de perro, sometido a prueba de impacto, depende linealmente del área cortical y no existen diferencias en la resistencia bajo influencia de la edad y el sexo. En este trabajo, si tomamos la muestra de los fémures N° 2 y N° 22 provenientes de perros de igual sexo y edad (machos de 10 años), pero teniendo diferencias significativas en los valores de espesor y área cortical tomados en la mitad de la diáfisis, presentaron una resistencia a la compresión de $9,52 \text{ KN}$ y 5 KN , respectivamente. Ante estos resultados, se podría inferir que este comportamiento hallado en la resistencia de ambas muestras se debe a la DMO presentada por ambos huesos, donde el fémur N° 2, presentó $0,884 \text{ g/cm}^2$, en cambio el valor hallado en el fémur N° 22 fue de $0,640 \text{ g/cm}^2$, por lo cual sugiere que es menos resistente. Caeiro *et al.*, (2013), demostraron que el grosor y el diámetro del hueso cortical son los principales factores que afectan la biomecánica del hueso. Coincidimos con Currey (1984), en que el aumento de la corteza se puede atribuir a la adaptación de las cargas de tensión y compresión, que mejoraría la resistencia del hueso. Tras los resultados obtenidos en este trabajo se puede inferir que la densidad mineral ósea es un factor relevante que contribuye a otorgar resistencia al hueso ante carga de compresión.

sión. Un incremento de la DMO provoca un aumento de la resistencia ósea.

Un hueso largo se puede modelar como un cuerpo cilíndrico, y según las leyes básicas de la mecánica, la resistencia a la deformación de cualquier cuerpo cilíndrico sometido a una fuerza es directamente proporcional a su diámetro. También, el grosor de la región cortical y la cantidad de masa ósea están estrechamente relacionados, de manera que, con una masa ósea constante, una variación en su distribución modifica también la resistencia del hueso. Dicha resistencia está dada por su composición material y como se observa en este trabajo, es el resultado de la interacción de la cantidad y la calidad ósea.

Coincidiendo con Beck (2003), se pueden analizar las características morfológicas de los huesos y su correlación en diferentes regiones anatómicas, determinadas mediante la DEXA, por la cual se cuantifica la cantidad mineral ósea. Es reconocido que DMO determinada por DEXA podría tener un alto valor predictivo en relación con la resistencia del hueso, basado en la alta correlación (valor de r superior a 0,9 o más) existente entre esas dos variables. En este trabajo hemos determinado que un incremento de la DMO del fémur se corresponde linealmente con un aumento de su resistencia ante la prueba de compresión ($R^2= 0,93$, $p < 0,0001$). La correlación obtenida in vivo entre DMO y resistencia ósea no siempre es lineal en humanos, hay pacientes con fractura típica por fragilidad ósea con valores de DMO fuera del intervalo de osteoporosis, por lo cual el riesgo de fracturas no depende exclusivamente de esta variable. Se deben considerar entonces otros factores relacionados con la calidad ósea que justifiquen la pérdida o ganancia de resistencia del hueso (Wang *et al.*, 2016).

En este trabajo se observa que existen diferencias en la resistencia del hueso fémur entre perros de diferentes tallas. Los huesos que se extraen de animales de talla grande presentaron una mayor fuerza promedio ante la compresión que los huesos de animales de talla chica ($p= 0,0124$). Estos resultados coinciden con los de Fioretti *et al.*, (2013), quienes realizaron pruebas de impacto en tibias de perros utilizando los mismos parámetros de medidas. Di-

chos autores, determinaron en aquella oportunidad que existen diferencias significativas en la resistencia del hueso entre las distintas tallas de perro, donde las tibias de animales de talla grande presentaron una mayor resistencia frente al impacto respecto a huesos de animales de talla chica ($p= 0,0168$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la deformación que soportan los huesos que se extraen de animales de talla grande y talla chica ($p= 0,56$).

Respecto al sexo, los huesos fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia promedio ante la prueba de compresión que los huesos provenientes de hembras ($p=0,17$), estos resultados concuerdan con los de Fioretti *et al.*, (2013), quienes observaron que las tibias de perros machos presentaron una resistencia levemente superior que aquellas tibias de hembras ($p=0,18$). Respecto a la deformación del fémur ante la prueba de compresión, los huesos fémures de las hembras presentaron una mayor deformación promedio que los huesos provenientes de los machos ($p=0,04$). También, Panagiotopoulos *et al.*, (2005), consideraron al sexo como factor que puede influir en la resistencia ósea a la ruptura.

Respecto a la edad, los fémures de animales del grupo 2 presentaron una DMO del 6% mayor respecto a los fémures de animales del grupo 1. Además, en el 71% de los huesos, al aumentar la edad aumenta la resistencia a la compresión (aclarando que son todos animales adultos entre 2 y 14 años) y muestran mayor deformación ante la compresión en un 73%.

Se concluye que un incremento de la densidad mineral ósea se corresponde linealmente con un aumento de la resistencia del hueso ante la prueba de compresión. Además, existen diferencias en la resistencia del hueso entre fémures de perros de diferentes tallas ante la aplicación de la prueba de compresión, la resistencia del fémur en perros de talla grande es mayor que en aquellos de talla chica. En los perros machos, la resistencia del fémur ante la prueba de compresión es mayor que en las hembras. Se encontraron similitudes de estos resultados con los trabajos realizados previamente en hueso tibia.

