



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Utilización de la tomografía axial computerizada (T.A.C.) para el estudio comparativo de la almohadilla plantar de vacas y ovejas con diferente condición corporal

Use of computed axial tomography (C.A.T.) for the comparative study of
the digital cushion of cows and sheep with different body condition

Autora

Alba Placed Genovés

Directores

D. Luis Miguel Ferrer Mayayo

D. Enrique Castells Pérez

Facultad de Veterinaria

Curso 2016-2017

ÍNDICE

1. RESUMEN/ABSTRACT	3
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1 ANATOMÍA	5
2.1.1 LA PEZUÑA.....	5
2.1.2 ESTRUCTURA INTERNA DE LA PEZUÑA	7
a. Huesos.....	7
b. Articulaciones	9
c. Ligamentos.....	10
d. Tendones	11
e. Corion.....	12
f. Almohadilla plantar	13
2.2 FUNCIÓN DE LA PEZUÑA	14
2.3 BIOMECÁNICA	15
3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	17
4. METODOLOGÍA	18
4.1. DISTRIBUCIÓN DEL PESO	18
4.2. SUPERFICIE DE APOYO	20
4.3. T.A.C.	21
4.3.1 QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA	21
4.3.2 LA T.A.C. EN ESTE TRABAJO	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1 OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS ESTRUCTURAS INTERNAS POR T.A.C.	23
5.2 MEDICIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PESO EN LAS OVEJAS.....	27
5.3 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE APOYO	30
6. CONCLUSIONES	32
7. VALORACIÓN PERSONAL Y AGRADECIMIENTOS	33
8. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas del corion y las partes del casco que producen	12
Tabla 2. Media del espesor de las almohadillas centrales de vacas con distinta condición corporal	24
Tabla 3. Media y desviación del espesor de las almohadillas plantares laterales y mediales	25
Tabla 4. Correlación del espesor de las almohadillas plantares laterales y mediales	26
Tabla 5. Pesos de ovejas de distinta condición corporal y estado fisiológico.....	28

Tabla 6. Tabla de media y desviaciones de los pesos de las ovejas 28

Tabla 7. Correlación entre el porcentaje de los pesos en las ovejas 29

Tabla 8. Correlación de los pesos en las ovejas. 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cara plantar de la parte distal de una extremidad..... 6

Figura 2. Representación esquemática de los huesos de la mano 8

Figura 3. Representación esquemática del dedo del pie 9

Figura 4. Radiografía dorsopalmar de las articulaciones interfalángicas de un bovino..... 10

Figura 5. Ligamentos superficiales del miembro anterior, cara palmar 11

Figura 6. Tendones flexores y extensores 11

Figura 7. Tejido laminar de la pared del caso..... 12

Figura 8. Tejido laminar del corion..... 12

Figura 9. Almohadilla plantar 14

Figura 10. Influencia del peso corporal sobre el corion de la pezuña; las fuerzas principales están representadas por flechas..... 15

Figura 11. Apoyo en terreno duro, menos duro y blando en ovejas 16

Figura 12. Pisada de la vaca en terreno duro y blando..... 17

Figura 13. Distribución del peso de una vaca correctamente aplomada..... 19

Figura 14. Distribución del peso en una oveja correctamente aplomada según el modelo de la vaca..... 19

Figura 15. Distribución del peso de forma lateral en el descanso 20

Figura 16. Similitud entre los cascos de ambas especies. 21

Figura 17. Comparación de la pezuña de la vaca y la oveja bajo la misma regla..... 21

Figura 18. Realización de la T.A.C. en una pezuña de vaca 23

Figura 19. Algunas de las pezuñas que fueron tomografiadas 23

Figura 20. Almohadillas plantares de la vaca en corte axial 24

Figura 21. Almohadillas plantares de la oveja en corte axial 24

Figura 22. Comparación de la protuberancia de la tercera falange en la reconstrucción 3D y de la almohadilla plantar en el corte axial de ambas especies..... 27

Figura 23. Peso de las ovejas en las patas traseras y delanteras con dos básculas 28

Figura 24. Distribución real del peso de la oveja correctamente aplomada 30

Figura 25. Distribución del peso real de la oveja en descanso 30

Figura 26. Pezuñas de vaca de las que se midió la superficie de la suela 31

Figura 27. Resultados de la medición de la superficie de la suela de la pezuña y el peso que soportan por unidad de superficie en posición de descanso lateral..... 32

1. RESUMEN

La tomografía axial computerizada (T.A.C.) es una técnica de diagnóstico por imagen basada en el uso de rayos X. Su funcionamiento consiste en una emisión y captación continua de rayos X que van girando alrededor del paciente, el cual permanece inmóvil en el eje del tomógrafo. Los rayos captados son transformados en imágenes mediante un sistema computerizado y pueden presentarse en forma de cortes transversales, longitudinales o cenitales. También, nos permiten la reconstrucción tridimensional de la zona estudiada, discerniendo las diferentes texturas de los órganos.

Normalmente, la tomografía axial computerizada se utiliza para la exploración de huesos fracturados, observación de tumores, detección de coágulos de sangre, en casos de signos de enfermedad cardíaca, hemorragias internas, etc., principal, o casi exclusivamente, en animales de compañía.

En animales de abasto, su uso está muy limitado, debido al elevado coste del mismo y a la dificultad de trabajar con animales pesados. Sin embargo, esta técnica nos permite obtener imágenes de gran precisión que nos dan acceso a medir con fiabilidad las diferentes estructuras analizadas.

En el presente curso, estamos trabajando sobre cojeras en ganado vacuno y sobre la calidad y tamaño de la almohadilla plantar en animales de diferente condición corporal.

Aprovechando esta oportunidad, nos proponemos obtener y comparar los datos de la almohadilla plantar de la oveja con los de la vaca e intentar dar respuestas a las diferentes características de las presentaciones de los procesos podales en ambas especies.

El objetivo de este trabajo es comparar la almohadilla plantar de la vaca y oveja para poder explicar su participación en las cojeras de esta especie, diferente a la del vacuno.

El material ovino utilizado proviene de los animales atendidos en el Servicio de Clínica de Rumiantes durante el presente curso y las patas de vacuno de leche han sido recogidas por la profesora de prácticas externas de vacuno, en animales con y sin lesiones podales.

ABSTRACT

Computed axial tomography (C.A.T.) is a diagnostic imaging technique based on the use of X-rays. Its operation consists of a continuous emission and capture of x-rays that are rotating around the patient, which remains immobile in the axis of the tomograph. The captured rays are transformed into images by means of a computerized system and can be presented in the form of cross-sections, longitudinal or zenithal. Also, they allow us the three-dimensional reconstruction of the studied area, discerning the different textures of the organs.

Typically, computerized axial tomography is used for examination of fractured bones, observation of tumors, detection of blood clots, in cases of signs of heart disease, internal bleeding, etc., mainly or almost exclusively in pets.

In animal feed, its use is very limited, due to the high cost of the same and the difficulty of working with heavy animals. However, this technique allows us to obtain highly accurate images that give us access to reliably measure the different structures analyzed.

In the present course, we are working on lameness in cattle and on the quality and size of the plantar pad in animals of different body condition.

Taking advantage of this opportunity, we propose to obtain and compare the data of the plantar pad of the sheep with those of the cow and try to give answers to the different characteristics of the presentations of the podal processes in both species.

The objective of this work is to compare the plantar pad of cow and sheep in order to explain their participation in lameness of this species, different from that of cattle.

The sheep material used will come from the animals treated at the Ruminant Clinic Service during the present course and the paws of dairy cattle will be collected by the teacher of external bovine practices in animals with and without foot injuries.

2. INTRODUCCIÓN

Las patologías podales en rumiantes constituyen un conjunto de afecciones que provocan una merma en la función locomotora con importantes repercusiones económicas, sobre todo en ganado vacuno, debido a las muertes y consecuente incremento de la tasa de renovación, disminución de la producción de leche en ganado lechero, reducción de la eficiencia reproductiva, aumento de los días abiertos, el coste de los tratamientos y el de la mano de obra requerida, entre los más importantes (**Tadich y Flor, 2013**).

Estas patologías presentan una etiología multifactorial cuya variabilidad depende de: su conformación anatómica, enfermedades infecciosas de carácter general que pueda padecer el animal, enfermedades del tejido cutáneo próximo, enfermedades metabólicas o nutricionales, modificación de las estructuras de profundas de origen no infeccioso o infeccioso, así como alteraciones del estuche córneo (**Ferrer y Ramos, 2008**).

Respecto a la prevalencia de las afecciones podales, existen diversos estudios tanto en ganado bovino como en ovino. Las estimaciones reportadas de las tasas de incidencia anual promedio de cojera en vacuno varían desde un porcentaje tan bajo como 4% (**Eddy Scott, 1980**) a 25% (**Whitaker et al., 1983**). En promedio, en los ganados lecheros bien documentados, la cojera parece afectar al 14-17% de las vacas (**Collick et al., 1989; Esslemont y Wassell, 1990; Wells et al., 1993**). En ovejas, estimaciones recientes sugieren que más del 80 % de los rebaños contienen ovejas cojas. Es difícil poner una cifra sobre lo que podría considerarse una prevalencia aceptable, ya que cualquier oveja coja debería ser motivo de preocupación; Sin embargo, en términos prácticos, una prevalencia del 5% o más debería inducir una investigación de la causa y la implementación de un programa de control (**Winter, 2004**).

Desde una panorámica general, ambas especies de rumiantes presentan patologías podales similares, entre las que encontramos: enfermedad de la línea blanca, laminitis, fracturas, úlceras solares y pedero, entre otras (**Melling y Alder, 2000; Ferrer y Ramos, 2008**).

No obstante, aunque las afecciones podales se asemejan en ganado vacuno y ovino, se ha constatado que en bovino son significativamente más frecuentes en las patas posteriores, concretamente la pezuña lateral posterior es la más afectada y fuente de los problemas (**Toussaint, 1991**). En ovejas, las cojeras asientan con mayor frecuencia en las extremidades posteriores, pero la diferencia es poco significativa, contrariamente a lo que sucede en ganado vacuno (**Ferrer y Ramos, 2008**).

En cuanto a las causas que se asocian a la aparición de las lesiones podales, son de gran importancia las estructuras de apoyo y suspensión de la pezuña (**Räber et al., 2004**). Por ello, en los últimos años se ha estudiado la importancia de la almohadilla plantar en la etiopatogenia de las cojeras, además de la importancia de la disminución del grosor en el posparto y en las vacas flacas, así como en la composición de las diferentes almohadillas plantares (**Bicahlo et al., 2009; Huxley, 2013, Newsome et al., 2015**).

De esta forma, el conocer cómo está constituido y entender cómo funciona el pie de los rumiantes es fundamental para comprender cómo se producen sus patologías, su interpretación y cómo tratarlas (**Nan y Galotta, 2006**). Por esta razón, es preciso llevar a cabo un recordatorio de su anatomía, su función y su biomecánica.

2.1 ANATOMÍA

2.1.1 PEZUÑA

La pezuña se define como la cobertura de piel modificada sobre el extremo del miembro que, en un sentido más amplio, designa a la cobertura de piel modificada junto con las estructuras que encierra. Esta segunda definición contempla mejor la unidad funcional de todas las estructuras involucradas en el apoyo (**König y Liebich, 2005**).

