



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

Determinación de las propiedades estructurales y mecánicas del fémur de caninos (*Canis lupus familiaris*) a través de ensayos experimentales de compresión.

**MOREIRA RODRIGUEZ JORGE LUIS
MEDICO VETERINARIO**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

**Determinación de las propiedades estructurales y mecánicas del
fémur de caninos (*Canis lupus familiaris*) a través de ensayos
experimentales de compresión.**

**MOREIRA RODRIGUEZ JORGE LUIS
MEDICO VETERINARIO**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Determinación de las propiedades estructurales y mecánicas del
fémur de caninos (*Canis lupus familiaris*) a través de ensayos
experimentales de compresión.**

**MOREIRA RODRIGUEZ JORGE LUIS
MEDICO VETERINARIO**

PIMBOSA ORTIZ DIOSELINA ESMERALDA

**MACHALA
2025**



TESIS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MECANICAS DEL FERMUR DE CANINOS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN - JORGE MOREIRA (1)

1%
Textos
sospechosos

< 1% Similitudes

0% similitudes
entre comillas

0% entre las
fuentes
mencionadas

1% Idiomas no
reconocidos

Nombre del documento: TESIS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MECANICAS DEL FERMUR DE CANINOS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN - JORGE MOREIRA (1).pdf	Depositante: DIOSELINA ESMERALDA PIMBOSA ORTIZ	Número de palabras: 3661
ID del documento: 53e29cca098d09bb50c2a2754dc34486335fdfaf	Fecha de depósito: 17/6/2025	Número de caracteres: 22.914
Tamaño del documento original: 376,86 kB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 17/6/2025	

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuente con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dx.doi.org Características de las fracturas en huesos largos apendiculares en pa... http://dx.doi.org/10.20453/stv.v5i2.3250	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MOREIRA RODRÍGUEZ JORGE LUIS, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Determinación de las propiedades estructurales y mecánicas del fémur de caninos (*Canis lupus familiaris*) a través de ensayos experimentales de compresión, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MOREIRA RODRÍGUEZ JORGE LUIS

0706542099

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi madre, Martha Rodríguez por ser la persona más importante en mi vida, siempre me ha apoyado en todas mis decisiones y el estar el día de hoy en este momento se lo debe mucho a mi amada madre. Te amo madre. A mis abuelitos Dolores Tenezaca y Manuel Rodríguez que desde mi crianza me enseñaron de valores y siempre estuvieron a mi lado. A mis hermanos Diego Rodríguez y María Rodríguez.

A mi amada Juleysi Japon, que me ha ayudado a ser mejor persona y profesional hasta el día de hoy, sin ti no pude haber llegado a esta meta.

Y a mi fiel compañera, Manchas, la razón de ser veterinario fue porque llegaste a mi vida, este logro también te lo dedico a ti, gracias por estar a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos mis seres queridos, quienes han sido un apoyo constante en mi vida, desde la niñez hasta el presente. A mis docentes, que con sus enseñanzas me ayudaron a formarme como estudiante y como futuro profesional.

A mi tutora, la doctora Esmeralda Pimbosa, por darme la oportunidad de desarrollar este tema de tesis, por su guía permanente y por hacer posible la culminación de este trabajo. A la doctora Lorena Zapata, por su respaldo y ayuda en todo el proceso, sin la cual no habría alcanzado estos resultados.

También agradezco al doctor Angel Sánchez por su acompañamiento en la elaboración de este trabajo, apoyándome en las correcciones y orientándome en cada etapa. Finalmente, al ingeniero Paul Cabrera, por su colaboración en el manejo del equipo de mampuesto de compresión de la Facultad de Ingeniería Civil.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar las propiedades geométricas y mecánicas del hueso fémur en caninos, mediante la caracterización morfológica, estructural y la evaluación del comportamiento frente a compresión axial. Se estudiaron 32 fémures provenientes de 16 perros de distintas edades, sexos y tamaños, diferenciando también el tipo de fractura resultante tras los ensayos. Para ello, se tomaron mediciones de longitud, área transversal y se aplicaron cargas controladas en una prensa de mampuestos del laboratorio de la FIC.

Los resultados como media general muestran que en promedio los fémures midieron como 14,98 cm de longitud, con un área transversal de 4,39 cm². La fuerza media soportada fue de 0,43 kN, la resistencia específica fue de 11,69 kg/cm², y la deformación promedio fue de 0,37 mm. Se observó que los perros pequeños, a pesar de su baja fuerza absoluta, presentaron alta resistencia relativa y deformabilidad. En contraste, los perros grandes mostraron menor resistencia por unidad de área y menor elasticidad, siendo más propensos a fracturas bajo impactos directos. El grupo de tamaño mediano fue biomecánicamente el más equilibrado. Las hembras demostraron mayor uniformidad estructural, mientras que los machos presentaron más dispersión en los resultados.

Los patrones de fractura más frecuentes fueron de tipo oblicuo largo en la diáfisis media. En los animales jóvenes, se identificaron fracturas tipo Salter Harris, vinculadas a fisis abiertas. Estos hallazgos son relevantes para la ortopedia veterinaria, ya que permiten establecer relaciones entre la morfología ósea, la edad, el tamaño corporal y la resistencia del hueso, siendo importante para la elaboración de futuras prótesis.

Palabras claves: Fémur canino, ensayo de compresión, propiedades biomecánicas, resistencia ósea, elasticidad ósea.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the geometric and mechanical properties of the canine femur, through morphological and structural characterization and the evaluation of its behavior under axial compression. Thirty-two femurs from 16 dogs of different ages, sexes, and sizes were studied, also differentiating between the types of fractures resulting from the tests. To this end, length and cross-sectional area measurements were taken, and controlled loads were applied in a masonry press at the FIC laboratory.

The results show that the femurs measured an average of 14.98 cm in length, with a cross-sectional area of 4.39 cm². The average force supported was 0.43 kN, the specific strength was 11.69 kg/cm², and the average deformation was 0.37 mm. It was observed that the small dogs, despite their low absolute strength, exhibited high relative strength and deformability. In contrast, large dogs showed lower strength per unit area and less elasticity, being more prone to fractures under direct impacts. The medium-sized group was the most biomechanically balanced. Females demonstrated greater structural uniformity, while males showed more dispersion in the results.

The most frequent fracture patterns were long oblique fractures in the midshaft. In young animals, Salter Harris-type fractures were identified, associated with open physes. These findings are relevant to veterinary orthopedics, as they allow for establishing relationships between bone morphology, age, body size, and bone strength, which is important for the development of future prostheses.

Keywords: Canine femur, compression test, biomechanical properties, bone strength, bone elasticity.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivos	11
1.1.1. Objetivo General	11
1.1.2. Objetivos Específicos	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Biomecánica De Huesos.....	13
2.2. Fuerzas	13
2.2.1. Fuerzas de compresión:	13
2.2.2. Fuerzas de tracción:.....	14
2.2.3. Fuerzas de flexión:	14
2.2.4. Fuerzas de cizallamiento:	14
2.2.5. Fuerzas de torsión:	14
2.3. Anatomía del Fémur.....	14
2.4. Características Generales Del Hueso	14
2.5. Parámetros De Calidad Ósea	15
2.6. Fractura.....	15
2.6.1. Implicación de los tejidos blandos	16
2.6.1.1. Fracturas cerradas.....	16
2.6.1.1. Fracturas abiertas.....	16
2.6.2. Número De Fragmentos	16
2.6.2.1. Fractura simple	16
2.6.2.2. Fractura múltiple	17
2.6.2.3. Fractura conminuta.....	17
2.6.3. Mecanismos Elementales De Fractura	17
2.6.3.1. Fracturas por flexión	17
2.6.3.2. Fracturas por rotación.....	17

2.6.3.3. Fracturas por cizallamiento	17
2.6.3.4. Fracturas por compresión	17
2.6.3.5. Fracturas por tracción.....	17
2.7. Fracturas Mas Frecuentes.....	17
2.8. Fémur Sometido A Distintas Fuerzas.....	19
2.9. Importancia de la biomecánica para el uso de futuro de prótesis en medicina veterinaria	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Materiales	21
3.1.1. Localización del estudio.....	21
3.1.2. Población y muestra	22
3.1.3. Equipos y materiales	22
3.1.4. Variables.....	23
3.2. Medición De Variables.....	23
3.2.1. Edad.....	23
3.2.2. Sexo.....	23
3.2.3. Tamaño.....	23
3.2.4. Resistencia máxima de compresión	23
3.3. Metodología De Campo	23
3.3.1. Protocolo de medición de fémur	23
3.3.2. Compresión mecánica fémur.....	24
3.4. Análisis Estadístico	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Caracterización de las propiedades geométricas y estructurales del hueso fémur de caninos mediante técnicas de medición.....	26
4.2. Análisis de los resultados experimentales obtenidos del comportamiento mecánico del hueso fémur de caninos bajo compresión, para identificar los factores que afectan su resistencia, deformación y capacidad de soportar cargas.....	27

4.2.1. Influencia de la edad.....	27
4.2.1.1. Fuerza	27
4.2.1.2. Deformación.....	28
4.2.1.3. Rotura	29
4.2.2. Influencia del sexo.....	30
4.2.2.1. Fuerza	30
4.2.2.2. Deformación.....	30
4.2.2.3. Rotura	31
4.2.3. Influencia del tamaño	31
4.2.3.1. Fuerza	31
4.2.3.2. Deformación.....	32
4.2.3.3. Rotura	32
4.3 Evaluación de la resistencia del fémur aplicando fuerzas controladas, módulo elástico y límite de fractura, utilizando el equipo de compresión de los mampuestos de la FIC.	33
4.3.1 Fuerza	33
4.3.2 Deformación.....	33
4.3.3 Rotura	34
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales de los fémures caninos.....	26
--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la facultad de Ingeniería Civil.....	22
Figura 2. Promedio de fuerza según la edad	27
Figura 3. Promedio de deformación según la edad	28

Figura 4. Promedio de rotura según la edad.....	29
Figura 5. Promedio de fuerza según el sexo.....	30
Figura 6. Promedio de deformación según el sexo	30
Figura 7. Promedio de rotura según el sexo	31
Figura 8. Promedio de fuerza según el tamaño	31
Figura 9. Promedio deformación según el tamaño.....	32
Figura 10. Promedio de rotura según el tamaño.....	32
Figura 11. Promedio de fuerza según los fémures caninos	33
Figura 12 Promedio de deformación según los fémures caninos.....	34
Figura 13. Promedio de rotura según los fémures caninos	34

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Extracción de fémur en canino	46
Anexo 2. Disección de músculo restante en fémur	46
Anexo 3. Equipo de compresión de mampuestos.....	46
Anexo 4. Laboratorio de comportamiento de materiales de la FIC	46
Anexo 5. Medición de fémur.....	46
Anexo 6. Colocación de fémur en equipo de compresión.....	47
Anexo 7. Medición de fémur en su límite elástico.....	47
Anexo 8 Fémur sometido a compresión.....	47
Anexo 9. Medición de fuerza de compresión en fémur	47
Anexo 10. Fractura oblicua en fémur.....	47

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades estructurales y mecánicas de los huesos es importante para comprender su biomecánica, que se describe como el comportamiento mecánico del tejido óseo sometido ante diversas cargas y esfuerzos.

El fémur siendo considerado como el hueso principal de la extremidad posterior debe soportar cargas significativas durante las actividades cotidianas del animal. Por lo que es importante el analizar su comportamiento bajo condiciones de compresión, lo cual aporta datos relevantes tanto para la medicina veterinaria y la ingeniería biomédica.