Tras los resultados de este trabajo se demuestra la importancia de las propiedades estructurales y densitométricas como factores determinantes a la hora de evaluar la resistencia del hueso ante una prueba de compresión.

AGRADECIMIENTOS: al personal técnico del área de diagnóstico por imágenes del Instituto Médico Río Cuarto.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, A.C.S.; Machado, V.M.V.; Santos, R. V.; Puoli Filho, J.N.P.; Mota, M.D.S. Vulcano, L.C. 2012. Estudo da correlação da densitometria óssea e do perímetro diafisário medial do terceiro metacarpiano em equinos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 64(4): 1065-1069.
- Barak, M.M.; Sharir, A.; Shahar, R. 2009. Optical metrology methods for mechanical testing of whole bones. *The Veterinary Journal*. 180: 7-14.
- Beck, T. 2003. Measuring the structural strength of bones with dual-energy X-ray absorptiometry: principles, technical limitations and future possibilities. *Osteoporosis International*. 14 -5-: 81-88.
- Bonneya, H.; Colston B.J.; Goodman, A.M. 2011. Regional variation in the mechanical properties of cortical bone from the porcine femur. *Medical Engineering & Physics*. 33 (4): 513-520.
- Caeiro, J.R.; González, P.; Guede, D. 2013. Biomecánica y hueso (II): Ensayos en los distintos niveles jerárquicos del hueso y técnicas alternativas para la determinación de la resistencia ósea. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*. 5 (2): 99-108.
- Cerrud, S.M.; Narváez M.Y.; Muñoz González, V.; Schouwenaars, R. 2005. Modelado del comportamiento mecánico del hueso (Análisis de los efectos del grado de hidratación). *Ingeniería Mecánica. Tecnología y desarrollo*. 1(6): 223 – 232.
- Cristofolini, L.; Conti, G.; Juszczak, M.; Cremonini, S.; Van Sint Jan, S.; Viceconti, M. 2010. Structural behaviour and strain distribution of the long bones of the human lower limbs. *Journal of Biomechanics*. 43: 826–835.
- Currey, J.D. 1984. The mechanical properties of materials and the structure of bone. In: *The Mechanical Adaptation of Bone*. Princeton, University Press, p. 3-37.
- Dimitriou, D.T.; Tsai, B.; Yue, H.E.; Rubash, Y.; Kwon, G. L. 2016. Side-to-side variation in normal femoral morphology: 3D CT analysis of 122 femurs. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*. 102 (1): 60.
- Fioretti, C.; Galán, A.; Moine, R.; Varela, M.; Varela, P.; Mouguelar, H.; Gigena, S.; Bonino, F.; Quinteros, R.; Natali, J. 2013. Características mecánicas dinámicas de la tibia aislada de perro sometida a prueba de impacto. *International Journal of Morphology*. 31 (2): 562-569.
- Fioretti, C.; Natali, J.; Galán, A.; Rivera, M. C.; Moine, R.; Varela, P.; Varela, M.; Bonino, F.; Quinteros, R. 2011. Características Mecánicas Dinámicas Del Fémur Aislado de Perro, Sometido Prueba de Impacto. *International Journal of Morphology*. 29 (3): 716-722.
- Fossum, T.W.; Hedlund, Ch.S.; Johnson, A.L.; Schulz, K.S.; Seim, III H.B.; Willard, M.D.; Bahr, A., Carroll, G.L. 1999. Cirugía en pequeños animales. Editorial Inter Médica, p. 916-936.
- Latorre, R.; Gil, F.; Climent, S.; López, O.; Henry, R.; Ayala, M.D.; Ramírez, G.; Martínez, F.; Vázquez, J. 2009. Atlas en color sobre abordajes quirúrgicos a huesos y articulaciones en el perro y gato. Editorial Inter Médica, p. 142-203.
- Martínez Hernández, D.; Cisneros Hernández, R.; Ortiz Prado, A. 2010. Métodos de pruebas mecánicas en tejido óseo. *Memorias del XVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*. Monterrey, México, p. 1-9. ISBN:978-607-95309-3-8.
- 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 of Morphology*. 26 (4): 791-797.
- Nordin M., Frankel V.H. 2004. *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. Madrid. McGraw-Hill Interamericana. 3ª Edición. Cap. 1 y 2, p. 5-150.

Panagiotopoulos, E.; Kostopoulos, V.; Tsantzas, S.; Fortis A.P.; Doulalas A. 2005. Impact energy absorption by specimens from the upper end of the human femur. *Injury*. 36(5): 613-617.

Plischuk, M.; Inda, A.M.; Errecalde A.L. 2014. Modificaciones de la estructura ósea del fémur proximal. Análisis de una muestra esquelética. *Revista Argentina de Radiología*. 78(1): 42-48.

Reich, T. y Gefen, A. 2006. Effect of trabecular bone loss on cortical strain rate during impact in an in Vitro model of avian femur. *Bio Medical Engineering On Line*.5 (1): 45-54.

Shires, P. 2006. Fractures of the Femur Saunders Manual of Small Animal Practice. (3 Edition). Cap. 109, p.1123-1133.

Wang, Z.X.; Lloyd, A.; Burket, J.; Gourion-Arsiquaud, S.; Donnelly, E. 2016. Altered distributions of bone tissue mineral and collagen properties in women with fragility fractures. *Bone*. 84: 237-244.

Yeni, Y.N.; Brown, C.U.; Wang, Z.; Norman, T.L. 1998. The influence of bone morphology on fracture toughness of the human femur and tibia. *Bone*.21 (5): 453-459.