La pezuña comprende la cápsula córnea y todo lo que ella contiene. Incluye la falange distal o tercera falange, la parte distal de la segunda falange, el hueso sesamoideo distal o navicular, la bolsa podotroclear, los ligamentos articulares y la parte terminal de los tendones flexores y extensores (**Chuisaca, 2011**).

En cada miembro existen dos pezuñas principales y dos accesorias. Las pezuñas principales corresponden a los dos que apoyan, los dedos III y IV, separados por un espacio interdigital situado en la parte axial (**figura 1**). Por otro lado, las dos pezuñas accesorias son los dedos subdesarrollados II y V que son notablemente más pequeñas. Las pezuñas accesorias están unidas al miembro por tejido conjuntivo, a la altura de la articulación del menudillo. De este modo, nunca apoyan ni sufren desgaste (**König y Liebich, 2005**).

Las pezuñas de los miembros torácicos son algo más romas, macizas y cortas que las del miembro pelviano y el espacio interdigital es algo más amplio. El ángulo existente entre la cápsula córnea y la suela es de 50-55°

en las anteriores y de 40-45° en las posteriores en bovino, mientras que en ovino estos ángulos son de 45-50° (König y Liebich, 2005; Ferrer y Ramos, 2008).

La pared córnea de la pezuña o lámina está doblada dorsalmente alrededor del eje del dedo. Así, sobre el dorso de la pezuña aparece un borde dorsal redondeado.

Además del dorso, en la pared córnea se observa una pared externa convexa o parte abaxial y una pared interdigital o parte axial cóncava.

La cara solar de la pezuña, que en el lenguaje clínico corriente se llama suela, es plana, pero el tejido córneo de los talones y una parte de la suela presentan en su zona axial una cara abovedada o cóncava fisiológica que no participa como superficie de apoyo (hueco axial).

Debido a la constante renovación del tejido córneo, la forma de la pezuña cambia continuamente cuando no se produce suficiente desgaste.



Figura 1. Cara plantar de la parte distal de una extremidad.

Desde el relieve superficial de la dermis se visualiza que la pezuña se divide en 5 segmentos:

- **Segmento perióptico.** El periople constituye una banda estrecha de aproximadamente 1 cm de grosor a lo largo del borde coronario que se ensancha hacia palmar, en donde se convierte en el bulbo y se fusiona con el periople de la otra pezuña. Representa estructural y funcionalmente el puente entre piel pilosa y el casquete córneo (Chuisaca, 2011).
- **Segmento de la corona.** Es la continuación distal del segmento perióptico y se extiende desde el surco que lo limita dorsalmente hasta una distancia aproximada de 2,5 cm, llegado hasta mitad del dorso del dedo. Está formado por el cuerno coronario que es el tejido córneo más duro de la pezuña y forma el estrato medio que ocupa la mayor parte de la pared córnea de la pezuña (König y Liebich, 2005).
- **Segmento de la pared.** Se sitúa por debajo de la gruesa capa del cuerno coronario y se extiende hasta el límite entre la dermis de la pared y la de la suela. Distalmente se encuentra la línea alba, que

es el tejido córneo del segmento de la pared visible en el borde solar, y establece la unión entre el tejido córneo de la corona y de la suela (**König y Liebich, 2005**).

- **Segmento de la suela.** El segmento de la suela está delimitado por el contorno interno de la línea alba en la superficie de la suela. Presenta una superficie plana y participa en toda su extensión en la superficie de apoyo de la pezuña en suelo blando. Desde el exterior es imposible diferenciar macroscópicamente entre el segmento de la suela y el segmento de los talones. Por palpación tampoco se detectan diferencias (**König y Liebich, 2005**).
- **Segmento de los talones.** Se halla continuando el segmento de la suela en la cara solar de la pezuña y consta de una parte proximal o base y una parte distal o vértice. En su parte proximal existe un acolchado de hasta 2 cm de grosor de tejido conjuntivo y adiposo a lo ancho de todos los talones y actúa en unidad funcional con el tejido córneo elástico como mecanismo amortiguador del impacto de la pezuña sobre el suelo en el momento del apoyo (**König y Liebich, 2005**).

2.1.2 ESTRUCTURA INTERNA DE LA PEZUÑA

a. HUESOS

El esqueleto de la mano forma la base ósea del extremo del miembro torácico (**König y Liebich, 2005**). De proximal a distal se distinguen los siguientes componentes (**figura 2**):

- Los huesos del carpo.
- Los huesos metacarpianos.
- Los huesos de los dedos de la mano.

Los huesos del carpo se hallan dispuestos en una fila proximal o antebraquial y en otra distal o metacarpiana.

La disposición básica en los rumiantes es la siguiente (**König y Liebich, 2005**):

- Fila antebraquial, de medial a lateral:
 - Hueso carporradial o escafoides.
 - Hueso carpal intermedio o semilunar.
 - Hueso carpocubital o piramidal.
 - Hueso accesorio del carpo o pisiforme.
- Fila metacarpiana, de medial a lateral:
 - Hueso carpal II o trapecoide fusionado con el hueso carpal III o grande.
 - Hueso carpal IV o ganchoso.

Es decir, en los rumiantes hay seis huesos del carpo porque falta el hueso carpal I. El hueso carpal II y el hueso carpal III están fusionados y el hueso carpal V falta siempre porque se ha fusionado con el carpal IV o no existe.

En su origen, los huesos metacarpianos constituyen cinco dedos independientes que así forman el esqueleto del metacarpo. En los rumiantes los metacarpianos III y IV están fundidos en buena medida en un solo dedo, mientras que faltan el metacarpiano I y II. El metacarpiano V es rudimentario (König y Liebich, 2005).

Respecto a los huesos de los dedos de la mano, pueden clasificarse como sigue (König y Liebich, 2005):

- Falange proximal, primera falange o cuartilla formada por el extremo proximal o base, el cuerpo y el extremo distal o cabeza; en ambos extremos presentan superficies articulares y tuberosidades laterales para los ligamentos.
- Falange media, segunda falange o corona de los rumiantes, es parecida a la falange proximal.
- Falange distal, tercera falange o tejuelo, en la que se puede discernir una cara articular, una cara parietal y una cara solar. También posee una cavidad medular.

Además, en las articulaciones de los dedos de la mano existen los huesos sesamoideos, tanto proximales como distales en la cara palmar de los dedos (König y Liebich, 2005).

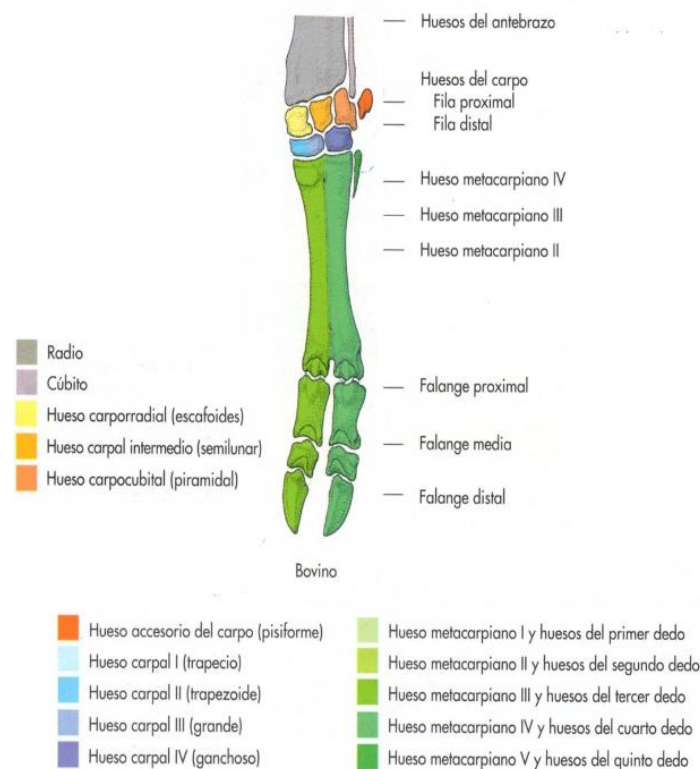


Figura 2. Representación esquemática de los huesos de la mano (Chuisaca, 2011).

Respecto al esqueleto del pie, es el que forma la base ósea del miembro pelviano y de proximal a distal presenta los siguientes componentes (König y Liebich, 2005):

- Los huesos del tarso.
- Los huesos metatarsianos.
- Lo huesos de los dedos del pie.

Los huesos tarsianos se ubican en una fila proximal o crural, una intertarsiana y otra distal; son los siguientes (König y Liebich, 2005):

- En la fila proximal o crural:
 - Astrágalo.
 - Calcáneo.
- En la fila intertarsiana:
 - Hueso central del tarso.
- En la fila distal o metatarsiana desde el lado medial al lateral:
 - Hueso tarsal I.
 - Hueso tarsal II.
 - Hueso tarsal III.
 - Hueso tarsal IV.

En esta especie hay cinco huesos tarsianos ya que el hueso tarsal central se ha fusionado con el hueso tarsiano IV para formar el hueso central del tarso y también se han fusionado el hueso tarsiano II con el III (figura 3).

El esqueleto del metatarso y el de los dedos del pie en términos generales se corresponden con los mismos que los del miembro anterior (König y Liebich, 2005).

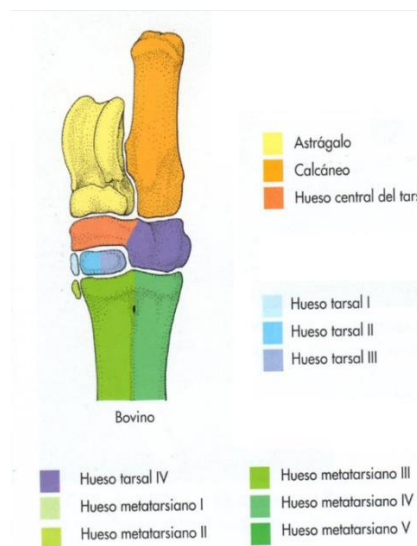


Figura 3. Representación esquemática del dedo del pie (Chuisaca, 2011).

b. ARTICULACIONES

En cada dedo se han desarrollado tres articulaciones (König y Liebich, 2005) y se diferencia entre (figura 4):

- Articulaciones metacarpofalángicas.
- Articulaciones interfalngianas proximales o de la cuartilla.
- Articulaciones interfalngianas distales o del menudillo.

En rumiantes, las articulaciones metacarpofalángicas presentan la unión a través de sus trócleas de los huesos metacarpianos III y IV. Además, en su superficie palmar presentan dos huesos sesamoideos adosados (König y Liebich, 2005).

La posición normal de la articulación metacarpofalangiana, en reposo, es de hiperextensión y las dos cápsulas articulares poseen fondos de sacos articulares amplios por la movilidad que presentan (Nan y Galotta, 2006).

Las articulaciones interfalángicas proximales o de la cuartilla actúan como una articulación en forma de silla de montar; su base ósea está formada por la tróclea de la primera falange y la fosa articular de la segunda. De este modo, tienen preferencia de movimientos de extensión-flexión y movimientos laterales muy débiles (König y Liebich, 2005).

Las articulaciones interfalángicas distales o del menudillo también son articulaciones en forma de silla de montar y en ellas la tróclea de la segunda falange se une con la tercera falange. Así mismo, los movimientos que prevalecen son los de extensión-flexión con restricción de los laterales (König y Liebich, 2005).