Sin embargo, en el Ecuador no se ha elaborado aún un ensayo de compresión y no hay datos que proporcionen información. En la determinación de las propiedades mecánicas del tejido óseo en caninos existe datos bibliográficos que aún no están del todo claro y el estudio de las propiedades tanto morfológicas como biomecánicas del fémur nos ayudaría tanto en el interés fisiológico, patológico, traumatológico y ortopédico. Sin embargo, la falta de conocimiento profundo de las propiedades estructurales y mecánicas del hueso afectado, se complica el tratamiento traumatológico e incluso con pérdidas funcionales del miembro afectado. (1)

El estudio de determinación experimental de las propiedades mecánicas del hueso de caninos nos ayuda a la elaboración de prótesis personalizadas, requiriendo datos confiables obtenidos en estudios experimentales. Siendo un trabajo en el que se puede lograr un modelo extrapolable al humano, y al mismo tiempo fortalecer la capacidad de los veterinarios locales para enfrentar de manera efectiva los casos de comportamiento biomecánico del fémur, demostrando la relevancia en las áreas de traumatología, ortopedia, morfología, patología y medicina en general. (2)

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar las propiedades estructurales y mecánicas del fémur de caninos a través de ensayos experimentales de compresión.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades geométricas y estructurales del hueso fémur de caninos mediante técnicas de medición y análisis previo al ensayo de compresión.

- Analizar los resultados experimentales obtenidos del comportamiento mecánico del hueso fémur de caninos bajo compresión, para identificar los factores que afectan su resistencia, deformación y capacidad de soportar cargas.
- Realizar ensayos de compresión en muestras de fémur canino, aplicando fuerzas controladas para evaluar su resistencia, módulo elástico y límite de fractura, utilizando el equipo de compresión de los mampuestos de la FIC.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Biomecánica De Huesos

El esqueleto es por definición una estructura mecánica y su función primaria es transmitir fuerzas de unas partes del cuerpo a otras y proteger ciertos órganos de aquellas fuerzas que pudieran dañarlos. (3)

La biomecánica se la define como la ciencia que se encarga de estudiar y analizar los movimientos que puede realizar el animal dentro de sus límites que tienen en su estructura anatómica, por lo que los huesos antes de romperse atraviesan primero por una fase elástica, plástica hasta que ocurre la fractura. Tanto las propiedades, estructura y factores mecánicos son los que determinan la resistencia y rigidez del hueso. (4)

Imbago (2021) indica que la biomecánica del hueso nos ayuda a entender los fenómenos mecánicos y cinemáticos que actúan sobre los sistemas musculares y esqueléticos de los canes, ya que estos son los responsables del movimiento, equilibrio, resistencia y de las repercusiones de las acciones físicas que son ejercidas en estos sistemas, esta biomecánica nos demuestra la causa de la fractura. (5)

2.2. Fuerzas

El hueso al encontrarse sometido ante fuerzas se puede encontrar en dos regiones las cuales son: zona elástica y plástica. En la región elástica el hueso a pesar de verse sometido ante una fuerza puede volver a su forma normal, mientras que en la zona plástica se encontrará deformado, aunque ya no se le siga ejerciendo fuerza, sin embargo, una vez haya pasado esta barrera se procederá a fracturarse, y esto se lo puede ver expresado mediante el módulo de Young. (6)

El hueso cortical al poseer un mayor módulo elástico es capaz de soportar una alta carga de fuerza, por lo que posee un bajo índice de deformación y sea más rígido, pero en el caso del hueso trabecular soporta una menor carga y esto conlleva a que posea un mayor índice de deformación, es decir posea más flexibilidad. (7)

2.2.1. Fuerzas de compresión: Son dos fuerzas iguales, pero a su vez opuestas que tiene como tienden acortar y ensanchar el hueso. (8)

2.2.2. Fuerzas de tracción: Son dos fuerzas iguales en direcciones opuestas que provocan el alargamiento y estrechamiento del hueso. (8)

2.2.3. Fuerzas de flexión: La flexión sucede cuando una fuerza aplicada hace que el hueso se doble sobre su eje mayor, generando compresión en el lado de aplicación y tracción en el lado opuesto. (8)

2.2.4. Fuerzas de cizallamiento: Se aplican de manera perpendicular al eje del hueso, siendo fuerzas paralelas en sentidos contrarios, provocando desplazamientos internos. (8)

2.2.5. Fuerzas de torsión: Es la fuerza que hace rotar el hueso alrededor de su eje, pero en sentido contrario en cada extremo. (8)

2.3. Anatomía del Fémur

El muslo está constituido por el fémur que es el hueso que se articula proximal con el acetábulo y distal con la rótula y tibia. La rótula es un hueso corto que se articula con la tróclea del extremo distal del fémur. (9)

El fémur es considerado como el hueso más grande y con mayor resistencia del cuerpo, ya que este es el soporte principal del organismo. En su extremo superior se encuentra la cabeza femoral, la cual se caracteriza por su forma de esfera y encajando en el hueso pélvicos formando así la articulación de la cadera. (10)

La cabeza del fémur es una estructura esférica cubierta de cartílago de 3 a 4 mm, con un diámetro de 40 a 60 mm. Compuesto por una red de hueso trabecular, el cual permite absorber y distribuir las cargas tanto hacia el hueso cortical del cuello femoral como la región proximal del fémur. (11)

El fémur es importante debido a que permite al organismo tener estabilidad y movilidad. Siendo un eje que se encuentra siempre sometido a distintas fuerzas, por lo que es un hueso que es muy propenso a que se fracture. (12)

2.4. Características Generales Del Hueso

El hueso es un tejido en el que sus propiedades mecánicas tienen relación con la morfología tanto a nivel macroscópico como microestructural relacionado con la presencia de una red trabecular, esta estructura permite que el hueso sea sólido, elástico para que haya una locomoción eficiente. (13)

Dentro de su estructura se presentan dos tipos de tejido óseo que son el hueso cortical y trabecular y son los encargados de transmitir las fuerzas al resto del hueso de múltiples formas. (13)

El hueso cortical constituye la capa externa en un 80 %, mientras que el hueso trabecular es la capa interna y este compuesto por tabiques y espículas que se pueden encontrar tanto en el esqueleto axial como en la diáfisis de huesos largos, siendo una representación del 20%. (14)

El hueso tiene la característica de ser el único tejido capaz de tener una adaptación mecánicamente, siendo importante porque puede optimizar los materiales usados en osteosíntesis por medio de modulo biomecánicos que se obtienen cuando los huesos son sometidos a cargas. (15)

Los huesos son los que nos brindan soporte estructural al cuerpo ayudando de esa manera en el movimiento al resistir la contracción muscular y actúan como una barrera protectora alrededor de los órganos internos. Dentro de su estructura tubular y hueca los huesos poseen una notable resistencia a la compresión sin perder ligereza. (16)

2.5. Parámetros De Calidad Ósea

La calidad ósea es un factor crítico que junto con la cantidad ósea es el que determina la resistencia ósea. (17)

La resistencia de los huesos ante fuerzas como son la compresión, tracción y torsión va a depender de cómo están compuestas sus propiedades, siendo importante su capacidad de regeneración del tejido y edad, ya que son factores que pueden provocar que el hueso se vuelva frágil. Por estos motivos la calidad ósea puede verse afectado y enfermedades como la osteoporosis está vinculado con su deterioro. (18)

La osteoporosis es una patología que provoca que los huesos se vuelvan frágiles. La pérdida de masa ósea y de la microarquitectura del tejido óseo lo que hace que sean más susceptibles a las fracturas y esto sucede debido a que se ve alterado la calidad del hueso. (19)

En pacientes con síndrome de Cushing se han visto afectados en la zona cortical del fémur, siendo más susceptible a deformarse según los análisis obtenidos en el modelo de Young. (20)

2.6. Fractura

Las fracturas óseas se las pueden definir como la ruptura o separación de los huesos como resultado de la aplicación por cargas intensas. (21)

Las fracturas de los huesos largos ocurren con mucha frecuencia y por eso es de vital importancia analizar a qué tipo de fractura se clasifica. (22)

En una fractura puede ocurrir la pérdida total o parcial del hueso, cartílago o ambos y puede ver afectaciones distintos grados en los tejidos blandos. (23)

La fractura ósea sucede cuando el hueso recibe una fuerza superior a la puede resistir, existiendo distintos tipos de fracturas según el daño físico que se vea sometido el hueso. (24)

En casos de fracturas se deben tener en cuenta características como el tipo de deformación, la dirección y profundidad de la fractura,. (25)

Las fracturas de fémur por lo general suceden por traumatismos u osteoporosis, afectando en la vida del animal, ya que afecta a la movilidad. (26)

La fractura del cuello femoral en perros es una de las afecciones ortopédicas más frecuentes y que ocurre por traumatismo. (27)

En un estudio en el que analizaron 27 fracturas femorales en 25 perros atendidos en el departamento de cirugía veterinaria y radiología en Palampur, HP. Los tipos de fracturas que más se encontraron fueron en cuñas (10 casos), oblicuas (9), transversales (4), complejas (3) y espirales (1). (28)

2.6.1. Implicación de los tejidos blandos

2.6.1.1. Fracturas cerradas

En este tipo de fracturas, el hueso no tiene contacto con el exterior, debido a que la piel permanece intacta. Son las más comunes y no suelen presentar complicaciones relacionadas con la vascularización. (29)

2.6.1.1. Fracturas abiertas

También conocidas como fracturas expuestas, existe una comunicación entre el hueso fracturado y el exterior debido a una lesión en la piel y los tejidos blandos circundantes. (29)

2.6.2. Número De Fragmentos

2.6.2.1. Fractura simple

Es la división del hueso en dos fragmentos con un único plano de fractura, una fractura común que suele tener un pronóstico favorable y una resolución sencilla. (30)

2.6.2.2. Fractura múltiple

El hueso se puede llegar a romper en al menos tres fragmentos: en el que se destacan dos fragmentos principales y uno o varios adicionales que quedan aislados. (30)

2.6.2.3. Fractura conminuta

El hueso se fractura en múltiples fragmentos, pero se diferencia de la fractura múltiple, ya que tienen algunos fragmentos que impide lograr una recuperación anatómica. (30)

2.6.3. Mecanismos Elementales De Fractura

2.6.3.1. Fracturas por flexión

Se lo considera como el mecanismo de fractura más común en los huesos largos. La fuerza actúa de forma perpendicular al eje principal de la diáfisis y se aplica sobre un extremo del hueso, mientras el otro permanece fijo, o directamente en el centro de la diáfisis, como ocurre en los traumatismos directos y en los ensayos de rotura. (31)

2.6.3.2. Fracturas por rotación

Se produce al aplicar dos fuerzas de tracción en direcciones opuestas a lo largo del eje longitudinal de la diáfisis. (31)

2.6.3.3. Fracturas por cizallamiento

Ocurren cuando dos áreas del hueso son sometidas a fuerzas opuestas que actúan de forma perpendicular al eje de la diáfisis. (31)

2.6.3.4. Fracturas por compresión

Ocurren la fractura del hueso esponjoso, epifisario, de los huesos cortos y vértebras. (31)

2.6.3.5. Fracturas por tracción

La aplicación de una fuerza que incluye un componente de avulsión. Este tipo de fuerza puede provocar fracturas en el hueso. (3)

2.7. Fracturas Mas Frecuentes

El traumatismo es la principal causa de fracturas en perros pequeños y puede producirse por las distintas fuerzas externas como son por flexión, torsión, cizallamiento o compresión. Estas cargas dan lugar a que se ocurran diferentes tipos de fracturas, como son las oblicuas, en cuña, espirales o conminutas. Siendo en los perros las fracturas que se presentan con mayor frecuencia en el fémur, seguido de la tibia y el radio-cúbito. (32)