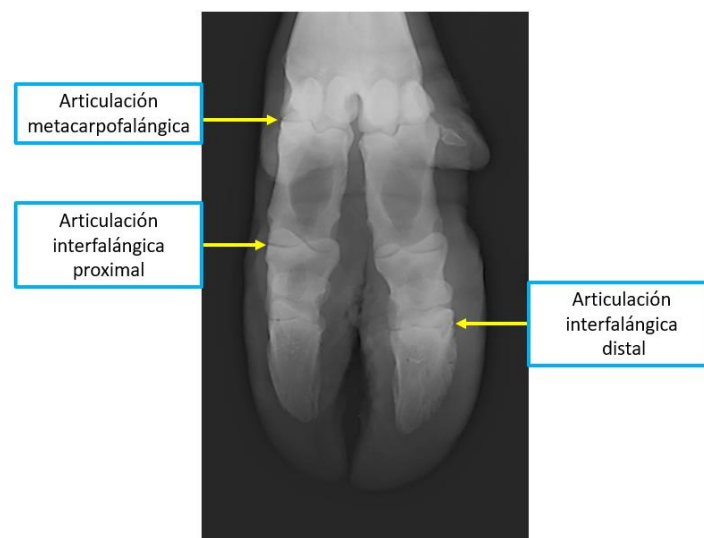


Figura 4. Radiografía dorsopalmar de las articulaciones interfalángicas de un bovino

c. LIGAMETOS

Existen varios ligamentos que se entrecruzan y están encargados de prevenir el desplazamiento de los dedos (Chuisaca, 2011).

Los ligamentos Interdigitales impiden que los dedos se desvíen hacia afuera. Uno de ellos une las caras axiales de las primeras falanges. Un segundo ligamento interdigital cruza el espacio interdigital a nivel de los huesos naviculares (figura 5).

En el aparato ligamentoso de la articulación metacarpofalángica se puede distinguir:

- El ligamento interdigital proximal que une las primeras falanges y los huesos sesamoideos axiales.
- Los ligamentos colaterales axiales y abaxiales de cada primera falange.
- Los ligamentos sesamoideos proximales, medios y distales.



Figura 5. Ligamentos superficiales del miembro anterior, cara palmar (König y Liebich, 2005).

d. TENDONES

Existen varios tendones que unen los músculos de la pata con los huesos de la pezuña. De este modo, los tendones pueden transmitir las fuerzas de contracción muscular a los huesos y producir un movimiento (Habel, 1985). Estos tendones son (figura 6):

- **Tendón extensor digital común.** Sus ramas salen del músculo extensor digital común y terminan en las apófisis extensoras de la tercera falange de cada dedo.
- **Tendones extensores digitales medial y lateral.** Se insertan sobre todo en la extremidad proximal de la segunda falange, aunque en parte también lo hacen en la tercera.
- **Tendón flexor digital superficial.** Su origen tiene lugar en el músculo flexor digital superficial y cada rama se inserta en el tubérculo flexor de la cara palmar del extremo proximal de la segunda falange.
- **Tendón flexor digital profundo.** Proviene del músculo flexor digital profundo y llega hasta el prominente tubérculo flexor de la tercera falange.

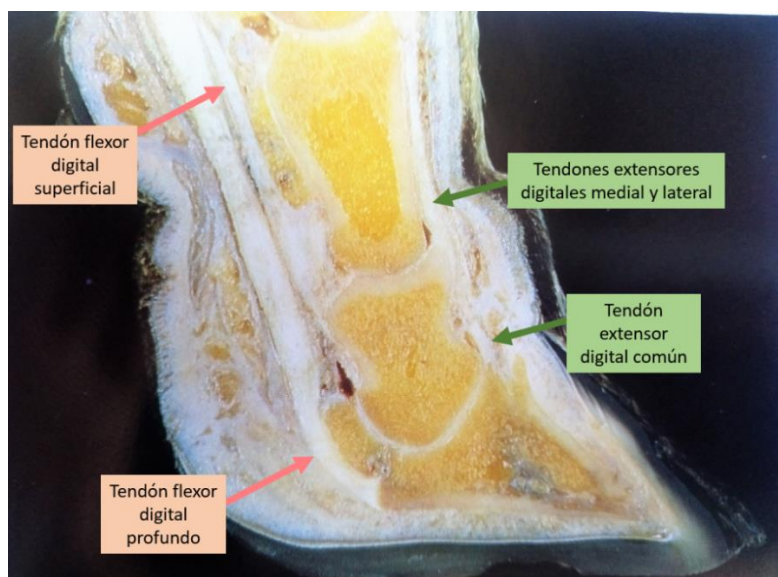


Figura 6. Tendones flexores y extensores (Raymond et al., 1996).

e. CORION

La pezuña se compone de un estrato vásculo-nervioso blando y sensible llamado corion, el cual está rodeado por dentro de los huesos de las falanges y, por fuera, del estuche córneo. El corion es la dermis especializada cuya misión es la producción del casco y tiene varias zonas según la parte del casco que produce (**tabla 1**). Por otro lado, el casco es la epidermis modificada con alto contenido en queratina y su misión es la protección del corion (**González, 2003**).

Tipo de corion	Zona del casco que produce
Perióplico y del talón	Periople y talón
Coronario	Pared
Laminar	Línea blanca
Tubular	Suela

Tabla 1. Zonas del corion y las partes del casco que producen (**González, 2003**).

En la parte media inferior del tejido córneo de la pared, la transición del corion a la epidermis (tejido córneo) presenta láminas y corresponde al corion laminar (**figura 8**). Estas láminas corren a lo largo del eje longitudinal de la pezuña. Aquí, el tejido conectivo subcutáneo está ausente entre el corion y la tercera falange. De este modo, el corion se encuentra firmemente adherido al hueso podal abaxialmente, en la punta y en el área axial anterior. Por lo tanto, en esta región, la tercera falange está inmóvil y fija en el tejido córneo del casco (**Toussaint, 1991**).

Así, la inmovilidad de la tercera falange en el tejido córneo se ve aumentada por la unión de las láminas del corion laminar a las de la pared del casco (**figura 7**), lo que hace muy fuerte la unión entre el corion y el tejido córneo del casco (**Toussaint, 1991**).

Esta fijación de la tercera falange provoca un paso firme y estable.

Cuando este sistema falla, la fuerza de la tercera falange sobre la suela es excesiva y es causa principal de cojeras.



Figura 7. Tejido laminar de la pared del casco



Figura 8. Tejido laminar del corion

f. ALMOHADILLA PLANTAR

Las propiedades de las estructuras de suspensión y apoyo de la pezuña bovina son de particular importancia en la patogenia de las lesiones de la pezuña ya que ambas deben funcionar de forma óptima para evitar traumas y compresión de tejidos blandos. Un componente esencial es la almohadilla plantar, con función amortiguadora y absorbente, y situada debajo de la falange distal (**Räber et al., 2004**).

La almohadilla plantar o digital está compuesta por tres almohadillas paralelas de grasa: axial, central y abaxial (**figura 9**), las cuales discurren longitudinalmente desde el talón y por debajo de la tercera falange con numerosas ramificaciones transversales en forma de dedo que conectan las almohadillas axial y abaxial craneales al tubérculo flexor del tejuelo. La axial y abaxial se encargan de soportar los movimientos laterales, mientras que el peso de la tercera falange descansa en su mayor proporción en la almohadilla central (**Räber et al., 2004**).

La almohadilla grasa media con frecuencia termina justo en el extremo apical del tubérculo flexor de la falange distal, lo cual puede provocar un efecto inferior de amortiguación debajo de la tercera falange y aumentar la probabilidad de úlceras (**Räber et al., 2004**).

De esta forma, el corion de la suela y el talón en rumiantes y, especialmente, la almohadilla plantar subyacente en el subcutis, son amortiguadores esenciales que soportan una proporción considerable del peso de los animales (**Lischer y Ossent, 2002**).

Pero la almohadilla plantar no sólo sirve como amortiguador para el tejuelo, sino que representa una capa que permite una movilidad considerable entre el hueso del pie y la cápsula del casco de la pezuña, fijo por el corion laminar en la parte anterior. (**Lischer y Ossent, 2002**). Esto da lugar a un paso ágil (**Toussaint, 1991**).

La almohadilla en las novillas es predominantemente de tejido conjuntivo laxo con abundante sustancia amorfa y hay un marcado y progresivo aumento del tejido adiposo con la edad (**Lischer y Ossent, 2002**).

La grasa en la almohadilla digital tiene un alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados, los cuales se producen principalmente de forma endógena y cuanto más hay en el tejido graso, más suave es. De esta forma, se puede decir que la estructura del cojín digital posee su propio "suavizante de grasa" con la producción endógena de ácidos grasos monoinsaturados (**Räber et al., 2006**).

Los estudios epidemiológicos han demostrado que existe una mayor tendencia a las lesiones podales al inicio de la primera lactancia (**Boosman et al., 1991; Enevoldsen et al., 1991; Greenough y Vermunt, 1991; Smilie et al., 1999**). Las novillas tienen significativamente menos grasa en las almohadillas digitales y presentan ácidos grasos ligeramente más saturados que las vacas. Esto indica que el cambio de ácidos grasos saturados a monoinsaturados y la proliferación de grasa ocurre en el primer parto y durante la siguiente lactación. Es posible que estos cambios en las almohadillas digitales de la novilla las hagan menos resistentes (**Lischer y Ossent, 2002**). Además, en el balance energético negativo del posparto se pierde parte de esa grasa.

Son estos tejidos los que se dañan cuando el aparato de suspensión, independientemente de la unión epidérmico-dérmica o la capa de colágeno, da paso suficiente para permitir que el hueso de la tercera falange se hunda y comprima las estructuras subyacentes (**Lischer y Ossent, 2002**).

Obviamente, el daño a las capas productoras del casco será mejor compensado en aquellas pezuñas donde las almohadillas de grasa bajo la tercera falange estén bien desarrolladas. Una comparación de las almohadillas digitales entre pezuñas sanas y pezuñas con úlceras solares reveló que la falange de las pezuñas ulceradas se había hundido y el corion palmar y subcutis eran más delgados que en las sanas. Las almohadillas en el talón contenían significativamente menos tejido adiposo que las no dañadas; La grasa había sido reemplazada por tejido conectivo de colágeno (**Lischer and Ossent, 2000**). Hay algunos indicios de que el metabolismo de la grasa en la vaca de alto rendimiento podría tener alguna relación con el desarrollo de las lesiones de la suela y las alteraciones en la función de amortiguación de la almohadilla digital. Sin embargo, los procesos metabólicos involucrados y sus efectos sobre la salud de las pezuñas no son aun suficientemente claros (**Lischer y Ossent, 2002**).

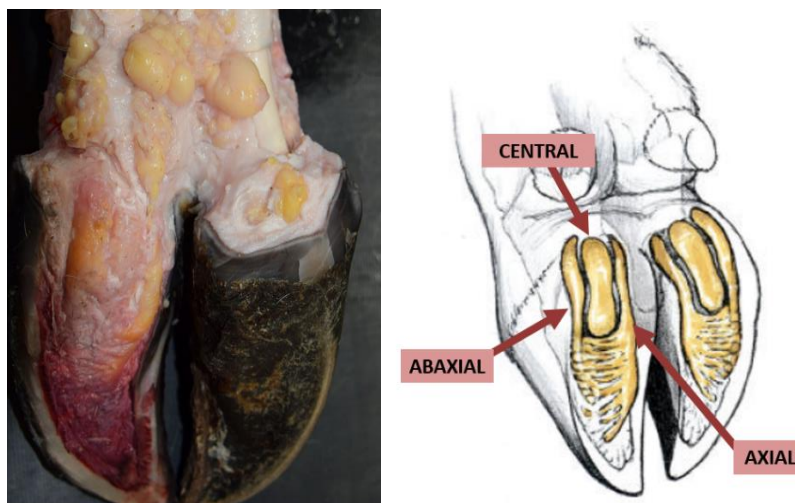


Figura 9. Almohadilla plantar. Dibujo de Lischer y Ossent, 2002.

2.2 FUNCIÓN DE LA PEZUÑA

La pezuña es un elemento de protección contra lesiones ambientales de índole mecánica, química y biológica. Esta protección adquiere importancia en situaciones de estabulación intensiva con suelo inadecuado y presencia de sustancias agresivas (**König y Liebich, 2005**).

Del mismo modo, la pezuña tiene también funciones de amortiguación durante la fase de apoyo del miembro sobre el suelo. La carga que durante la locomoción actúa fuertemente sobre el vértice del miembro es amortiguada, repartida y desviada para evitar sobrecargas locales. La base del mecanismo de amortiguación es la fuerte almohadilla plantar, que forma una unidad funcional con el tejido córneo elástico de la suela (**König y Liebich, 2005**).

A lo anterior, se añade la función amortiguadora del mecanismo de separar las pezuñas una de otra. De esta manera, cuando reciben una carga, las pezuñas principales se separan un poco, pero enseguida son frenadas por el ligamento inerdigital distal, lo que evita una separación excesiva (König y Liebich, 2005).

Durante el apoyo del miembro en terreno blando, a diferencia del caballo que sólo apoya sobre el borde solar del casco, las pezuñas también apoyan con los talones y la suela en la zona de proyección de la almohadilla (König y Liebich, 2005). No ocurriendo lo mismo en terreno duro, ya que las fuerzas no pueden distribuirse por toda la suela y el peso durante el apoyo recae sobre todo en la parte abaxial y sobre los talones (Ferrer y Ramos, 2008).

De este modo, se puede decir que la pezuña cumple una doble función (Toussaint, 1991):

- Proteger el corion.
- Soportar el peso corporal.

2.3 BIOMECÁNICA

Al apoyar, el peso del cuerpo se transmite a los miembros a través de las distintas estructuras óseas pasando, en el dedo, de la segunda a la tercera falange (Ferrer y Ramos, 2008). La fuerza (R), que se mueve de forma brusca en dirección del eje longitudinal de la segunda falange, se aplica sobre el centro de rotación (h) de la articulación podal. En la tercera falange, la fuerza se puede dividir en varias fuerzas menores cuya suma es R y la cual representa la carga que la tercera falange deposita sobre el corion (figura 10).

Esta carga sólo existe cuando el tejido córneo, apoyado sobre el suelo, ejerce una fuerza igual sobre el corion, pero en dirección opuesta. Es decir, el corion está bajo presión, entre el hueso podal y el tejido córneo de la suela, de la pezuña que está soportando el peso (Toussaint, 1991).

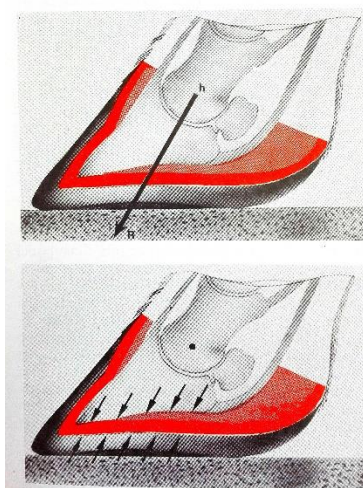


Figura 10. Influencia del peso corporal sobre el corion de la pezuña; las fuerzas principales están representadas por flechas (Toussaint, 1991).

En estas condiciones, la pezuña se mantendrá firme y recta sobre el suelo y la superficie de soporte será estable. La estabilidad es importante porque, de esta forma, el casco soporta el peso corporal de un modo más eficiente (**Ferrer y Ramos, 2008**).

Así, en condiciones normales de manejo e individuos sanos, la producción y el desgaste del tejido córneo están en perfecto equilibrio y el tejido se mantiene intacto y fuerte.

En ganado ovino, la pared es siempre más larga que la suela, de tal forma que la mayoría del peso del animal recaerá sobre la parte más fuerte, la pared exterior. En superficies duras, el apoyo sigue recayendo sobre la pared, pero más sobre la parte abaxial y sobre el área plantar de los talones. Sin embargo, en superficies blandas o deformables las fuerzas se pueden repartir de tal modo que la suela forma parte del área de apoyo (**figura 11**).

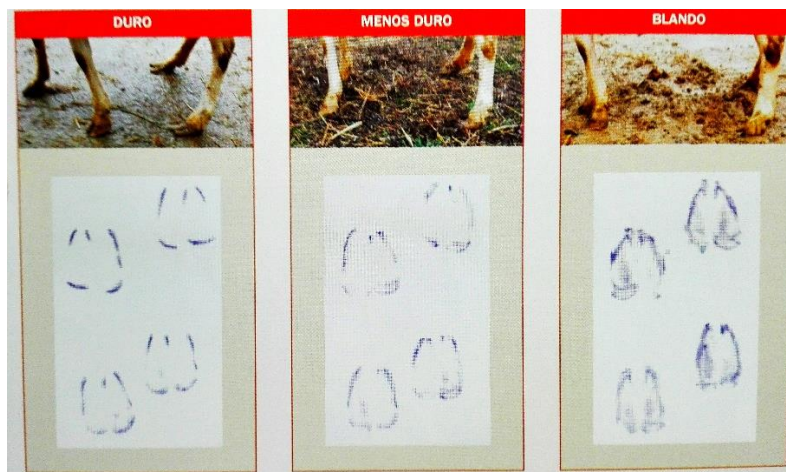


Figura 11. Apoyo en terreno duro, menos duro y blando en ovejas (**Ferrer y Ramos, 2008**).

De forma equivalente ocurre en ganado bovino; Es indudable que sólo el suelo cementando puede garantizar la higiene en las zonas de más tránsito de animales. Sin embargo, la interacción biomécanica de la pezuña con el suelo duro de hormigón no es tan favorable. La vaca que pisa en blando reparte las cargas de la pezuña uniformemente por toda la superficie de la suela y al pisar en duro los pesos se concentran en puntos concretos aumentando el riesgo de aparición de cojeras (**González, 2013**).

En la **figura 12**, en la ilustración de la izquierda, se puede ver que la vaca pisando en cemento, presenta una sobrecarga en la pezuña más grande, que es la posterior externa. En la ilustración de la derecha, se observa esa misma pezuña pisando en un suelo blando, como puede ser la pradera, y el peso se reparte uniformemente.

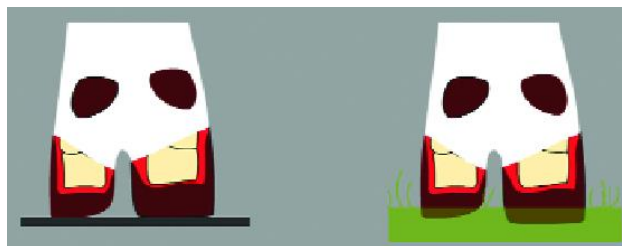


Figura 12. Pisada de la vaca en terreno duro y blando (González, 2013).

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Hay que tener presente que las afecciones podales invalidan al animal en cuanto a su estado de salud, como la dificultad para moverse, el mayor tiempo en decúbito, menor ingestión de alimentos y de agua, menor producción, retraso en la reproducción, mayor tiempo de dedicación para tratamientos, costos de los mismos y el mayor descarte prematuro (Chuisaca, 2011).

Sin embargo, estas patologías podales afectan de forma diferente al ganado vacuno y ovino, siendo en el caso de las vacas más frecuentes en las pezuñas externas de las patas traseras y no observándose la misma distribución en el ganado ovino (Toussaint, 1991; Ferrer y Ramos, 2008).

Debido a las importantes repercusiones que tienen estas patologías y a la diferente afección existente entre ambas especies de rumiantes, se ha dispuesto un estudio comparativo de la anatomía de la pezuña de las vacas y las ovejas. Para ello, y a pesar de que la causa y desarrollo de las lesiones podales sigue siendo poco comprendida (Lischer y Ossent, 2002; Newsome et al., 2016), hay que tener en cuenta que las estructuras de apoyo y suspensión deben funcionar correctamente para evitar lesión de los tejidos blandos (Räber et al., 2004). Una importante estructura de apoyo que amortigua y absorbe de manera elástica las fuerzas durante el mismo es la almohadilla plantar, la cual se sitúa debajo de la tercera falange. Esta almohadilla se divide en tres partes: la axial y abaxial, encargadas de soportar los movimientos laterales, y la almohadilla plantar central, sobre la cual descansa el peso del animal en su mayor proporción durante el apoyo (Räber et al., 2004).

Teniendo en cuenta que el mayor peso soportado durante el apoyo tiene lugar en la almohadilla plantar central y la existencia de recientes investigaciones que relacionan el estado de estas almohadillas con la condición corporal del animal y la predisposición a padecer lesiones del casco (Bicahlo et al., 2009; Huxley, 2013, Newsome et al., 2016), se ha llevado a cabo la medición de las almohadillas plantares centrales en vacas y ovejas de diferente condición corporal con la finalidad de comparar su grosor y relacionar ese espesor con la condición corporal y la aparición de procesos podales. De acuerdo con Lischer y Ossent, 2002, el daño podal es más compensado en las pezuñas cuyas almohadillas de grasa localizadas bajo el tejuelo están más desarrolladas.

Dada la discrepancia de los resultados obtenidos, ha sido necesario reconducir este trabajo estudiando nuevos temas que no habían sido previstos en su comienzo.

Para poder visualizar las almohadillas plantares de ambas especies de rumiantes, se ha utilizado la tomografía axial computerizada o T.A.C. como técnica de diagnóstico por imagen, la cual posibilita las mediciones con gran precisión. De acuerdo con esta teoría, como la *lesión típica* de la suela del ganado vacuno aparece en las patas traseras externas (**Toussaint, 1991**), la almohadilla central de la pezuña lateral posterior afectada de estos animales puede presentar menor grosor que las del resto de los miembros, así como animales de mayor condición corporal tendrán mayor espesor de las almohadillas que aquellos que presenten una condición corporal más pobre. De esta forma, las almohadillas plantares centrales se podrán comparar con las almohadillas de las ovejas y sacar conclusiones para poder explicar su participación en las lesiones podales de esta especie, con distinta localización de la afección a las del vacuno.

Así mismo, debido a las diferencias estructurales encontradas y a la importancia del apoyo de acuerdo con **Räber et al., 2004**, se dispone a estudiar la distribución del peso tanto en ovejas como en vacas para poder conocer el peso aproximado que soportan en descanso cada uno de sus miembros.

Además, es necesario añadir al estudio la superficie de la suela de la que disponen ambas especies tanto en suelo duro como en suelo blando. Esta medición de la superficie de apoyo en la suela en ambos casos de terreno se debe a que la distribución de las fuerzas en el apoyo en cada uno de ellos es distinta y, por lo tanto, repercute de forma diferente en las estructuras de apoyo y suspensión, lo cual puede favorecer la aparición de procesos podales (**González, 2003; Ferrer y Ramos, 2008; González, 2013**).