Las fracturas de fémur son las más frecuentes en perros, el 35 % de las fracturas en las extremidades traseras y el 24 % del total de fracturas en esta especie. En animales jóvenes, suelen presentar fracturas epifisarias proximales y distales, mientras que en perros mayores son más comunes las fracturas diafisarias y metafisarias. (33)

Las fracturas femorales representan entre el 20 % y el 25 % del total de fracturas en perros y constituyen el 45 % de las fracturas de huesos largos. (34)

Un estudio realizado en la Universidad Kafkas en la Facultad de Medicina Veterinaria, Turquía. Incluyeron 16 casos de fracturas que involucraban a 14 perros de varias razas y sexos, con edades que oscilaban entre los 3 meses y 12 meses en el que se encontraron con fracturas diafisarias de húmero, tibia y fémur. (35)

En el estudio realizado en el distrito de El Cairo, Egipto, sobre la prevalencia de fracturas en perros, se observó que las fracturas eran más frecuentes en razas miniatura y en machos, quienes presentaron un mayor número de fracturas que las hembras. Las fracturas ocurrieron principalmente en perros menores de un año, siendo las extremidades traseras las más afectadas. El fémur fue el hueso con mayor incidencia de fracturas. Destacando las diafisarias completas conminutas en el fémur, las diafisarias completas oblicuas en la tibia/peroné, las transversas distales completas en el húmero y las diafisarias completas transversales en el radio/cúbito. (36)

En un estudio sobre fracturas de huesos largos en pacientes atendidos en la Escuela Nacional Superior de Veterinaria de Argel, se registraron 66 fracturas en total, de estos, el 29,3% correspondieron a perros. Predominando los machos en el que la mayoría de los casos fueron de perros jóvenes menores de un año. La causa principal de las fracturas fue la caída desde una altura que sobrepasa la resistencia ósea. El fémur fue el hueso más afectado, aunque no se especifica la parte del fémur más afectada. La mayoría de las fracturas estaban cerradas, con una menor proporción de fracturas abiertas, especialmente en los huesos inferiores. (37)

En la investigación realizado en la India tomaron 10 casos de fracturas en fémur en perro en el que se encontró que las fracturas de fémur fueron más frecuentes en perros de las razas pastor alemán y labrador retriever. La mayor incidencia observó en machos mayores de 24 meses, especialmente en aquellos con un peso entre 21 y 30 kg. La causa más común de estas fracturas fueron los accidentes automovilísticos. La fractura predominante en el estudio fue la conminuta diafisaria del tercio proximal. (38)

Una investigación realizada en la Clínica de Pequeños Animales de la Freie Universität Berlín, en el que analizaron 99 fracturas conminutas entre 542 fracturas de huesos largos. Siendo el fémur el más predominante con 42, seguidos de la tibia y peroné con 29, radio y cúbito con 24 y el húmero con 4 fracturas. (39)

En la Clínica Veterinaria Pets Park en Perú, realizaron un análisis a nivel del miembro posterior encontraron que el hueso que con mayor frecuencia se fractura son el fémur (55/80), tibia/peroné (23/80) y metatarsianos (2/80). El 95 % de las fracturas fueron cerradas, transversales con un 71%, oblicuas 20% y diáfisis medial 53% y a nivel del fémur fracturas del modelo Salter Harris 16%. (40)

Un análisis realizado en tres clínicas veterinarias de Cuenca, Ecuador analizaron 383 estudios radiográficos en el que evaluaron factores como raza, edad, sexo. Los perros mestizos (65%), machos (55,4%) y de 1 a 3 años (43,9%) fueron los más afectados. El fémur fue el hueso con mayor incidencia de fracturas (52,7%).

En la Clínica Veterinaria Docente Cayetano Heredia de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, estudiaron 115 placas radiográficas, siendo el fémur el hueso que se presentó con mayor susceptibilidad con un 36,5%, afectados principalmente a caninos machos con un 61,7%, jóvenes 55,7%, de tamaño pequeño 51,3% y de raza pura 57,4%. La mayoría de las fracturas se localizaron en la diáfisis 57,4%, de tipo simple o extraarticular 68,7% y de gravedad leve 47,8%. (42)

Un estudio en 15 clínicas veterinarias con 385 fichas clínicas en la ciudad de Cuenca, en el que encontraron que las fracturas más comunes son en pelvis (26,5%), el fémur (25,6%) y la tibia/peroné (15%). Los perros de razas pequeñas (55,19%) y las hembras (60,56%) fueron los más afectados. Ocurriendo la mayoría de las fracturas en perros adultos (43,33%) y el atropellamiento fue la causa principal (73,52%). Se encontró que las fracturas de fémur eran más frecuentes en perros menores de un año, mientras que los geriátricos tenían menor riesgo de fracturas en tibia/perón. El atropellamiento aumentó la probabilidad de fracturas de fémur y los machos fueron más propensos a sufrir fracturas pélvicas. (43)

2.8. Fémur Sometido A Distintas Fuerzas

En estudios morfométricos realizados sobre huesos de perro, observaron que además de las cargas que se encuentran sometidos los fémures las variables sexo y edad influyen en el área cortical. (44)

En un estudio del comportamiento mecánico y la resistencia a la flexión en el tercio medio de la diáfisis del fémur en perros de distintas tallas, edades y sexos. Evaluaron los fémures de 15 perros mestizos adultos con edades que van de los 2-10 años mediante pruebas de carga en tres puntos y análisis estadísticos. Los valores promedio obtenidos fueron una fuerza de $0,96 \text{ kN} \pm 0,12$ y una deformación de $5,95 \text{ mm} \pm 1,10$. Se encontró que los fémures de perros de talla grande presentaron mayor resistencia a la flexión que los de talla pequeña ($p=0,0124$) y que los fémures de machos fueron más resistentes que los de hembras ($p=0,017$). Estos resultados resaltan la importancia de las características estructurales y mecánicas (1)

Determinándose que a medida que aumentaban la edad del canino el fémur iba a presentar una menor deformación ante la flexión en tres puntos. Siendo el 76% de la variabilidad en la fuerza máxima soportada por el hueso antes de que ocurra la fractura está relacionada con los valores del área cortical. (45)

El tamaño del área cortical tiene una gran relevancia dentro las propiedades estructurales, siendo un factor clave en la resistencia ósea ante pruebas de compresión. La resistencia promedio de los huesos de machos era superior a la de las hembras. Aunque ambos presentaron un comportamiento óseo similar en las pruebas de compresión e impacto. (46)

En estudio en el que se ejerció fuerza de compresión y análisis densitométrico en fémures de 30 perros mestizos adultos dentro de un rango entre 2 y 14 años, en el que los valores promedio obtenidos fueron fuerza $9,32 \text{ kN} \pm 2,96$ y deformación $1,11 \text{ mm} \pm 0,49$. Se encontró que los fémures de perros de talla grande tenían mayor resistencia a la compresión que los de talla pequeña y que los de machos eran más resistentes que los de hembras. Además, se calcula que el aumento en la densidad mineral ósea está directamente relacionado con una mayor resistencia a la compresión.

En otro estudio con fémures provenientes de 30 perros mestizos adultos entre 2 y 14 años. En el que 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. Los valores promedio obtenidos fueron la 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 mayor a comparación de los animales de talla chica. Los fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia. (2)

2.9. Importancia de la biomecánica para el uso de futuro de prótesis en medicina veterinaria

El uso de prótesis implica la necesidad de estudios biomecánicos sobre el paciente más precisos de los que tendrían que realizarse para un diagnóstico ortopédico convencional. Una prótesis diseñada sin un estudio biomecánico del individuo podría traer consecuencias en su cuerpo y acarrear futuras complicaciones. (47)

El desarrollo de prótesis caninas adaptadas a los animales además de beneficiarlas también aporta información relevante para el avance de la medicina veterinaria y la biomecánica aplicada. (48)

En su trabajo investigativo utilizaron veinte cadáveres de perros adultos, extrayendo ambos fémures para su experimentación. Cada par de fémures fueron sometidos a una implantación de la prótesis de artroplastia de recubrimiento de cadera y luego procedieron a realizar pruebas biomecánicas de flexo-compresión. Una vez realizado los ensayos los especímenes femorales hicieron radiografía para poder observar el comportamiento de falla, en el que vieron fracturas en la región del cuello femoral, en las muestras de ambos grupos. Siendo importante este estudio, ya que resalta la importancia conocer acerca de la biomecánica del fémur, logrando evaluar la resistencia y el comportamiento estructural del hueso ante la implantación de prótesis. (49)

Llevaron a cabo una evaluación biomecánica de la estabilidad de distintos métodos de fijación interna para fracturas de cuello femoral en perros de razas pequeñas. Además, se analizó la viabilidad de sustituir los tornillos con cabeza por tornillos canulados sin cabeza con rosca completa dentro del método de fijación. Dando como resultado en los 9 perros adultos de razas pequeñas con un peso de 3,6 a 8,3 kg (media $\pm$ DE; $5,9 \pm 1,6$). La carga máxima de fallo media fue más alta en el grupo C (495 ± 81 N), seguido del grupo B ($454 \pm 50,4$ N) y, a continuación, el grupo A ($222 \pm 21,6$ N). (50)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del estudio

El presente estudio se realizó en el laboratorio de comportamiento de materiales, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala. Esta se encuentra

ubicada en el kilómetro 5 ½ de la vía Machala–Pasaje, con coordenadas geográficas de latitud 79°54'36", longitud 3°17'14" y una altitud de 12 metros sobre el nivel del mar (msnm) con una temperatura que oscila entre 22 °C y 35 °C.



Figura 1. Ubicación geográfica de la facultad de Ingeniería Civil

Fuente: Google maps (2025)

3.1.2. Población y muestra

Población: La población de estudio estará conformada por cadáveres de diversas edades, tamaños y sexos, sin alteración de los huesos fémur, que ingresan al área de necropsia de la universidad Técnica de Machala.

Muestra: En este trabajo se empleará una muestra por conveniencia o muestra no probabilística. Los cuales fueron en total 16 perros, trabajando 32 fémures en total.

3.1.3. Equipos y materiales

- Mango de bisturí No. 4
- Hojas de bisturí 22 y 24
- Pinza de disección con dientes
- Calibrador manual
- Gasas
- Solución Salina
- Registros
- Termorregulador
- Equipo de compresión de mampuestos

- Guantes exploratorios
- Cubrebocas
- Mandil
- Corcho con gel

3.1.4. Variables

- Edad
- Sexo
- Tamaño
- Resistencia máxima de compresión

3.2. Medición De Variables

3.2.1. Edad.

Se registró la edad en tres secciones: 6 meses a 1 año, 2- 5 años, mayor a 5 años

3.2.2. Sexo.

Se registró el sexo si es macho o hembra y si son castrados.

3.2.3. Tamaño

Se registró el tamaño que vas desde pequeño, mediano y grande.

3.2.4. Resistencia máxima de compresión

Se utilizó el equipo de compresión de mampuestos para registrar la fuerza máxima y la deformación que resiste el fémur antes de la fractura.

3.3. Metodología De Campo

El estudio analizó las propiedades estructurales y mecánicas del fémur en caninos mediante ensayos de compresión. Se obtuvo fémures de perros fallecidos en diferentes clínicas veterinarias con sus respectivas autorizaciones. Donde el área de necropsia fue en la Facultad Agropecuaria de la Universidad Técnica de Machala.