De forma más concreta, en este estudio se ha realizado:

1. Análisis de la distribución del peso en ambas especies con recopilación bibliográfica y medición del peso en ovejas de distinta condición corporal y estado fisiológico, tanto en las patas delanteras como en las traseras.
2. Estimación de la superficie de apoyo de la suela, tanto en suelo duro como en suelo blando.
3. Realización de la tomografía axial computerizada de pezuñas de vacas y ovejas obteniendo imágenes de gran precisión de las distintas estructuras que componen las pezuñas de ambas especies y comparativa de las almohadillas plantares a nivel visual y medición de las centrales.
4. Explicación de la participación de la almohadilla plantar en las cojeras de ganado ovino, diferente a la del vacuno.

4. METODOLOGÍA

4.1. DISTRIBUCIÓN DEL PESO

Como se ha dicho anteriormente, la pezuña cumple una doble función: proteger al corion y soportar el peso corporal (**Toussaint, 1991**). Para entender cómo soporta la pezuña el peso corporal es necesario conocer la distribución del peso del animal en cada uno de sus miembros. De este modo se pueden detectar posibles sobrecargas que pueden favorecer la aparición de procesos podales en estos rumiantes. Esto se debe a que

el mayor soporte del peso de forma continua en un área determinada de la pezuña puede convertir esa zona en un punto vulnerable que desencadene una lesión podal (Toussaint, 1991).

En el ganado vacuno, la mayor parte de su peso se transmite a las extremidades posteriores (aproximadamente el 60%), de tal forma que, en una vaca de 650 kilos, teniendo en cuenta que esté aplomada correctamente, descansará alrededor de 400 kilos en la parte posterior, y de estos, teóricamente, su división será uniforme entre los dos miembros, es decir unos 200 kilos en cada pata y 100 en cada pezuña (Toussaint, 1991) (figura 13).

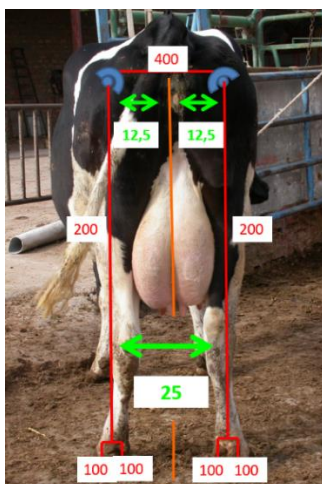


Figura 13. Distribución del peso de una vaca correctamente aplomada.

En el caso de la oveja, si siguiera el mismo modelo de distribución del peso, descansaría igualmente 60% de su peso sobre las patas traseras, es decir, en una oveja de 65 kilos, apoyaría 40 kg en sus patas posteriores (figura 14).

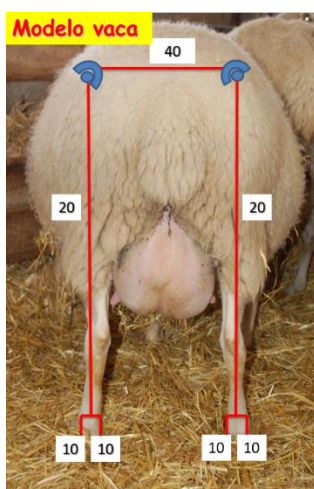


Figura 14. Distribución del peso en una oveja correctamente aplomada según el modelo de distribución del peso de la vaca.

Pero los rumiantes no están correctamente aplomados todo el tiempo, sino que descansan apoyando el peso de forma lateral desviándose de esa posición "cuadrada". De este modo, al variar 5 grados el ángulo de

aplomo, el peso se distribuye entre los dos miembros descansando las 3/5 partes del mismo en la extremidad sobre la que apoyan, cargando más peso en la pezuña externa, y las 2/5 partes en la otra (**figura 15**).

Cuanto más grados se desvían de la verticalidad, más carga soporta la pata sobrecargada hasta el límite en el que una pata queda suspendida y todo el peso recae en la otra y especialmente en su pezuña externa. Cosa que sucede cada vez que da un paso o cuando por algún problema de cojera retrae una extremidad y descansa sobre la otra. Esto provoca en las vacas que la pezuña medial tenga el hueso de la tercera falange más plano que la lateral, la cual presenta una protuberancia desarrollada debido al mayor peso que soporta y, consecuentemente, al mayor trabajo que realizan los tendones flexores (**Toussaint, 1991**).

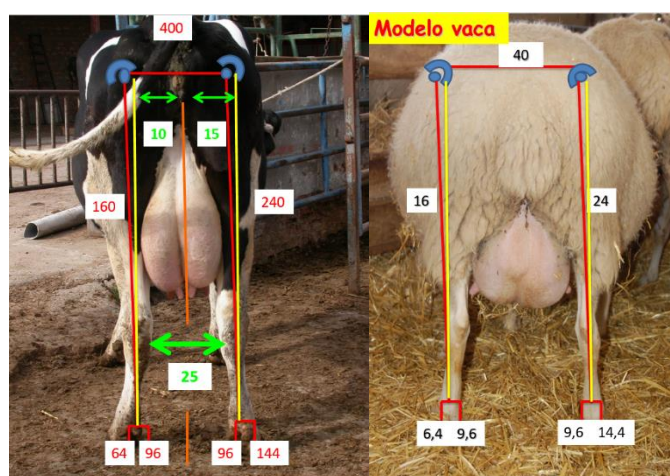


Figura 15. Distribución del peso de forma lateral en el descanso.

Para el estudio y conocimiento de la distribución del peso en ovejas se han pesado en este trabajo un total de 32 ovejas de distinta condición corporal y distinto estado fisiológico, tanto en sus patas delanteras como en las traseras, mediante dos básculas. Los animales provienen del Servicio Clínico de Rumiantes de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza.

4.2. SUPERFICIE DE APOYO

Si se juntan la pezuña de una vaca con la de una oveja, se observa que la estructura del casco, en principio, son similares (**figura 16**). No obstante, al comparar la superficie de ambas y el peso soportado en cada especie, se observa que la pezuña de la oveja es, proporcionalmente a su peso, mayor que la de la vaca, ya que la vaca soporta hasta 10 veces más de peso que una oveja y se puede apreciar, de forma superficial y visual sin la realización previa de cálculos de medida de superficie, que la pezuña de la vaca no es 10 veces mayor a la de la oveja (**figura 17**). Esto puede ser un factor favorecedor para el desarrollo de patologías podales en el ganado vacuno: la insuficiente superficie de apoyo en la suela de la pezuña.



Figura 16. Similitud entre los cascos de ambas especies (aumentada la pezuña de oveja en el lado derecho).



Figura 17. Comparación de la pezuña de la vaca y la oveja con la misma escala.

Además, hay que tener presente que la distribución de las fuerzas en la suela durante el apoyo no se produce de la misma forma en terreno duro que en terreno blando. Como la pared es generalmente más larga que la suela, la mayoría del peso del animal recae sobre la parte más fuerte, la pared exterior, que en superficies duras el apoyo sigue recayendo sobre la pared debido a la incapacidad de expansión del peso por el área de la suela de la pezuña. Sin embargo, en superficies blandas o deformables las fuerzas se pueden repartir de tal modo que la suela forma parte del área de apoyo (**González, 2003; Ferrer y Ramos, 2008; González 2013**).

Es por esto por lo que en este trabajo se va medir y calcular el área aproximada de apoyo de la que disponen las ovejas y las vacas en la suela, tanto en terreno duro como en terreno blando. De esta manera, se puede comparar las áreas de la suela entre ambas especies y añadir otra razón asociada a la distinta distribución de las lesiones podales entre vacas y ovejas, teniendo en cuenta que una mayor superficie en el apoyo en la suela permite una mayor capacidad para la distribución de las fuerzas en ella y, consecuentemente, provoca una menor sobrecarga en la pezuña reduciendo el riesgo de aparición de procesos podales.

4.3. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTERIZADA

4.3.1 QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA

La tomografía axial computerizada (T.A.C.) es una técnica de diagnóstico por imagen basada en el uso de rayos X. Las imágenes obtenidas mediante este sistema pueden presentarse en forma de cortes transversales, longitudinales o cenitales. También, nos permite la reconstrucción tridimensional de la zona estudiada, discerniendo las diferentes texturas de los órganos (**Liste, 2010**).

Un equipo de T.A.C. consta unos componentes básicos (**Liste, 2010; Schwarz y Saunders, 2011**):

- Carcasa, pórtico o *gantry*: compuesto por un generador, detectores, tubo de rayos X y colimador
- Mesa
- Equipo hardware.
- Consola de operador.
- Opcionalmente, estaciones de trabajo adicionales.

El pórtico es un anillo que contiene el tubo de rayos X, el conjunto de detectores y el equipo asociado. El orificio central del pórtico acomoda al paciente sobre una mesa corredera. El tubo de rayos X gira alrededor de una porción de la anatomía del paciente. Este corte representa el plano X-Y, con el eje X en posición horizontal y el eje Y en posición vertical. El isocentro del pórtico es el punto central de este plano. La tercera dimensión está representada por el eje Z, que está a lo largo de la orientación de la mesa del paciente. La cama del paciente es una bandeja deslizante sobre una mesa fija con una altura ajustable y una capacidad definida de movimiento directo. La consola del operador se encuentra en otra habitación o detrás de un blindaje radioprotector, y permite el funcionamiento de las unidades del tomógrafo. Pueden usarse estaciones de trabajo adicionales para revisar los datos de imagen procesados, pero usualmente no se realiza procesamiento de datos en bruto (**Schwarz y Saunders, 2011**).

Un tubo de rayos X es un tubo de vacío que produce rayos X. Se compone de un cátodo (filamento) y un ánodo (blanco). La copa del cátodo está cargada negativamente e incorpora un filamento de tungsteno enrollado que emite electrones cuando se calienta. El ánodo consiste en un disco de tungsteno o una aleación de tungsteno con un objetivo anular, llamado la pista focal, cerca del borde (**Schwarz y Saunders, 2011**).

Como el tubo de rayos X, en esta técnica de diagnóstico por imagen, tiene la posibilidad de rotar alrededor del eje axial del paciente, un área de tejido muy pequeña puede ser atravesada por múltiples rayos X que provienen de distintas direcciones. Estos rayos se envían con una determinada intensidad al paciente a través del cátodo y el ánodo, son absorbidos por los tejidos e impactan con los detectores situados en el lado contrario del tubo de rayos X, donde queda registrada la información para la creación de las imágenes en el ordenador (**Liste, 2010**).

La base de interpretación de las imágenes es similar a la radiología convencional, por lo que los tipos de densidades radiológicas que se pueden reconocer serán las mismas, siendo de mayor a menor opacidad: metálica, mineral, tejido blando/fluido, grasa y gas (**Liste, 2010**).

Los equipos actuales poseen tubos rotatorios que describen una hélice sobre el eje axial del paciente, disminuyendo considerablemente el tiempo del estudio a realizar. De esta forma, a medida que el paciente entra en el *gantry* con una velocidad previamente establecida, el tubo de rayos gira con otra velocidad también preestablecida alrededor de la mesa sin detenerse, es decir, la exposición a la radiación, el movimiento de la mesa y la adquisición de datos ocurren simultáneamente. Esta característica hace posible la obtención de datos volumétricos, especialmente útiles para realizar reconstrucciones tridimensionales y obtener imágenes de distintos planos anatómicos sin tener que repetir el estudio radiológico (**Liste, 2010**).

4.3.2 LA T.A.C. EN ESTE TRABAJO

Para desarrollar este estudio comparativo de la almohadilla plantar se ha utilizado la tomografía axial computerizada o T.A.C. como técnica de diagnóstico por imagen en el Centro Clínico Veterinario de Zaragoza (General Electric modelo Brivo de dos cortes) (**figura 18**).

Actualmente no es aplicable a nivel práctico en animales de abasto debido al elevado coste y a la dificultad de trabajar con animales pesados. Sin embargo, la tomografía axial computerizada (TAC) es rápida y obtiene imágenes de gran precisión que dan acceso a medir las diferentes estructuras analizadas, duras y blandas. Una vez realizada, el programa informático permite multitud de opciones (cortes sagitales, transversales y coronales, reconstrucción tridimensional y resecciones, estudios de densidades, etc.).

Así se pueden obtener y comparar los datos de la almohadilla plantar de la oveja con los de la vaca e intentar dar respuestas a las diferentes características de los procesos podales en ambas especies.

El material ovino utilizado proviene de animales atendidos en el Servicio Clínico de Rumiantes de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza durante el curso 2016-2017 y las patas de vacuno de leche han sido recogidas por la profesora de prácticas externas de vacuno, en diferentes explotaciones, de animales muertos por diferentes causas, con diferente condición corporal, con y sin lesiones podales (**figura 19**).

Se analizaron 22 muestras de patas de ganado bovino y 8 de ovino.

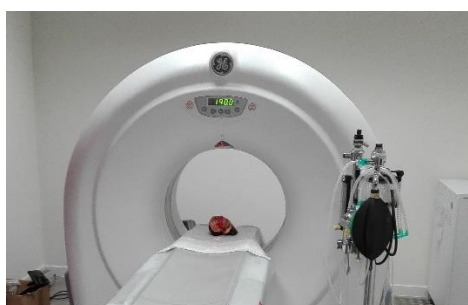


Figura 18. Realización de la T.A.C. en una pezuña de vaca.



Figura 19. Algunas de las pezuñas que fueron tomografiadas.

Se recortaron y guardaron congeladas las partes distales de las extremidades de los animales utilizados hasta su procesamiento, momento en el cual se descongelaban a temperatura ambiente o con agua caliente, se limpiaban, se cepillaban y se secaban.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS ESTRUCTURAS INTERNAS POR T.A.C.

Con T.A.C. se han podido visualizar las distintas estructuras tanto externas como internas de la pezuña. En el corte axial se puede observar cómo las almohadillas plantares de la vaca se distinguen perfectamente y están bien desarrolladas (**figura 20**), mientras que en el caso de la oveja son más pequeñas y la central apenas se distingue en la imagen (**figura 21**).

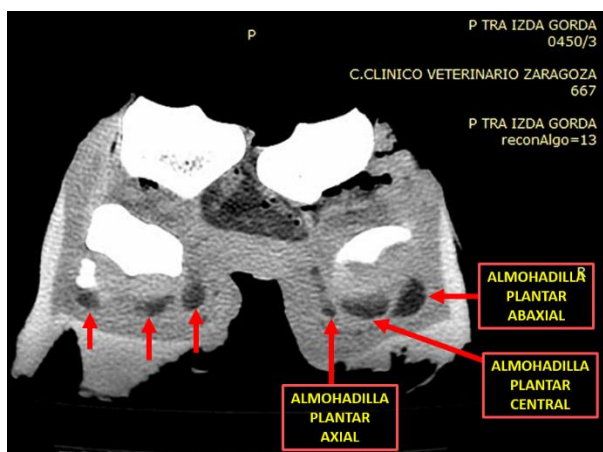


Figura 20. Almohadillas plantares de la vaca en corte axial.

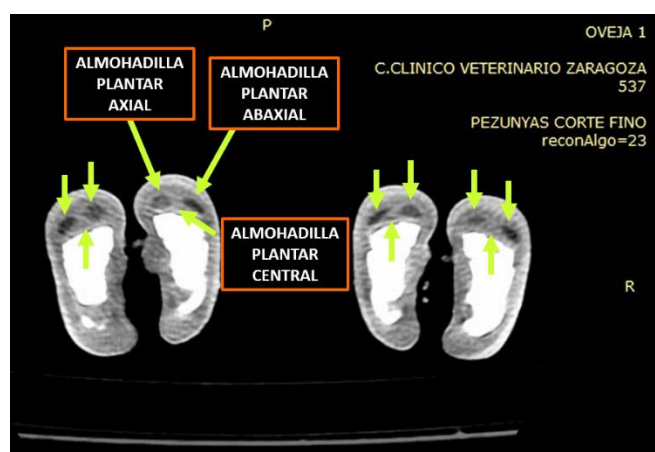


Figura 21. Almohadillas plantares de la oveja en corte axial.

La almohadilla plantar es un tejido adiposo y conectivo que se desarrolla debajo de la tercera falange con función de absorción del peso del animal (Tussaint, 1991) y, por lo tanto, actúa como sistema amortiguador de las fuerzas producidas durante el apoyo. Como la almohadilla plantar central es la que amortigua la mayor parte del peso durante el apoyo, mientras que la axial y la abaxial sólo se encargan de soportar los movimientos laterales, la almohadilla plantar central presenta mayor desarrollo en las pezuñas de los miembros donde el animal apoya más peso (Räber et al., 2004).

Así pues, la falta de desarrollo de las almohadillas plantares en las ovejas se puede achacar a que el animal no requiere de tanto tejido adiposo y conectivo para amortiguar su peso. Sin embargo, la vaca presenta las tres almohadillas bien desarrolladas y distinguidas debido a su necesidad para amortiguar las fuerzas durante el apoyo. Pero, para refutar este hecho, también se debe realizar la evaluación de la distribución del peso de la oveja y la superficie de apoyo de la que dispone en la suela de la pezuña, tanto en suelo duro como en suelo blando.

Algunos autores (Bicahlo et al., 2009; Huxley, 2013; Newsome et al., 2015) han relacionado el estado de estas almohadillas plantares con la condición corporal de las vacas, aumentando su espesor conforme aumenta la condición corporal del animal. En este estudio, se llevó a cabo la medición del espesor de las almohadillas plantares centrales de vacas con distinta condición corporal para su corroboración. Sin embargo, en los resultados de las medias obtenidas en las mediciones de las almohadillas plantares centrales de las patas delanteras y traseras, internas y externas, se observó que el espesor medio de las almohadillas plantares centrales en las patas posteriores medidas en vacas flacas era mayor que el espesor medio de las almohadillas plantares centrales de las patas posteriores medidas en vacas gordas (tabla 2).

Espesor almohadilla central	Vaca gorda	Vaca flaca
Media patas delanteras	7,2375	6,23
Media patas posteriores	5,2925	6,54

Tabla 2. Media del espesor de las almohadillas centrales de vacas con distinta condición corporal.

Antes estos resultados que son diferentes a la relación del espesor de las almohadillas plantares centrales con la condición corporal en ganado vacuno, se ha decidido estudiar el por qué, desviando la temática del trabajo sobre la comparación de las almohadillas de ambas especies con distinta condición corporal.

Como el peso de las vacas en la posición lateral de descanso recae sobre la parte lateral de la extremidad posterior sobre la que se apoyan (Toussaint, 1991) y la almohadilla plantar central es la que amortigua la mayor parte del peso durante el apoyo (Räber et al., 2004), es de esperar que las almohadillas plantares centrales situadas bajo la tercera falange de las pezuñas laterales posteriores estén más desarrolladas. Para comprobarlo se llevaron a cabo la medición del grosor en mm de 14 almohadillas plantares delanteras laterales, 10 de las traseras laterales, 12 traseras mediales y 12 delanteras mediales (tabla 3), tanto de vacas como en novillas.

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación estándar	N
DelanteraLateral	6,1836	1,26704	14
TraseraLateral	5,3340	0,58612	10
TraseraMedial	5,2008	0,85876	12
DelanteraMedial	5,5317	0,95009	12

Tabla 3. Media y desviación del espesor de las almohadillas plantares laterales y mediales.

Ante estos resultados en los que se observa que el espesor medio de las almohadillas plantares centrales de las pezuñas traseras laterales es inferior al de las delanteras laterales, aunque sí que es superior al de las almohadillas traseras mediales, se lleva a cabo la realización de tablas cruzadas con el paquete estadístico SPSS para ver si existe correlación entre los grosores de las almohadillas.

En los resultados de las tablas cruzadas, a diferencia de otros autores (Bicahlo et al., 2009; Huxley, 2013, Newsome et al., 2016), no se han encontrado correlaciones significativas ($p > 0,05$), es decir, el aumento o la disminución del grosor de alguna de las almohadillas no influye en el resto (tabla 4), aunque la muestra es pequeña y heterogénea.

		DelanteraLateral	TraseraLateral	TraseraMedial	DelanteraMedial
DelanteraLateral	Correlación de Pearson	1	,508	-,075	,395
	Sig. (bilateral)		,133	,817	,204
	N	14	10	12	12
TraseraLateral	Correlación de Pearson	,508	1	,179	,157
	Sig. (bilateral)	,133		,621	,664
	N	10	10	10	10
TraseraMedial	Correlación de Pearson	-,075	,179	1	-,180
	Sig. (bilateral)	,817	,621		,575
	N	12	10	12	12
DelanteraMedial	Correlación de Pearson	,395	,157	-,180	1
	Sig. (bilateral)	,204	,664	,575	
	N	12	10	12	12

Tabla 4. Correlación del espesor de las almohadillas plantares laterales y mediales.

Además, varios estudios han demostrado que las lesiones poco después del parto son más propensas a desarrollarse en las pezuñas traseras de las novillas de primer parto que en las vacas en la segunda y en algunos casos en la tercera parición (Boosman, 1990; Enevoldsen et al., 1991; Vermunt, 1991, Smilie et al., 1999). Las vacas con dos o tres lactaciones frecuentemente presentaban almohadillas abaxiales de tejido adiposo amarillo liso, mientras que las almohadillas de las novillas eran generalmente de tejido conjuntivo laxo, elástico y marcadamente elástico. Estas almohadillas, sin embargo, tendieron a ser más gruesas que las de las vacas. Las almohadillas de grasa axial y abaxial en el talón que no soportaba el peso contenían generalmente una gran proporción de grasa muy blanda (Tarlton, 2002). Sin embargo, en estos resultados no se ha obtenido una correlación entre el espesor de las almohadillas.

De esta forma y de acuerdo con los resultados obtenidos en la estadística, el estudio, a falta de un mayor número de resultados, pone en duda la teoría de la existencia de una relación del espesor entre las almohadillas centrales de las pezuñas laterales y mediales de los distintos miembros en la vaca. Podría ser que únicamente se pudieran ver estas diferencias en los balances energéticos negativos del posparto y por eso nosotros no los hubiéramos encontrado.

Para contrastar la hipótesis de que el ganado vacuno presenta más desarrolladas las almohadillas plantares centrales respecto a la oveja como consecuencia del mayor peso que soportan, en el corte sagital y axial se aprecia una protuberancia en la tercera falange que se desarrolla en las vacas como consecuencia del mayor peso soportado en la pezuña externa de las patas traseras y al mayor trabajo que deben realizar los tendones flexores consecuentemente (Toussaint, 1991).