3.3.1. Protocolo de medición de fémur

1. Se realizó una incisión longitudinal en la piel sobre la cara lateral del muslo, extendiéndose desde el trocánter mayor hasta la región distal del fémur, pasando por la rodilla. La incisión fue lo suficientemente larga para permitir una visualización y acceso cómodos tanto al fémur derecho como al izquierdo.

2. Exponiendo la fascia se procedió con la disección de los músculos, comenzando con el tensor de la fascia lata, seguido del sartorio, recto femoral, cuádriceps, aductor y bíceps femoral. Los músculos son seccionados en sus inserciones y desplazados para exponer el fémur.
3. Se desarticuló la cabeza femoral cortando el ligamento redondo, liberando la cabeza del fémur de la pelvis.
4. Así mismo se diseccionó la articulación femorotibiorotuliana, cortando los ligamentos colaterales y los ligamentos cruzados.
5. Retirando cuidadosamente el hueso completo.
6. Se envolvió el hueso en una gasa con solución fisiológica para su conservación en un refrigerador a -20°C .
7. Conservando los fémures a -20°C hasta su análisis en el laboratorio de comportamiento de materiales en la Universidad Técnica de Machala, en la Facultad de Ciencias Civiles, donde se evaluó su resistencia mecánica según talla, edad y sexo.
8. Midiendo el fémur tanto en su epífisis como en su diáfisis. La caracterización geométrica del fémur fue clave para entender cómo responde el hueso a las cargas de compresión.
9. Se evaluó el diseño y tamaño del fémur, ya que influye en su capacidad para soportar cargas y estarán relacionados con la distribución de tensiones internas cuando el hueso sea comprimido.

3.3.2. Compresión mecánica fémur

1. Tomado las medidas se procedió al hueso a someterlo a la fuerza de investigación.
2. Se midió la resistencia del fémur mediante el equipo de compresión de mampuestos, el cual me proporcionó los datos tanto la fuerza final expresado en KN y la deformación en mm que se empleó para que se fracture el hueso.
3. Nos permitió medir variables como la resistencia máxima (carga máxima que soporta el hueso antes de fracturarse), el módulo elástico (relación entre la deformación y la carga aplicada en la región elástica), y el límite de fractura (carga a la que el hueso experimenta una fractura).

3.4. Análisis Estadístico

Los datos de fuerza, deformación, sexo, tamaño y edad se lo expresaron por medio de estadística descriptiva.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de las propiedades geométricas y estructurales del hueso fémur de caninos mediante técnicas de medición

PERROS	Fémur	Edad	Sexo	Tamaño	Longitud I.	Longitud F	Area cm2	Fuerza KN	Rotura kg/cm2	Deformación mm	TIPO DE FRACTURA
1	Izquierdo	1 año	MACHO	MEDIANO	14	13,5	2,6	0,19	7,46	0,37	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	MEDIANO	13,8	13,4	2,6	0,22	8,63	0,30	OBLICUA LARGA
2	Izquierdo	8 meses	MACHO	PEQUEÑO	9,8	9,1	1,6	0,06	3,83	0,77	SALTER HARRIS
	Derecho		MACHO	PEQUEÑO	10	9,5	1,6	0,17	10,84	0,53	SALTER HARRIS
3	Izquierdo	15 AÑOS	MACHO	GRANDE	19	18,5	6,84	0,52	7,76	0,27	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	18,8	18,3	6,83	0,48	7,17	0,27	OBLICUA LARGA
4	Izquierdo	3 AÑOS	MACHO	GRANDE	18	17,6	4,76	0,52	11,15	0,23	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	17,9	17,5	4,77	0,48	10,27	0,23	OBLICUA LARGA
5	Izquierdo	4 AÑOS	MACHO	GRANDE	18	17,4	5,7	0,18	3,22	0,34	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	17,7	17,1	5,7	0,34	6,09	0,35	OBLICUA CORTA
6	Izquierdo	6 AÑOS	MACHO	GRANDE	16,7	16,1	3,85	0,59	15,64	0,37	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	16,5	16	3,85	0,59	15,64	0,31	OBLICUA LARGA
7	Izquierdo	1 años	MACHO	MEDIANO	12	11,5	4,48	0,61	13,89	0,43	OBLICUA CORTA
	Derecho		MACHO	MEDIANO	12,1	11,6	4,16	0,63	15,45	0,43	OBLICUA LARGA
8	Izquierdo	6 meses	MACHO	PEQUEÑO	7,7	7,2	0,75	0,2	27,21	0,69	SALTER HARRIS
	Derecho		MACHO	PEQUEÑO	7,8	7,3	0,75	0,35	47,62	0,68	SALTER HARRIS
9	Izquierdo	2 AÑOS	MACHO	MEDIANO	15,1	14,7	4,03	0,4	10,13	0,27	OBLICUA CORTA
	Derecho		MACHO	MEDIANO	15,2	14,8	4,03	0,56	14,18	0,27	OBLICUA CORTA
10	Izquierdo	2 años	MACHO	GRANDE	17,1	16,6	5,6	0,42	7,65	0,30	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	17,2	16,7	5,6	0,45	8,20	0,30	OBLICUA LARGA
11	Izquierdo	1 año	HEMBRA	MEDIANO	14	13,5	5,28	0,48	9,28	0,37	OBLICUA LARGA
	Derecho		HEMBRA	MEDIANO	14	13,5	5,28	0,51	9,86	0,37	OBLICUA CORTA
12	Izquierdo	1 año	MACHO	MEDIANO	14,2	13,7	4,29	0,45	10,70	0,36	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	MEDIANO	14,3	13,8	4,29	0,48	11,42	0,36	OBLICUA LARGA
13	Izquierdo	1 año y 2 meses	HEMBRA	MEDIANO	14,1	13,6	3,6	0,45	12,76	0,37	OBLICUA CORTA
	Derecho		HEMBRA	MEDIANO	14,1	13,6	3,6	0,47	13,32	0,37	OBLICUA CORTA
14	Izquierdo	4 años	MACHO	GRANDE	19,8	19,3	7,2	0,49	6,94	0,26	OBLICUA LARGA
	Derecho		MACHO	GRANDE	19,9	19,4	7,6	0,53	7,12	0,26	OBLICUA LARGA
15	Izquierdo	3 AÑOS	HEMBRA	MEDIANO	15,2	14,7	5,4	0,54	10,20	0,34	OBLICUA LARGA
	Derecho		HEMBRA	MEDIANO	15,3	14,8	5,4	0,62	11,72	0,34	OBLICUA LARGA
16	Izquierdo	1 año y 6 meses	HEMBRA	MEDIANO	15,1	14,6	4,16	0,3	7,36	0,34	OBLICUA CORTA
	Derecho		HEMBRA	MEDIANO	15,1	14,5	4,16	0,47	11,53	0,41	OBLICUA CORTA
MEDIA					14,98	14,48	4,39	0,43	11,69	0,37	

Tabla 1. Datos generales de los fémures caninos

Elaborado por: El autor

Se observa de forma general que se evaluaron 32 fémures de 16 perros de diferentes edades, tamaños y sexos. Se midieron características como la longitud inicial y final del fémur, el área de sección transversal, la fuerza máxima soportada (kN), el esfuerzo de rotura (kg/cm²) y la deformación (en mm). Los resultados muestran que los fémures según las diferentes variables presentan una resistencia y deformación diferentes, pero dentro de rangos cercanos, indicando que existe una relación directa entre tamaño corporal, longitud del hueso y la resistencia a la compresión.

Respecto a la localización y tipo de fractura, predomina la fractura en el tercio o medio de la diáfisis, siendo la mayoría de tipo oblicua. Esto sugiere que bajo cargas de compresión el fémur canino tiende a fracturarse en la zona media, lo cual coincide con la región que soporta mayores tensiones estructurales. En conjunto, estos datos aportan una base de referencia para comprender las propiedades mecánicas del fémur canino, útiles para la medicina veterinaria y el desarrollo de tratamientos ortopédicos o materiales de fijación.

4.2. Análisis de los resultados experimentales obtenidos del comportamiento mecánico del hueso fémur de caninos bajo compresión, para identificar los factores que afectan su resistencia, deformación y capacidad de soportar cargas.

4.2.1. Influencia de la edad

4.2.1.1. Fuerza

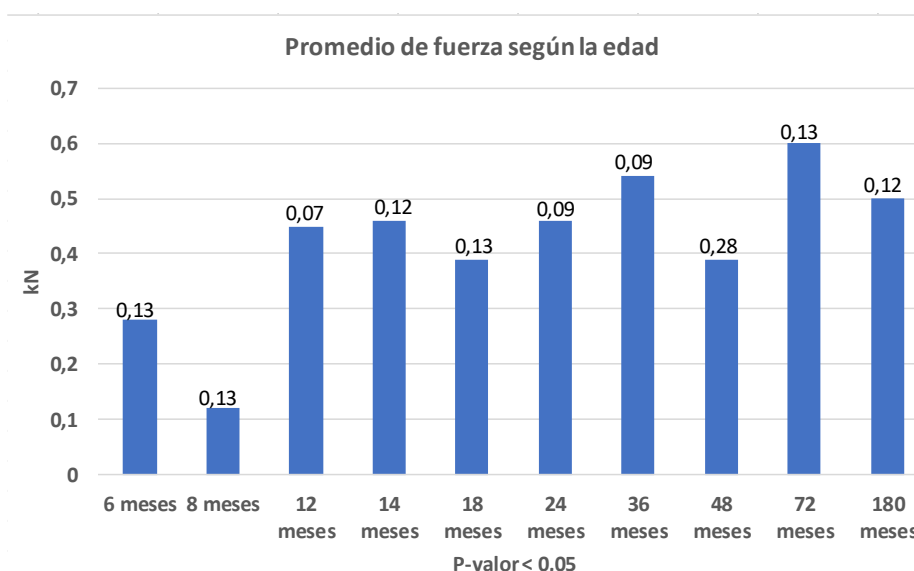


Figura 2. Promedio de fuerza según la edad

Elaborado por: El autor

Se trabajo con un total de 16 perros en el que si bien se había divido por secciones de 6 meses a 1 año, 2 a 5 años y mayor a 5 años. Se optó por agrupar según las diferentes edades. Las muestras según las diferentes edades fueron: 6 meses (2), 8 meses (2), 12 meses (8), 14 meses (2), 18 meses (2), 24 meses (4), 36 meses (4), 48 meses (4), 72 meses (2) y 180 meses (2).

En base a la gráfica 2. Se puede observar que los huesos más jóvenes (6-8 meses) presentan menor fuerza de compresión, debido a que aún están en proceso de maduración y mineralización. A partir de los 12 meses, la fuerza aumenta, alcanzando los valores más altos entre los 3 y 6 años (36-72 meses). A los 180 meses (15 años) la fuerza baja ligeramente, sugiriendo un posible inicio de deterioro estructural por envejecimiento. La diferencia es estadísticamente significativa, lo que indica que la edad influye en la capacidad del fémur para soportar carga.

4.2.1.2. Deformación

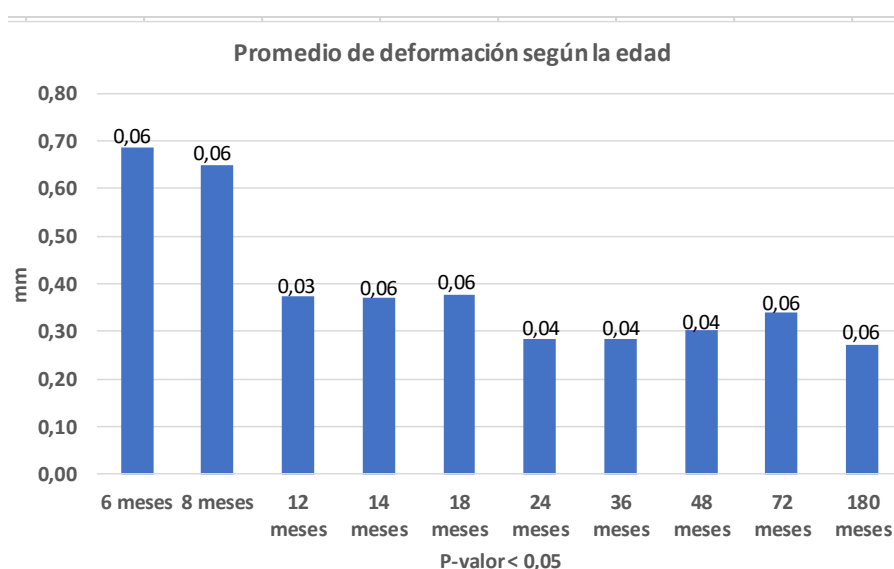


Figura 3. Promedio de deformación según la edad

Elaborado por: El autor

En la gráfica 3. Se puede observar que la mayor deformación está presente en fémures jóvenes (6 y 8 meses: 0.69 mm y 0.65 mm). A partir de los 12 meses, la deformación disminuye significativamente, con valores de 0.27–0.38 mm en los adultos. Y la menor deformación es con el canino de 180 meses (0.27 mm $\pm$ 0.06). Esto se debe porque los huesos jóvenes son más deformables, lo cual concuerda con una estructura más cartilaginosa y menos calcificada. Con

el crecimiento y la osificación progresiva, el hueso se vuelve más rígido y menos deformable, siendo más resistente mecánicamente.

4.2.1.3. Rotura

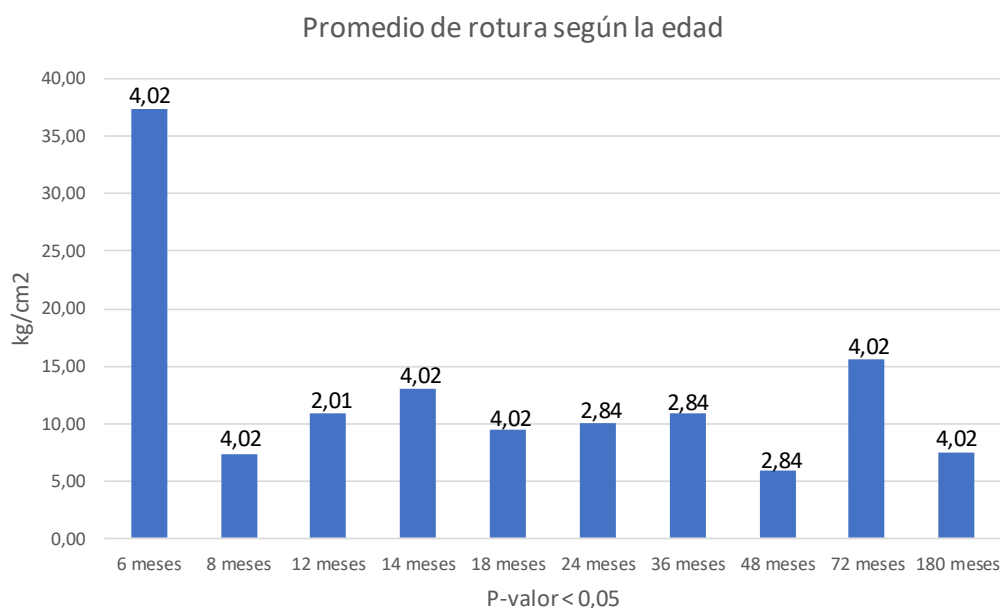


Figura 4. Promedio de rotura según la edad

Elaborado por: El autor

En la figura 4 se puede observar el valor más alto a los 6 meses que puede deberse a características propias del hueso en desarrollo: menor área de sección, más flexible, pero con alta resistencia relativa. Conforme el hueso madura y aumenta su área, la resistencia específica (rotura por unidad de área) disminuye.

También la pequeña área transversal del fémur a los 6 meses influye directamente en el resultado del valor de rotura (kg/cm^2). Por lo que El valor elevado de resistencia a la rotura observado en los fémures de 6 meses podría estar influenciado por la pequeña área de sección transversal de los huesos jóvenes.

Al dividir una fuerza moderada sobre una superficie muy reducida, el resultado expresado en kg/cm^2 puede sobreestimar la verdadera resistencia estructural del hueso. Esto no contradice la biología, ya que los huesos jóvenes suelen ser más frágiles en términos estructurales, aunque mecánicamente puedan mostrar alta resistencia por su área reducida.

En edades avanzadas (180 meses), la resistencia específica tiende a descender, posiblemente asociado con pérdida de densidad ósea.

4.2.2. Influencia del sexo

4.2.2.1. Fuerza

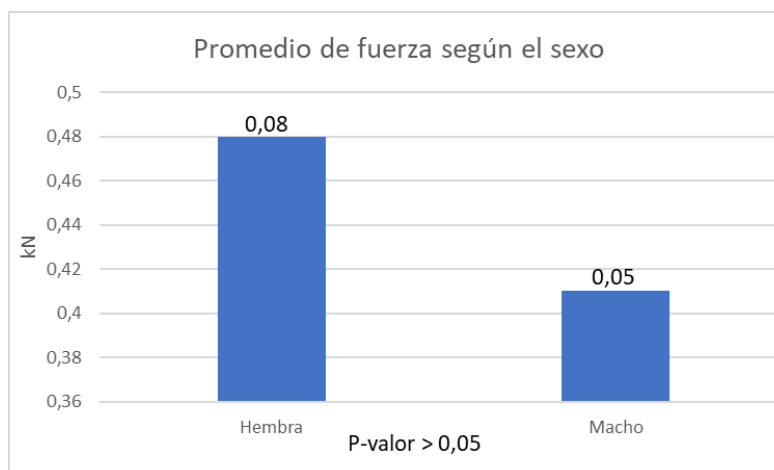


Figura 5. Promedio de fuerza según el sexo

Elaborado por: El autor

Las muestras según el sexo fueron: Machos (24), hembras (12).

En la figura 5. se puede observar Las hembras presentan en promedio una fuerza máxima de compresión ligeramente mayor que los macho. Sin embargo, como el p-valor es mayor a 0,05, esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto indica que no hay evidencia suficiente para afirmar que el sexo influye en la fuerza de compresión del fémur.

4.2.2.2. Deformación

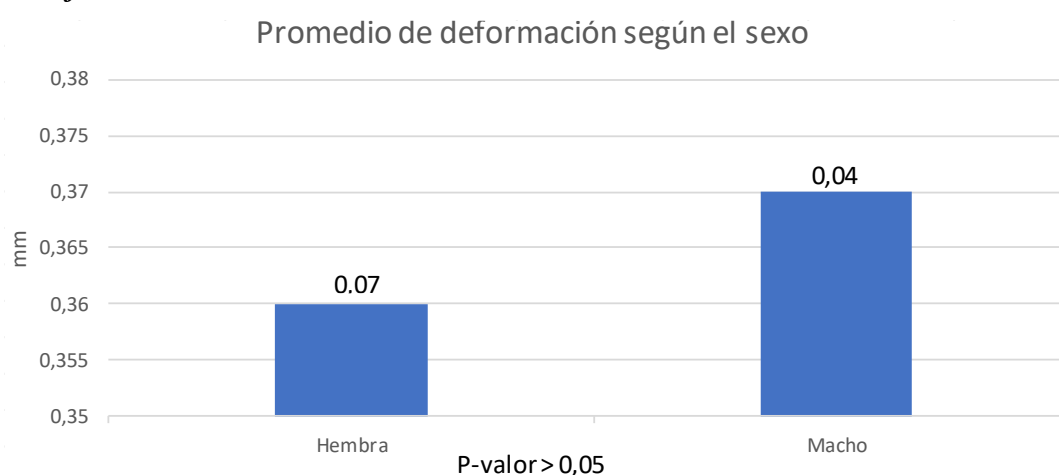


Figura 6. Promedio de deformación según el sexo

Elaborado por: El autor

La figura 6. muestra que, en la deformación, los machos muestran un promedio

ligeramente mayor que las hembras. Esta diferencia es muy pequeña y, al igual que en fuerza, el p-valor indica que no es significativa. Por lo tanto, el sexo no tendría un efecto claro sobre la capacidad del hueso de deformarse antes de fracturarse.

4.2.2.3. Rotura

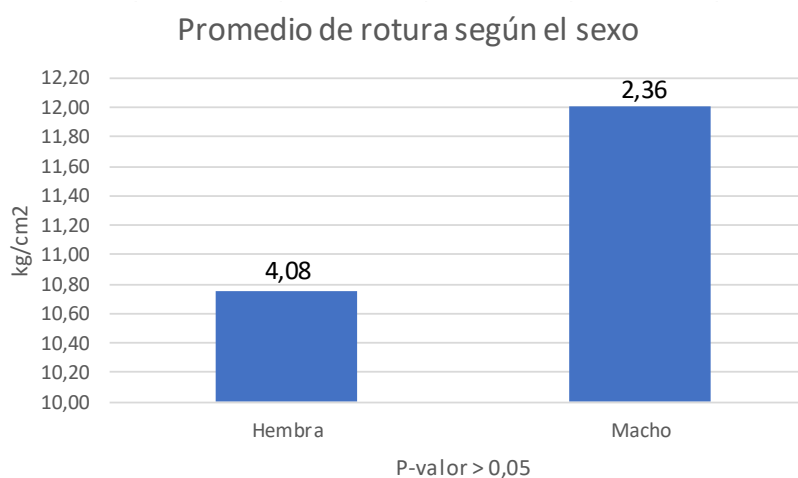


Figura 7. Promedio de rotura según el sexo

Elaborado por: El autor

En cuanto a la rotura, los machos muestran un promedio ligeramente mayor de resistencia. Sin embargo, la dispersión en hembras es más amplia (mayor desviación estándar), y nuevamente la diferencia no es significativa.

4.2.3. Influencia del tamaño

4.2.3.1. Fuerza

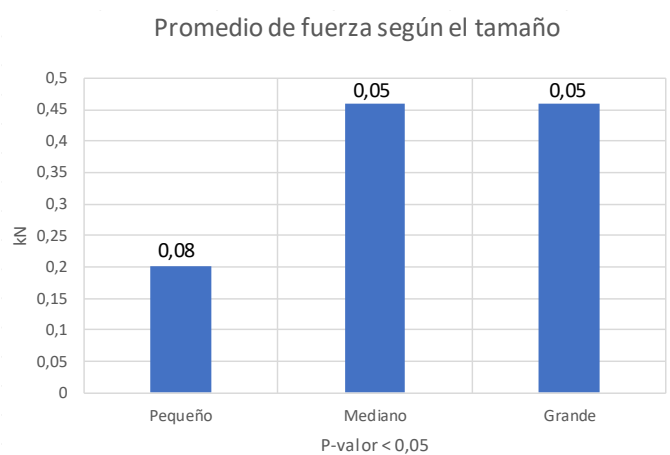


Figura 8. Promedio de fuerza según el tamaño

Elaborado por: El autor

Las muestras según el tamaño fueron: Pequeño (4), mediano (16), grande (12).