Sin embargo, en la oveja no existe tal protuberancia y la almohadilla plantar tiene un grosor mucho menor. Estas estructuras pueden visualizarse aún mejor con la reconstrucción tridimensional de la zona estudiada (- **figura 22**).

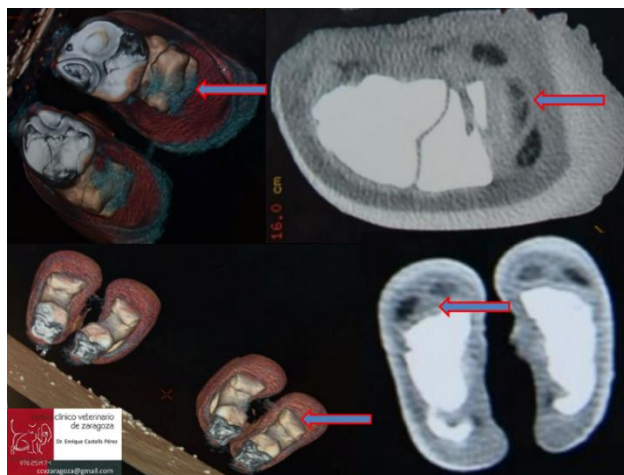


Figura 22. Comparación de la protuberancia de la tercera falange en la reconstrucción 3D y de la almohadilla plantar en el corte axial de ambas especies.

En el caso de la oveja, no se ha podido llevar a cabo una medición con precisión de las almohadillas en el corte sagital, ya que están muy poco desarrolladas y en algunas apenas se distingue, pero en el corte axial ya se ha visto que se observan más o menos bien (salvo la central) y se pueden comparar con el tamaño de las de la vaca.

5.2 MEDICIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PESO EN LAS OVEJAS

Tras la observación de las diferencias estructurales de la almohadilla plantar, así como de la tercera falange, entre vacas y ovejas a través de la T.A.C., se llevó a cabo el peso de ovejas de distinta condición corporal y distinta condición fisiológica, procedentes de 32 animales del Servicio Clínico de Rumiantes de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza (SCRUM). Este pesaje se realizó con la finalidad de razonar estas diferencias estructurales, es decir, por qué la vaca tiene más desarrolladas las almohadillas plantares con respecto a la oveja y presenta el desarrollo de la protuberancia de la tercera falange, la cual en las ovejas no se observa. De esta forma, se pesaron las ovejas con dos básculas: una para medir el peso que descansan en el tercio anterior y otra para medir el peso que también descansan en el tercio posterior (**figura 23**). En los resultados se pudo observar que, a diferencia de las vacas, las ovejas depositan la mayor parte del peso en el apoyo sobre los miembros anteriores y no sobre los posteriores (**tabla 5**). De este modo, en una oveja de 65 kilos, aproximadamente el 40% lo soportarían las patas traseras y el 60% las delanteras, es decir, 26 kilos atrás y 39 kilos delante.

PESO OVEJA	EEAA	EEPP	TOTAL	EEAA %	EEPP %
NO GESTANTES	31,85	22,85	54,69	58,23	41,7
GESTANTES	43,83	34,33	78,17	56,08	43,92
TOTAL	34,09	25,00	59,09	57,69	42,31

Tabla 5. Pesos de ovejas de distinta condición corporal y estado fisiológico.



Figura 23. Peso de las ovejas en las patas traseras y delanteras con dos básculas.

Para confirmar esta distribución del peso en la oveja, contraria a la de la vaca, se han elaborado tablas cruzadas en las que podemos ver si existen correlaciones y en las que, a la vista de los resultados obtenidos y mediante la realización de chi-cuadrado, se ha visto que es así.

	N	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
PesoEEAA	32	34,09	1,496	8,464
PesoEEPP	32	25,00	1,321	7,475
SumaPesos	32	59,09	2,676	15,137
PorcentajePesoEEAA	32	57,9189	,77312	4,37345
PorcentajePesoEEPP	32	42,0793	,77315	4,37362
N válido (por lista)	32			

Tabla 6. Tabla de media y desviaciones de los pesos de las ovejas.

En la **tabla 6** se puede observar el peso medio que descansan las ovejas en las extremidades anteriores y posteriores, así como el porcentaje de ese peso. Al restar los porcentajes del peso que descansan delante y atrás, nos da una diferencia de 15,8396 %, es decir, las ovejas descansan 15,8% más de peso en las extremidades anteriores que en las posteriores. Para ver si existe correlación en esta diferencia, estos datos se han analizado mediante tablas cruzadas con el programa estadístico SPSS.

Correlaciones			
		% Peso EEAA	% Peso EPPP
% Peso EEAA	Correlación de Pearson	1	- 1,000**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	32	32
% Peso EP	Correlación de Pearson	- 1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	32	32

****.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Tabla 7. Correlación entre el porcentaje de los pesos en las ovejas.

Correlaciones			
		Peso EEAA	Peso EPPP
Peso EEAA	Correlación de Pearson	1	,803**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	32	32
Peso EPPP	Correlación de Pearson	,803**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	32	32

****.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Tabla 8. Correlación de los pesos en las ovejas.

De esta forma, en la **tabla 8** se observa una correlación en los pesos respecto a la extremidad anterior con la posterior y viceversa de 0,803 que resulta significativa porque $p < 0.05(0.01)$, es decir, si aumenta el peso de la extremidad anterior, la posterior sufrirá una variación de 0.803.

El resultado que ha llamado la atención ha sido, con respecto al porcentaje de peso, que se ha encontrado una correlación perfecta de -1 de las extremidades posteriores con las anteriores (**tabla 7**). Con la diferencia de porcentaje de pesos anterior y este nuevo factor, se puede afirmar que las extremidades posteriores presentan un 15,8% menos de peso que las anteriores.

Esto explica los resultados obtenidos en la reciente Tesis Doctoral realizada por **María Ángeles Ramo Gil** en el presente año **2017** a cerca de la Caracterización del Merino de los Montes Universales. En la tesis, la autora midió pezuñas de las extremidades anteriores y posteriores de 18 animales, antes y después de finalizar el trayecto de la Cañada Real Conquense entre Vilches (Jaén) y Guadalaviar (Teruel), en la migración de primavera en dirección Norte, lo que supone caminar 580 Km en 24 días, a razón de 24 Km diarios. Las mediciones llevadas a cabo fueron tres:

- Medida A o longitud de la corona.
- Medida B o altura de los talones.
- Medida C o distancia entre la punta de la pezuña y los talones.

Como resultado, las únicas medias relevantes fueron las que se corresponden con las medidas A y C. En la medida A, tanto la media de la zona interior del casco como la exterior de las extremidades anteriores se vio reducida, concretamente 0,35 cm de reducción altamente significativa en la estadística de la zona interior y 0,156 cm en el caso de la exterior, la cual no fue significativa en la estadística. Sin embargo, en las patas posteriores, la media de las medidas de la zona exterior del casco no se redujo y la media de la zona interior sí que disminuyó, pero una pequeña dimensión de 0,08 cm que no resulta significativa.

En el caso de la medida C, se observó un incremento de su medición media tanto en la zona interior del casco (0,28 cm) como en la exterior (0,36 cm). En cambio, los cambios de la media de la longitud de esta medida C en las pezuñas de las extremidades posteriores no fueron significativos.

En definitiva, se puede decir que la distribución del peso en la oveja es completamente distinta a la del ganado vacuno y, por lo tanto, es otro factor que influye en que la presencia de las patologías podales en ambas especies tiene una distribución distinta. De este modo, en una oveja de 60 kilos, aproximadamente el 40% lo soportarían las patas traseras y el 60% las delanteras, es decir, 24 kilos atrás y 36 kilos delante (**figura 24 y 25**).

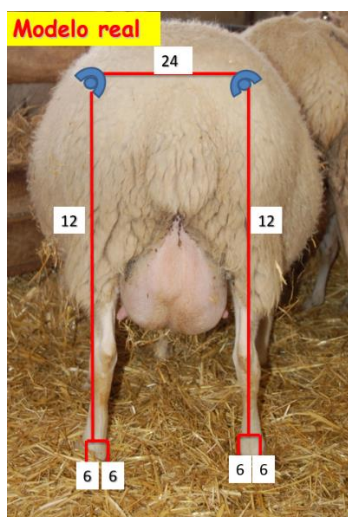


Figura 24. Distribución real del peso de la oveja Correctamente aplomada.

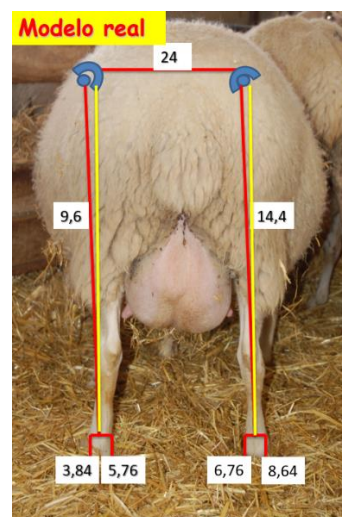


Figura 25. Distribución del peso real de la oveja en descanso.

5.3 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE APOYO

Sin embargo, no sólo hay que tener en cuenta la distribución del peso en ambas especies para explicar las diferencias del desarrollo de las almohadillas plantares y la distinta afección de las patologías podales de estos animales, sino que también influye la cantidad de superficie de la que disponen para poder soportar su peso, es decir, la cantidad de peso que soportan los animales por unidad de superficie de la suela de la pezuña.

Por ello, se realizó la medición y la media de la superficie de seis cascos de vaca (**figura 26**), procedentes de un grupo de animales de tamaño normal, y se tomó como referencia la media de la medición de la superficie de 400 cascos de oveja, trabajo llevado a cabo en **Ferrer y Ramos, 2008**.

Las medias de estas medidas se tomaron como aproximación al peso que soportan ambas especies por unidad de superficie de la suela.



Figura 26. Pezuñas de vaca de las que se midió la superficie de la suela.

En el caso de la vaca, la medición de la suela resultó de una media de 30 cm^2 que, en suelo duro, contacta solamente en 5 cm^2 , ya que en superficies duras la pezuña no se puede expandir y el animal no puede distribuir el peso por toda la superficie, concentrándose en la parte abaxial (**Ferrer y Ramos, 2008**). Con la vaca aplomada, cada pezuña recibiría, aproximadamente, $3,3 \text{ kg/cm}^2$, en suelo blando, y 20 kg/cm^2 en suelo duro.

Teniendo en cuenta además que la pezuña externa soporta el mayor peso del animal en el apoyo lateral de descanso, aproximadamente unos 144 kilos, la misma vaca aguantaría alrededor de $4,8 \text{ kg/cm}^2$ en suelo blando y unos 29 kg/cm^2 en suelo duro, incrementándose cuanto más se aleja de la verticalidad.

En el caso de la oveja, la medición de la superficie una pezuña resultó de 10 cm^2 , que en suelo duro se reduce a $1,8 \text{ cm}^2$ en la parte abaxial de la suela. Con estas medidas, una oveja aplomada soportaría $0,6 \text{ kg/cm}^2$, en suelo blando, y $3,3 \text{ kg/cm}^2$, en suelo duro. En posición de descanso, en el que la pezuña lateral recibiría aproximadamente 7,2 kg, resulta que en superficies blandas soporta alrededor de $0,72 \text{ kg/cm}^2$ que aumentan a 4 kg/cm^2 en superficies duras (**figura 27**).