Los fémures de perros de tamaño mediano y grande soportaron en promedio más del doble de fuerza que los de tamaño pequeño (0,46 kN vs. 0,20 kN). Además, el p-valor $< 0,05$ indica que esta diferencia es estadísticamente significativa, mostrando que el tamaño corporal influye en la capacidad de soportar carga. En otras palabras, los fémures de perros medianos y grandes resisten cargas similares, y ambos superan claramente a los de perros pequeños.

4.2.3.2. Deformación

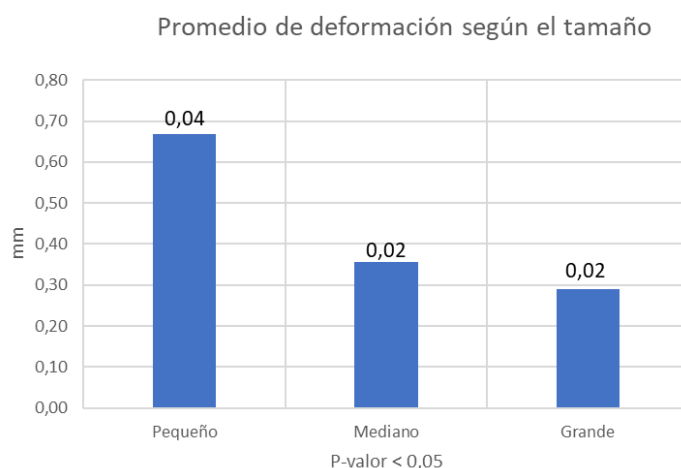


Figura 9. Promedio deformación según el tamaño

Elaborado por: El autor

Los huesos de perros pequeños presentan una mayor deformación promedio antes de fracturarse (0,67 mm) frente a los medianos (0,36 mm) y grandes (0,29 mm). Esta diferencia también es significativa (p-valor $< 0,05$). Esto indica que los fémures de animales pequeños son más deformables, posiblemente por ser más delgados o menos densos, mientras que los de mayor tamaño tienen menos capacidad de deformarse antes de fracturarse.

4.2.3.3. Rotura

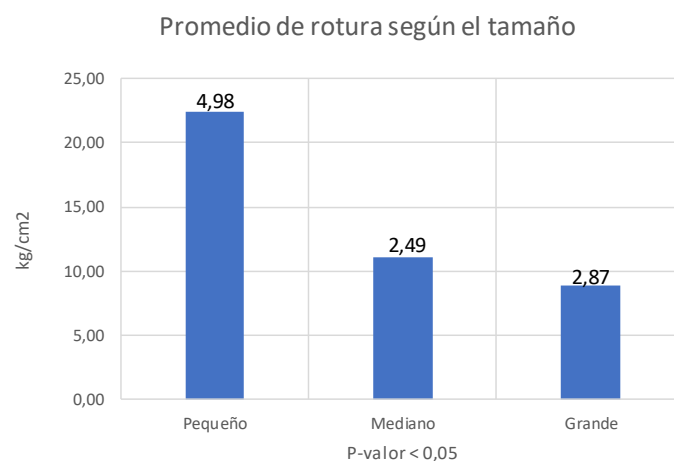


Figura 10. Promedio de rotura según el tamaño

Elaborado por: El autor

A nivel de resistencia específica (rotura por área), los fémures de perros pequeños muestran valores notablemente mayores (22,38 kg/cm²) frente a los medianos y grandes. Esto significa que, aunque los huesos grandes soportan mayor carga total, cuando se ajusta por área, los fémures pequeños resisten más presión antes de fracturarse. El p-valor < 0,05 indica que esta diferencia es significativa, mostrando un patrón claro: los huesos más pequeños son relativamente más resistentes por unidad de área.

4.3 Evaluación de la resistencia del fémur aplicando fuerzas controladas, módulo elástico y límite de fractura, utilizando el equipo de compresión de los mampuestos de la FIC.

4.3.1 Fuerza

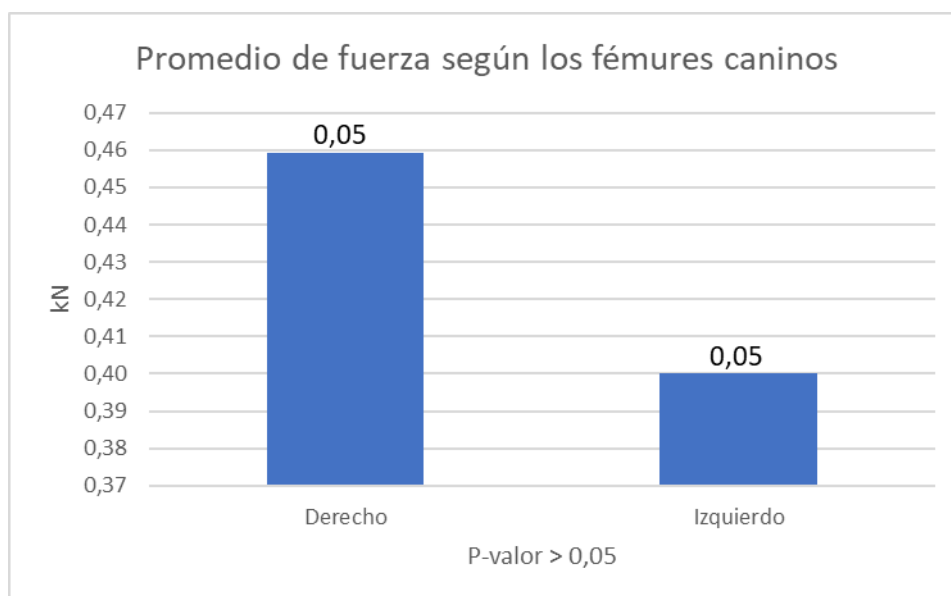


Figura 11. Promedio de fuerza según los fémures caninos

Elaborado por: El autor

Aunque el fémur derecho soportó mayor fuerza promedio que el izquierdo (0.46 kN vs. 0.40 kN), la diferencia no es estadísticamente significativa, lo que sugiere que ambos fémures tienen capacidades similares de resistir fuerzas de compresión desde el punto de vista estadístico.

4.3.2 Deformación

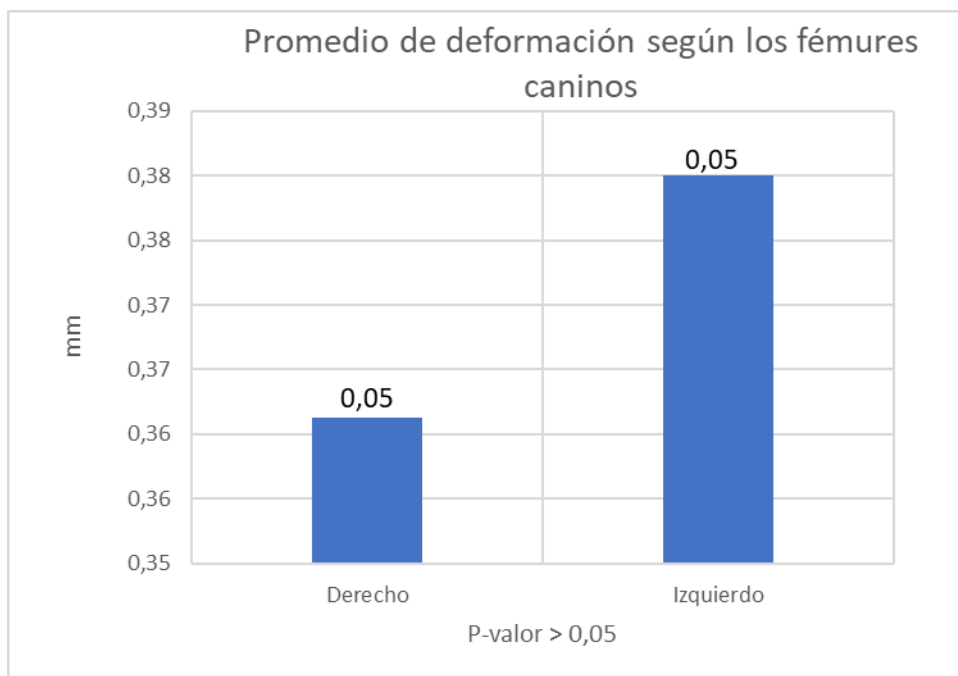


Figura 12 Promedio de deformación según los fémures caninos

Elaborado por: El autor

Los fémures izquierdos se deformaron levemente más que los derechos (0.38 mm vs. 0.36 mm). Sin embargo, esta diferencia tampoco es estadísticamente significativa, lo que indica que la capacidad de deformación ante compresión es prácticamente la misma en ambos fémures.

4.3.3 Rotura

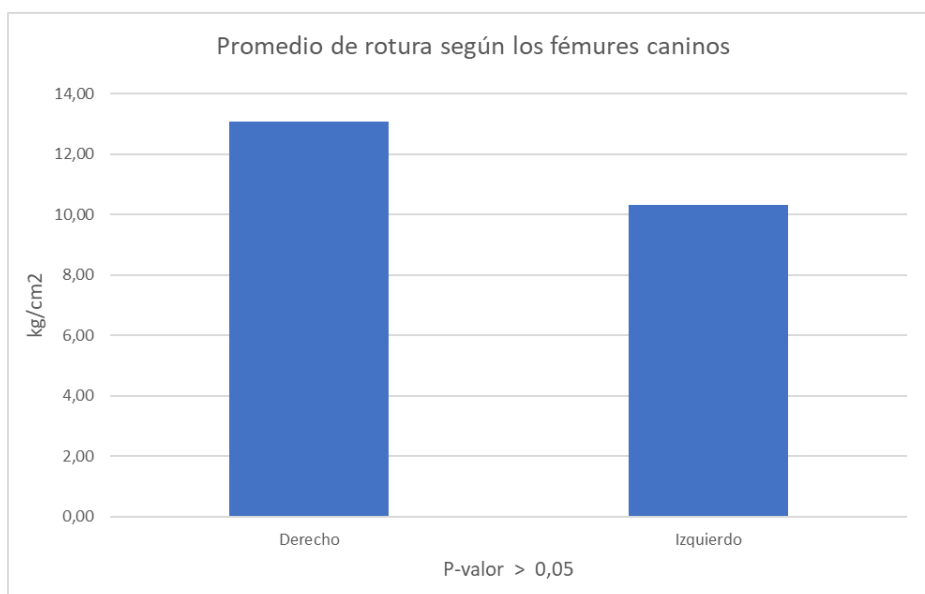


Figura 13. Promedio de rotura según los fémures caninos

Elaborado por: El autor

El fémur derecho presentó una mayor resistencia a la rotura bajo compresión, pero al igual que en los otros parámetros, la diferencia no es significativa, por lo que se concluye que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que un lado es más fuerte que el otro.

DISCUSIÓN

Conforme la edad se obtuvo que los huesos fémur en perros cachorros presentaron menos fuerza y mayor deformación, por lo que el tipo de fractura que se encuentra en caninos menores a 12 meses de edad dando como resultado fracturas en las epífisis distales (Salter Harris) y en animales mayores se fractura en la diáfisis, esto se relaciona con el autor Vijay (2023) en el que indica que las fracturas de fémur son las más frecuentes en perros, el 35 % de las fracturas en las extremidades posteriores y el 24 % del total de fracturas en esta especie. En animales jóvenes, suelen presentar fracturas epifisarias proximales y distales, mientras que en perros mayores son más comunes las fracturas diafisarias y metafisarias. (33)

Los resultados del presente estudio muestran que la resistencia máxima del fémur canino aumenta progresivamente desde etapas juveniles hasta la madurez, alcanzando los valores más altos entre los 36 y 72 meses de edad. Esto coincide con lo reportado por Zhang et al. (2022) quienes demostraron mediante nanoindentación que tanto el módulo elástico promedio (7,6 a 21,6 GPa) como la dureza (0,28 a 0,84 GPa) del hueso cortical canino aumentan significativamente entre los 6 y 36 meses, lo cual se asocia con mayor mineralización y organización de la matriz ósea. Esta diferencia refleja que los huesos jóvenes, con menor rigidez y menor mineralización, absorben más deformación antes de fracturarse, es decir, son más flexibles. A mayor edad, la estructura ósea se vuelve más rígida y menos propensa a la deformación elástica. (51)

Carpio (2023) destaca que una fractura de fémur tiene más posibilidad de presentarse en perros menores a un año y tiene menor probabilidad de ocurrencia en las razas pequeñas. (43)

El mayor número de tipo fractura que se observó fue la oblicua de 12 meses para adelante, contrario al trabajo de Wangchuk (2021) que la mayor incidencia observó en machos mayores de 24 meses, siendo la fractura predominante la conminuta diafisaria del tercio proximal. (38)

Sin embargo, coincidiendo con el trabajo de Gutierrez (2025) en el que con respecto a la línea de trazo la mayor incidencia es del tipo oblicua con 31% el hueso más afectado fue el fémur con 34.5%, en la variable edad el grupo adulto (de 1- 6 años) fue el más afectado con 58.5%. (52)

En la investigación realizada se observó que el mayor número de fracturas lo presentaron los caninos machos (75%) y siguiendo las hembras (25%) presentando fracturas oblicuas, por lo que no coincide con el autor Medina (2023), ya que a nivel del miembro posterior las fracturas observaron en mayor proporción en machos (53%) que en hembras jóvenes (45%), pero presentaron en su mayoría transversales, seguidas de oblicuas a nivel de diáfisis medial, también se presentaron fracturas del tipo Salter Harris. (40)

En los fémures investigados se obtuvo mayor resistencia y deformación en hembras que en macho, resaltando la deformación que difiere en la capacidad de soportar cargas al compararlos con los resultados del trabajo de Fioretti (2023) en el que los huesos fémures de perros machos presentaron una mayor resistencia promedio ante la prueba de compresión que los huesos provenientes de hembras, a la deformación los huesos fémures de las hembras presentaron una mayor deformación promedio que los huesos provenientes de los machos. (2)

Aunque coincidiendo mis resultados en cuanto el sexo con los de Shah et al. (2025) en un análisis reciente de la distribución microvascular dentro del fémur canino, no se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras en términos de vascularidad ni métricas óseas, (53)

Mientras que Mora (2020) a su vez indica que el grupo de perros machos en el rango de edad >1 año hasta los 3 años fueron (52,7%) presentando el mayor número de fracturas, en fémur. (41)

En mis muestras de estudio los perros de tamaño pequeño se fracturaron en las epífisis distales, contrario al autor Flores (2018) indica que las fracturas de huesos largos afectaron con mayor frecuencia a los perros de tamaño pequeño, comparados con los perros de tamaño mediano y grande, siendo las fracturas más comunes las diafisarias, con mayor frecuencia de afectación del fémur. (42)

En mi estudio en perros de tamaño mediano se fracturaron en el tercio medio de la diáfisis siendo oblicuas diferenciando con el trabajo de Scaldaferrì, (2016) donde indica que los perros con mayor prevalencia son machos adultos mestizos de talla mediana. Siendo su fractura en diáfisis de fémur, representando un 70 %. Mientras que 58 perros mostraron fractura de tipo simple. (54)

En el tamaño se puede observar que la mayor fuerza promedio fue en los animales de tamaño grande, lo cual se relaciona con el trabajo de Fioretti (2023) en el que 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. (2)

En cuanto la resistencia que presentaron los fémures caninos, en este trabajo se obtuvo de promedio de fuerza 0,43 KN y deformación de 0,37 mm, mientras que en el trabajo de Fioretti (2023) obtuvo un resultado diferente debido a que 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 $9,32 \text{ KN} \pm 2,96$ y su deformación de $1,11 \text{ mm} \pm 0,49 \text{ mm}$. (2)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La caracterización previa permitió identificar que las dimensiones del fémur (longitud y área transversal) varían considerablemente según el tamaño, edad y sexo del canino. Los perros grandes presentaron huesos más largos y con mayor sección transversal, mientras que los de talla pequeña mostraron fémures cortos, pero más densos estructuralmente por unidad de área. Esta variabilidad anatómica influye directamente en el comportamiento mecánico del hueso. La maduración ósea se reflejó en la estructura: animales jóvenes presentaron cartílago de crecimiento activo (fracturas epifisarias tipo Salter-Harris), mientras que los adultos mostraron diáfisis completamente osificadas, permitiendo una mejor resistencia estructural.

- Recorriendo los resultados se evidencia que la resistencia del fémur canino se construye sobre la interacción de varios factores que no actúan de forma aislada sino que se entrelazan, empezando por la edad, que marca diferencias claras: los fémures jóvenes, aún con su capacidad de deformación, sostienen menos carga total pero revelan una resistencia notable cuando se analiza por unidad de área; al avanzar hacia la adultez, entre los dos y cinco años, se alcanza un punto de equilibrio donde la mecánica ósea muestra estabilidad y buena capacidad para absorber esfuerzos antes de fracturarse; sin embargo, al cruzar los seis años y más, la resistencia absoluta puede mantenerse elevada pero se hace evidente una disminución progresiva ligada a la edad avanzada, sobre todo hacia los quince años, donde la pérdida de densidad y rigidez se vuelve palpable. En ese recorrido, el tamaño corporal aporta otro matiz: los medianos resultan ser el punto biomecánico más balanceado, los pequeños, a pesar de su alta deformabilidad, sorprenden por su eficiencia relativa, mientras que los grandes, aunque potentes, se ven limitados por una rigidez que los vuelve menos tolerantes a impactos. Sumado a ello, el sexo imprime variabilidad: los machos exhiben una amplitud de resultados, con extremos de alta y

baja resistencia, en contraste con las hembras que mantienen un perfil más constante y menos disperso en términos de fuerza, rotura y deformación. De esta forma, se comprende que la respuesta del fémur a la carga no se explica por una sola variable sino por la convergencia de características anatómicas, fisiológicas y biomecánicas que se conjugan para definir su comportamiento estructural.

- Los ensayos realizados permitieron cuantificar con precisión la fuerza de fractura, la deformación previa al fallo y la resistencia por unidad de área de cada fémur. La metodología fue efectiva para distinguir diferencias significativas entre grupos etarios, de tamaño y sexo. Los datos obtenidos revelaron una relación consistente entre madurez ósea, elasticidad y resistencia estructural. Se evidenció que la rigidez ósea aumenta con la edad, pero con una reducción progresiva en la capacidad de deformarse, lo cual puede incrementar el riesgo de fracturas en edades avanzadas. El uso del equipo de compresión permitió medir con fiabilidad el comportamiento del hueso en condiciones controladas, siendo clave para establecer comparaciones válidas entre individuos y grupos. Los resultados aportan información valiosa para el campo de la traumatología veterinaria, especialmente en planificación quirúrgica, prevención de fracturas y diseño de tratamientos ortopédicos individualizados.

RECOMENDACIONES

- Es necesario mantener los fémures diseccionados envueltos en una gasa individualmente con solución fisiológica para su conservación en refrigeración de -20°C.

- Recomiendo que se investigue otras fuerzas con diferentes huesos largos tanto de miembros anteriores como de miembros posteriores, para futuras investigaciones con la creación de nuevas prótesis.

BIBLIOGRAFÍA

1. Isabel Pacheco, Rita Fioretti, Rosana Maricel, Pablo Varela, José Caminos, María Gigena, Matías Varela, Silvana González, Maximiliano Cancino, Marco Nozzi, Gastón Comeglio, Josefina Boatti. Propiedades biomecánicas y ensayo de flexión en tres puntos en la mitad de la diáfisis del fémur de perro [Internet]. Sld.cu. 2022 [citado el 05 de enero de 2025]. Disponible en: <https://morfovvirtual.sld.cu/index.php/morfovvirtual22/2022/paper/viewFile/608/481>

2. Fioretti RC, Moine R, Varela M, Varela P, Galán AM, Gigena S, et al. Densidad mineral ósea y resistencia ante la prueba de compresión en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de perro. IA [Internet]. 2023 [citado el 13 de febrero de 2025];1(1):43–52. Disponible en: http://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/15
3. Fernando Marco Martínez ALUMA. Traumatología y ortopedia para el grado en Medicina. Segunda ed. Fernando Marco Martínez ALUMA, editor. España: Elsevier; 2022.
4. Frías G. Diseño de prótesis canina de extremidad trasera. [Online]; 2020 [citado el 05 de enero de 2025]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/335496/Memoria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
5. Imbago K. Diseño generativo para el desarrollo de órtesis de canes. [Online]; 2021 [citado el 04 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/fcd31b25-6309-451e-9225-f4f0ae4d067b/content>.
6. Martinez C. Enclavado endomedular de las fracturas subtrocantéreas de fémur del anciano con clavo cefalomedular largo. Análisis clínico y biomecánico mediante el método de elementos finitos - Repositorio Institucional de Documentos [Internet]. Universidad de Zaragoza, Prensas de la Universidad. 2024 [citado el 13 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/146891?ln=es>
7. Carrasco A. Accion del bazedoxifeno sobre el metabolismo óseo y los factores de riesgo cardiovascular. [Online]; 2020 [citado el 12 de enero de 2025]. Disponible en: <https://roderic.uv.es/rest/api/core/bitstreams/0bfbc6b2-1f5b-41d9-84ea-a6ce2935de28/content>.
8. Pifarré F. Física y biomecánica clínica para fisioterapeutas y podólogos. Primera ed. Lleida Ud, editor. España: Universitat de Lleida; 2021.
9. Getty R. Anatomía de los animales domésticos. Quinta ed. Editores. S, editor. Barcelona: MASSON SA; 1999.
10. Narváez B. Valores hematológicos de referencia en caninos que presentan fracturas de miembros anteriores y posteriores que concurren a la Clínica privada San Andrés. [Online];

2021 [citado el 15 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b1e37c8c-a3c6-445f-81b2-657bdfcdcf47/content>.

11. Sánchez J. Características estructurales del hueso trabecular de cabeza femoral: diferencias entre hueso fracturado y hueso no fracturado. [Online]; 2022 [citado el 13 de enero de 2025]. Disponible en: https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/26469/TD_SANCHEZ_SILES_Juan_Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

12. Salazar L. Implante de concentrado autólogo de plaquetas como tratamiento coadyuvante en la estabilización de una fractura diafisaria oblicua en el fémur de un felino. [Online]; 2020 [citado el 12 de enero de 2025]. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/887/1/Salazar_2020_TG.pdf.

13. Lucena T, Reina N. Biomecánica del hueso, aplicación al tratamiento y a la consolidación de las fracturas. EMC - Apar Locomot [Internet]. 2023;56(3):1–20. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1286935X23480094>

14. Monteagudo J. Fracturas osteoporóticas en pacientes supervivientes de sepsis: análisis de la incidencia y factores de riesgo asociados. [Online]; 2020 [citado el 08 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/19442/MONTEAGUDO%20RODR%20GUEZ%20JOAQU%20D%20N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

15. Varela MF, Fioretti RC, Moine R, Bellingeri R, Varela P, de Prada R, et al. Emisión acústica y ensayo de compresión del hueso carpo 3 de caballo [Internet]. Zenodo; 2024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.13136180>

16. Sabry F. Biomecánica La ciencia del movimiento y la fuerza en sistemas robóticos. Primera ed. [Spanish] MMDC, editor.: Mil Millones De Conocimientos [Spanish]; 2025.