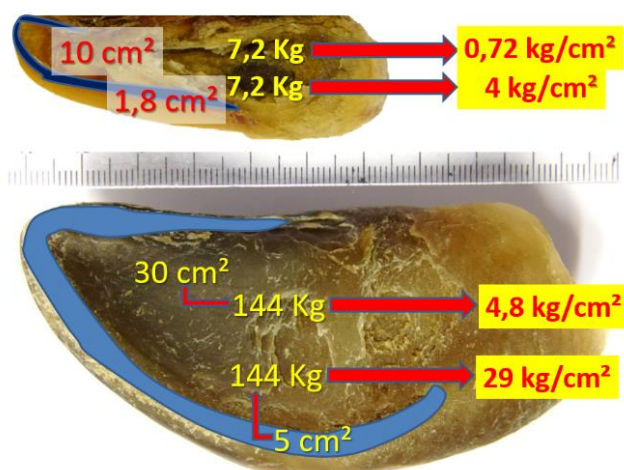


Figura 27. Resultados de la medición de la superficie de la suela de la pezuña y el peso que soportan por unidad de superficie en posición de descanso lateral.

Así, a pesar de que la pezuña de la vaca es, en principio, más grande que la de la oveja, la vaca soporta hasta seis y siete veces más de peso por unidad de superficie que la oveja, es decir, en proporción a su peso, la pezuña de la vaca es más pequeña.

6. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que:

1. La vaca soporta aproximadamente el 60% de su peso en las patas traseras, mientras que la oveja descansa aproximadamente el 60% de su peso en las patas delanteras.
2. El casco de la vaca es proporcionalmente a su peso más pequeño que el de la oveja y, por lo tanto, el peso (kg/cm^2) soportado por unidad de superficie en el casco es muy superior en la vaca ($4,8 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en terreno blando y $29 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en terreno duro) al de la oveja ($1,6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en suelo blando y $4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en suelo duro). La vaca soporta hasta 7 veces más de peso que la oveja por unidad de superficie de la suela.
3. Las vacas tienen muy desarrolladas las almohadillas plantares centrales y la oveja las tiene pequeñas. Además, en vacuno existe el desarrollo de la protuberancia ósea debido al mayor peso soportado y al mayor trabajo que deben realizar los tendones consecuentemente.
4. Consecuentemente, las patologías podales derivadas del soporte del peso son diferentes en ambas especies de rumiantes

CONCLUSIONS

According to the results obtained in this study it can be concluded that:

1. The cow supports approximately 60% of its weight on the hind legs, while the sheep bears approximately 60% of its weight on the front legs.

2. The hoof of the cow is proportional to its weight smaller than that of the sheep, and therefore the weight (kg/cm^2) supported per unit area on the hoof is much higher in the cow ($4.8 \text{ kg}/\text{cm}^2$ in soft soil and $29 \text{ kg}/\text{cm}^2$ in hard soil) to that of sheep ($1.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ in soft soil and $4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ in hard soil). The cow supports up to 7 times more weight than the sheep per unit surface of the sole.
3. Cows have very developed central plantar pads and the sheep have them small.
In addition, in bovine there is the development of the bony protuberance due to the greater weight supported and to the greater work that the tendons must realize consequently.
4. Consequently, the foot pathologies derived from weight support are different in both species of ruminants.

7. VALORACIÓN PERSONAL Y AGRADECIMIENTOS

Considero que la realización de este trabajo ha supuesto un esfuerzo por parte de todas las personas que han participado en él, desde la implicación de mis tutores hasta la facilitación del material requerido para su realización, como las pezuñas de ganado ovino por el Servicio de Clínica de Rumiantes de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza y las de ganado vacuno por la profesora de prácticas externas en ganado vacuno lechero, así como el tomógrafo empleado gracias a la gentileza de mi tutor Enrique Castells Pérez en el Centro Clínico Veterinario de Zaragoza. En cuanto a mí, a nivel formativo me ha resultado muy enriquecedor el hecho de desenvolverme en áreas tan diferentes como son la podología y el mundo de la tomografía axial computerizada, sobre todo en un uso tan poco frecuente como las pezuñas de rumiantes.

La idea de este estudio surgió de la curiosidad por medir las almohadillas plantares de ambas especies de rumiantes con el conocimiento previo de que la aparición de las afecciones podales entre vacas y ovejas presentan una distribución distinta y la existencia de artículos relacionados con esta estructura en los que se describen sus características estructurales y de composición, su función y la posible relación de su espesor con la condición corporal en el ganado bovino. Aquí surgió la iniciativa de estudiarlas y observarlas también en ganado ovino.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores, Luis Miguel Ferrer Mayayo y Enrique Castells Pérez, el haber hecho posible este trabajo y haberme ofrecido su ayuda en todo momento. Ha sido un placer trabajar con ellos, tanto en lo académico como en lo personal. En este sentido quiero hacer especial mención a Luis Miguel, que ha puesto todo su empeño en hacer este trabajo de fin de grado, depositando su confianza en mí para llevarlo a cabo. Hago extensivo mi agradecimiento en este punto al resto de mis compañeros y miembros del Servicio de Clínica de Rumiantes de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza por estar a mi lado, ayudarme en lo necesario y por posibilitarme el usar todas sus instalaciones.

En segundo lugar, quiero mostrar mis agradecimientos al Centro Clínico Veterinario de Zaragoza, localizado en la calle Madre Genoveva Torres Morales, por aceptar la propuesta de la realización de este estudio y

facilitarme la posibilidad de realizar las tomografías axiales de las pezuñas con su tomógrafo General Electric modelo Brivo de dos cortes.

En tercer y último lugar, quiero agradecer a la veterinaria Almudena Molinero Argüello por su ayuda desinteresada en contestarme dudas y sugerirme bibliografía de mucha utilidad para el trabajo, así como a María Ángeles Ramo Gil por proporcionarme información de su tesis doctoral.

8. BIBLIOGRAFÍA

- **Bicalho, R.C., V.S. Machado, and L.S. Caixeta.** 2009. Lameness in dairy cattle: ¿A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *Journal of Dairy Science*, 92: 3175–3184.
- **Boosman, R.; Németh, F.; Gruys, E.** 1991. Bovine laminitis: clinical aspects, pathology and pathogenesis with reference to acute equine laminitis. *The Veterinary Quaterly*, 13: 163-171.
- **Chuisaca, R.S.** 2011. Principales problemas podales en bovinos que afectan la producción lechera. Tesis. Cuenca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- **Collick, D. W.; Ward, W. R.; Dobson, H.** 1989. Associations between types of lameness and fertility. *Veterinary Record*, 125: 103-6.
- **Eddy, R. G.; Sco-tt, C. P.** 1980. Some observations on the incidence of lameness in dairy cattle in Somerset. *Veterinary Record*, 113: 140-4.
- **Enevoldsen, C.; Grohn, Y. T.; Thyssen, I.** 1991. Sole ulcers in dairy cattle: associations with season, cow characteristics, disease, and production. *Journal of Dairy Science*, 74(4): 1284-1298.
- **Esslemont, R.J.; Wassell, B. R.** 1990. Incidence of lameness in herds using the University of Reading DAISY database. Internal Report, Department of Agriculture, University of Reading.
- **Ferrer, L.M.; Ramos, J.J.** 2008. Las cojeras en el ganado ovino. Clínica y prevención. Diseño y Comunicación Servet S.L.
- **González, A.** 2003. Cuidado de pezuñas en ganado vacuno lechero. Cuaderno de Campo IVOMECA from MERIAL.
- **González, A.** 2013. Consideraciones sobre los pasillos de las estabulaciones, las cojeras y el bienestar de las vacas. *Frisona Española*, 129: 100-102.
- **Greenough, P. R.; Vermut, J.J.** 1991. Evaluation of subclinical laminitis in a dairy herd and observations on associated nutritional and management factors. *Veterinary Record*, 128: 11-17.
- **Habel, R.E.** 1985. **Anatomía veterinaria aplicada.** Zaragoza: Acribia, S.A.
- **Huxley, J. N.** 2013. Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production. *Livestock Science*, 156: 64–70.
- **König, H.; Liebich, H-G.** 2005. Tomo 1. Anatomía de los animales domésticos: Aparato locomotor. Texto y atlas en color. Ed. Panamericana.

- **König, H.; Liebich, H-G. 2005.** Tomo 2. Anatomía de los animales domésticos: Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. Texto y atlas en color. Ed. Panamericana.
- **Lischer, C. J.; Ossent, P. 2000.** The significance of the suspensory mechanism of the third phalanx and its fat bodies in the pathogenesis of sole ulcers in cattle. Part I: Macroscopic findings. III International Conference on Bovine Lameness. Parma, Italy. pp 222-225
- **Lischer, C. J.; Ossent, P.; Räber, M.; Geyer, H. 2002.** Suspensory structures and supporting tissues of the third phalanx of cows and their relevance to the development of typical sole ulcers (Rusterholz ulcers). *Veterinary Record*, 151: 694–698.
- **Melling, M.; Martin, A. 2000.** *Práctica bovina 2.* Buenos Aires, República Argentina: INTER-Médica.
- **Nan, F.; Galotta, J. 2006.** Anatomía del pie bovino. 14th International Symposium and 6th Conference on Lameness in Ruminants, block 7, p. 120-123.
- **Newsome, R. et al. 2016.** Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. *Journal of Dairy Science*, 99: 4512–4525.
- **Räber, M.; Lischer, Ch.J.; Geyer, H.; Ossent, P. 2004.** The bovine digital cushion- a descriptive anatomical study. *Veterinary Journal*, 167: 258-264.
- **Räber, M.; Scheeder, M.R.L.; Ossent, P.; Lischer, Ch.J.; Geyer, H. 2006.** The content and composition of lipids in the digital cushion of the bovine claw with respect to age and location- a preliminary report. *The Veterinary Journal*, 172: 173-177.
- **Ramos, M.A. 2017.** Caracterización del Merino de los Montes Universales (Tesis doctoral). Facultad de Veterinaria, Zaragoza.
- **Raymond, R. A.; Stanley, H. D.; Stephen, W. B. 1996.** *Color atlas of veterinary anatomy: volume 1, the ruminants.* Ed. Mosby-Elsevier.
- **Schwarz, T.; Saunders, J. 2011.** *Veterinary computed tomography.* Ed. Wiley-Blackwell.
- **Tadich, N.; Flor, E. 2013.** Lesiones podales en la vaca lechera. *Albítar Portal Veterinaria.*
- **Toussaint, R. E. 1997.** *Cattle foot care and claw trimming;* Farming press Books.
- **Wells, S.J.; Trent, A. M.; Marsh, W. E.; Robinson, R. A. 1993.** Prevalence and severity of lameness in lactating dairy cows in a sample of Minnesota and Wisconsin herds. *Journal of the American Veterinary and Medical Association*, 202: 78-82.
- **Whitaker, D. A.; Kelly, J. M.; Smith, E. J. 1983.** Incidence of lameness in dairy cows. *Veterinary Record*, 113: 60-2.
- **Winter, A. 2004.** Lameness in sheep 1. Diagnosis. *In Practice*, 26: 58-63.