17. Kyong Young Kim KMK. Similarities and differences between bone quality parameters, trabecular bone score and femur geometry. [Online]; 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260924>.

18. Opanasenko AO. Modelado y análisis de la pérdida de rigidez por ausencia de cross-links trivalentes en el tejido óseo a nivel nano-escala mediante el método de los elementos finitos. [Online]; 2021 [citado el 10 de enero de 2025]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/169659/Opanasenko%20-%20Modelado%20y%20análisis%20de%20la%20pérdida%20de%20rigidez%20por%20ausencia%20de%20cross-links%20trivalentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
19. Clark P. Libro Azul de Fracturas. [Online]; 2021 [citado el 12 de enero de 2025]. Disponible en: <https://libros.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2021/08/LIBRO-AZUL-DE-FRACTURAS-MEXICO-FINAL-SIN-MARCAS.pdf>.
20. López Y. Estudio de las propiedades óseas en pacientes que sufren síndrome de cushing mediante el uso de métodos numéricos. [Online]; 2022 [citado el 07 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2744>.
21. Fikri A, Yulisda D, Muarif A, Mulyawan R, Adi Nursalim A, Yafis B, et al. Finite Element Analysis on T-type bone plate using stainless steel 316l. Proceedings of Malikussaleh International Conference on Multidisciplinary Studies (MICOms) [Internet]. 2024;4:00009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29103/micom.v4i.887>
22. Reinstein R, Mallmann Pozzobon F, Wallau Schossler JE, Curvello de Mendonça Müller D. Fratura epifisária proximal de úmero em cão: Relato de caso. PubVet [Internet]. 2021;15(10). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v15n10a928.1-5>
23. Arciniegas EY. Luxación coxal caudoventral en canino mestizo. [Online]; 2021 [citado el 15 de enero de 2025]. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/872/1/Arciniegas%20_2021_TG.pdf.
24. Parras S. Analisis biomecánico de huesos en la estabilización de fracturas. [Online]; 2023 [citado el 13 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/73305/TFG-Amores%20Parra%20c%20Sofia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
25. Parilovsky O, Yatsenko I, Kharkiv State Zooveterinary Academy, Ukraine. Forensic veterinary characteristics of fractures, fracture dislocations, dislocations and subluxations of

the bones in the animal skeletons qualified as severe injuries. [Online]; 2023 [citado el 13 de enero de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-049-0-42>"; 2021.

26. Eyad, Mohamed MK, Ali WY, Badran AH. Fiber reinforced polymer matrix composites for orthopaedic implants. Journal of the Egyptian Society of Tribology [Internet]. 2024;21(2):39–52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21608/jest.2024.278627.1084>

27. Heo S, Lee H, Roh Y, Jeong J. Biomechanical comparison between inverted triangle and vertical configurations of three Kirschner wires for femoral neck fracture fixation in dogs: A cadaveric study. Vet Sci [Internet]. 2023;10(4):285. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/vetsci10040285>

28. Sharma M, Kumar A, Tyagi SP, Kumar A. Clinical appraisal of Admit pin for management of femur fracture in small animals. Indian J Anim Sci [Internet]. 2022;92(5):560–4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.56093/ijans.v92i5.106306>

29. Zaera J. Traumatología en pequeños animales. Resolución de las fracturas más frecuentes. Primera ed. Asis G, editor. Zaragoza: Servet; 2013.

30. Zaera J. Traumatología en pequeños animales. Resolución de las fracturas más frecuentes segunda edición. Segunda ed. Asis G, editor. Zaragoza: Servet; 2022.

31. Enrique Gómez Barrena JCA. Traumatología y ortopedia. Generalidades. Primera ed. Enrique Gómez Barrena JCA, editor. España: Elsevier; 2019.

32. D. Dilipkmar GNB, B. V. Shivaprakash PTV, S. M. Usturge SK. Evaluation of locking reconstructive plate for long bone fracture repair in dogs. Int J Curr Microbiol Appl Sci [Internet]. 2021;10(2):1102–10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.129>

33. Kumar V, Simon S, Raj P, Mahesh, Ayappan. Locking reconstruction plate for the management of diaphyseal femoral fracture in a dog. Indian J Vet Sci Biotechnol [Internet]. 2023;19(2):117–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.48165/ijvsbt.19.2.25>

34. Wangchuk T,KJS,ST,MJ,SV,&SO. Evaluation of pin plate combination for surgical management of comminuted diaphyseal femur fracture in dogs. The Pharma Innovation Journal. 2021; 10(8).

35. Aydın U, Özaydin İ, Aksoy Ö, Ermutlu CŞ, Kiliç E, Yıldız U, et al. Köpeklerde diyafizer humerus, tibia ve femur kırıklarında İntramedüller yivli pin ile tie-in osteosentezin Klinik ve radyolojik olarak değerlendirilmesi. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* [Internet]. 2022; Disponible en: <http://dx.doi.org/10.9775/kvfd.2022.27646>.
36. Abo-Soliman AAM, Ahmed AE, Farghali H. Incidence of appendicular bone fracture in dogs and cats: Retrospective study at veterinary hospital of Cairo University and some private clinics in Egypt. *World S Vet J* [Internet]. 2020; Disponible en: [https://wvj.science-line.com/attachments/article/63/WVJ%2010\(4\)%20638-652,%20Dec%2025,%202020.pdf](https://wvj.science-line.com/attachments/article/63/WVJ%2010(4)%20638-652,%20Dec%2025,%202020.pdf)
37. Myriem R, Ryhan B, Chabha B, Ouahiba Z, Amira HF, Nacéra B. Long bone fractures in cats and dogs: Characteristics and available treatment in Algiers: A retrospective study of 66 fractures. *Agric Sci Dig - Res J* [Internet]. 2025;(Of). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18805/ag.df-688>
38. Wangchuk T. Clinical studies on application of pin plate combination for surgical management of femur fracture in dogs. [Online]; 2021. Disponible en: <https://krishikosh.egranth.ac.in/assets/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fkrishikosh.egranth.ac.in%2Fserver%2Fapi%2Fcore%2Fbitstreams%2F0de93c3e-d5c6-48ce-bfec-b27f42bb2be1%2Fcontent>.
39. Candela Andrade M, Petereit F, Slunsky P, de Rus Aznar I, Brunnberg L. Healing of comminuted fractures of long bones in dogs. *Animals (Basel)* [Internet]. 2025;15(3):413. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ani15030413>
40. Medina C. Caracterización radiológica y frecuencia de las fracturas en huesos largos de los miembros anterior y posterior en perros (canis familiares) en la Clínica Veterinaria Pet's Park - La Victoria durante el periodo 2019-2020. [Online]; 2023 [citado el 06 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11273>.
41. Tola MAM, Alemán FMC, Tola JDM, Cárdenas FAR. Caracterización de fracturas del esqueleto apendicular en perros según la clasificación AO. *Polo del Conocimiento* [Internet]. 2023 [citado el 13 de febrero de 2025];8(3):2440–57. Disponible en: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5409>
42. Flores Jáuregui PA,&GRR. Características de las fracturas en huesos largos apendiculares en pacientes caninos atendidos en el servicio radiología de la Clínica Veterinaria de la

Universidad Peruana Cayetano Heredia, periodo 2013 - 2015. [Online]; 2017 [citado el 18 de enero de 2025]. Disponible en: <https://revistas.upch.edu.pe/index.php/STV/article/view/3250/pdf>.

43. Teresa Córdova MI. Evaluación retrospectiva de la frecuencia de fracturas en perros en clínicas de la ciudad de Cuenca, durante el periodo 2018-2022. [Online]; 2023 [citado el 22 de enero de 2025]. Disponible en: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ba41f160-db78-40a0-b80d-76f8ebb861fb/content>.

44. Moine, Isabel Pacheco, Rita Fioretti, Pablo Varela, José Caminos, María Gigena, Matías Varela, Silvana González, Maximiliano Cancino, Marco Nozzi, Gastón Comeglio, Josefina Boatti. Determinación de las propiedades morfológicas en la mitad de la diáfisis del hueso metatarsiano III de caballos mestizos criollos. [Online]; 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14103428>

45. Isabel Pacheco, Rita Fioretti, Rosana Moine. Determinación experimental de las propiedades estructurales y mecánicas en la mitad de la diáfisis del hueso fémur de canino sometido a ensayo de flexión. [Online]; 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.2581/zenodo.10392488/>

46. Natali J, Fioretti RC, Moine R, Gigena S, Mouguelar H, Varela M, González Sánchez S, Galán AM, Quinteros R. Morfología y comportamiento biomecánico de la falange proximal de la mano del caballo mestizo criollo. AI [Internet]. 7 de agosto de 2019 [citado 25 de julio de 2025];(3). Disponible en: https://www.ayv.unrc.edu.ar/ojs/index.php/Ab_Intus/article/view/113

47. Villalobos J. Fundamentos y usos de las prótesis ortopédicas en perros : estudio revisión. [Online]; 2021 [citado el 13 de enero de 2025]. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000815791/3/0815791.pdf>.

48. Picos N. Diseño de una prótesis canina para marcha mediante captura de movimiento y simulación numérica. [Online]; 2024 [citado el 29 de enero de 2025]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/39573>.

49. Perez Neto DMG, Muzzi LAL, Santos FL, Muzzi RAL, Kawamoto FYK, Mesquita LR, et al. Biomechanical evaluation of a femoral implant for hip resurfacing arthroplasty in dogs: An

ex vivo study. Vet Comp Orthop Traumatol [Internet]. 2024; Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0044-1800818>

50. Kim S, Cha G, Kim J, Cho J-S, Kim H-Y. The use of fully threaded headless cannulated screws for femoral neck fracture fixation in small-breed dogs show promise in cadaveric study. Am J Vet Res [Internet]. 2024;85(10). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2460/ajvr.24.05.0133>

51. Zhang Y, Buenzli PR, Scheiner S, Pivonka P. Analysis of mechanical properties and mechanical anisotropy in canine femoral cortical bone tissue of various ages using nanoindentation. Biomed Res Int. 2019;2019: Article ID 8573426. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/3503152>

52. Aguirre G, David J. Caracterización de fracturas del aparato apendicular en perros en el Hospital Veterinario Ramiro Yauri en el distrito de Chilca - Huancayo en el periodo 2021 - 2023. Universidad Peruana Los Andes; 2025.

53. Shah MAA, Tang W, Ma Y, Zhang X, Xu Y, et al. Regional distribution of microvasculature in the canine femoral head: a plastinated tissue histology and 3D reconstruction study. J Orthop Surg Res. 2025;20:170. doi:10.1186/s13018-025-05522-8

54. Scaldaferri Macías, Cristina. Incidencia de fractura de fémur en perros diagnosticados mediante radiografías digitales que asistieron a la consulta de tres centros veterinarios de la ciudad de Guayaquil. [Online]; 2016 [citado el 13 de enero de 2025]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6952#:~:text=Los%20casos%20positivos%20fueron%2087,68%25%20de%20las%20muestras%20totales.>

ANEXOS



Anexo 1. Muestra canina



Anexo 2. Disección de músculo restante en fémur



Anexo 3. Equipo de compresión de mampuestos



Anexo 5. Medición de fémur



Anexo 4. Laboratorio de comportamiento de materiales de la FIC



Anexo 6. Colocación de fémur en equipo de compresión



Anexo7. Medición de fémur en su límite elástico



Anexo 8. Fémur sometido a compresión



Anexo 9. Medición de fuerza de compresión (kN)



Anexo 10. Fractura oblicua en fémur