



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

**EVALUACIÓN ECOGRÁFICA DE LA PERFUSIÓN TESTICULAR EN LAS
DIFERENTES ESPECIES ANIMALES**

**ULTRASOUND EVALUATION OF TESTICULAR PERFUSION IN DIFFERENT
ANIMAL SPECIES**

Autor/es

Amaya Ausejo Gorraiz

Director/es

Arantza Vitoria Moraiz
Laura Barrachina Porcar

Facultad de Veterinaria

2016

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	3
METODOLOGÍA.....	3
RESULTADOS	3
1. Descripción anatómica de los testículos	3
a. El testículo, el epidídimo y cordón espermático	3
b. Vascularización de los testículos	5
2. Fundamentos de la ecografía.....	7
a. Ecografía Doppler	8
3. Ecografía testicular	10
4. Ecografía Doppler testicular	11
5. Evaluación de la perfusión testicular en las diferentes especies domésticas	14
a. Ecografía testicular en équidos	15
b. Ecografía testicular en bóvidos	18
c. Ecografía testicular en pequeños rumiantes.....	19
d. Ecografía testicular en porcino.....	20
e. Ecografía testicular en cánidos.....	21
f. Ecografía testicular en felinos	23
DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES	25
CONCLUSIONS	25
VALORACIÓN PERSONAL	26
BIBLIOGRAFÍA	26

RESUMEN

Actualmente, el interés por el aparato reproductor de los animales domésticos hace referencia sobre todo, a la obtención de un beneficio económico. La ecografía es una herramienta de diagnóstico por imagen muy utilizada para la evaluación del aparato reproductor del macho. Las diferentes técnicas para evaluar los testículos nos permiten reconocer anomalías testiculares y realizar estudios sobre la perfusión testicular. Por lo tanto, este trabajo se basa en describir los modos ecográficos Escala de Grises, Doppler Color y Doppler Pulsado para evaluar el tejido testicular centrándonos en el flujo sanguíneo del testículo. Los parámetros más comúnmente utilizados para el estudio del flujo son la velocidad del pico sistólico (PSV), la velocidad al final de la diástole (EDV), el índice de resistencia (RI) y el índice de pulsatilidad (PI). La valoración de la perfusión testicular en este trabajo se describe en el semental, en el toro, en el morueco, en el macho cabrío, en el verraco, en el perro y en el gato. Sin embargo, se ha observado que la perfusión testicular no se ha contemplado en profundidad en algunos de los animales domésticos. En el caso de los animales de abasto como son el vacuno, el ovino, el caprino y el porcino, la valoración de la perfusión testicular a través de la ecografía Doppler no está ampliamente investigada en comparación con la valoración del parénquima testicular mediante el modo Escala de Grises. Las especies más investigadas en relación a la perfusión testicular mediante la técnica Doppler son el perro y el caballo. En conclusión, la ecográfica es un instrumento muy valioso para la valoración del aparato reproductor del macho y su uso seguirá avanzando para obtener más información en las distintas especies animales.

ABSTRACT

Nowadays, the interest in the reproductive system of domestic animals is focused on obtaining an economic benefit. Ultrasonography is a diagnostic tool used for the evaluation of the reproductive tract of the male. Different techniques to evaluate the testis can be used to recognize testicular abnormalities and to perform studies on testicular perfusion. Therefore, the aim of this work was to describe the grayscale, Color Doppler and Doppler Pulsed ultrasound modalities to evaluate the testicular tissue, mainly focusing on the blood flow of the testicle. The evaluation of the testicular perfusion in stallion, bull, ram, billy-goat, boar, dog and cat is described in this work. The most commonly used parameters for the study of testicular vascularity are Peak Systolic Velocity (PSV), End Diastolic Velocity (EDV), Resistance Index (RI) and Pulsatility Index (PI). It has been observed that testicular perfusion has not been extensively assessed in some domestic animals. The investigation about Doppler testicular perfusion assessment has been mainly carried out in the dog and in the horse. However, in farm animals such as cattle, sheep, goats and pigs, the assessment of the testicular perfusion through Doppler ultrasonography has not been as widely investigated as the evaluation of the testicular parenchyma by using the grayscale ultrasonography. In conclusion,

ultrasound is a very valuable tool for the evaluation of the male reproductive system and its use will probably be extended to obtain more information on the different animal species.

INTRODUCCIÓN

La reproducción en los animales domésticos juega un papel importante tanto en la clínica como en la producción animal ya que las repercusiones económicas son elevadas. Por ejemplo, el sector cárnico mueve aproximadamente 9.500 millones de € al año entre el sector porcino (6.000 millones €/año¹), el sector vacuno de carne (2.600 millones €/año²) y el sector ovino y caprino (845,8 millones €/año³). Teniendo en cuenta que dichos sectores basan sus pilares en la Inseminación Artificial y en el uso de machos de gran valor económico, se puede deducir que es necesario mantener unas buenas condiciones reproductivas mediante la valoración del aparato reproductor. El aparato reproductor de la hembra tiene una mayor importancia que el aparato reproductor del macho debido a que se debe realizar un control exhaustivo en su ciclo reproductivo y controlar el periodo de gestación. Sin embargo, el aparato reproductor del macho juega un papel igualmente imprescindible en la reproducción, ya que aportan el 50% del material genético de la nueva descendencia. Por ello, la exploración del aparato reproductor del macho debería ser incluida en el manejo reproductivo de forma rutinaria. De este modo muchas alteraciones reproductivas pueden detectarse con antelación y por consiguiente decidir si un animal es apto o no para su uso como reproductor.

Para la exploración del aparato reproductor del macho, la técnica de diagnóstico por imagen de primera elección es la ecografía⁴. Es una técnica sencilla, no invasiva y accesible que permite la evaluación en tiempo real del estado fisiológico y patológico del aparato reproductor masculino en diversas especies. La ecografía da mucha información sobre las diferentes estructuras como el escroto, los testículos, los órganos sexuales accesorios y el pene⁴⁻⁷⁸. La evaluación ecográfica del testículo se realiza en primer lugar con la ecografía modo a Escala de Grises donde se puede valorar el parénquima testicular, el epidídimo o el cordón espermático así como localizar los vasos sanguíneos testiculares⁹. Esto permite detectar patologías como orquitis, hidrocele, hernias inguinales, tumores testiculares o torsión testicular^{10, 11}. Gracias a la utilización del modo Doppler, es posible valorar el flujo sanguíneo del testículo y obtener medidas que demuestren la correcta irrigación del órgano, ya que un adecuado riego sanguíneo del testículo es imprescindible para una correcta función del órgano⁹. Por lo tanto, las patologías que afecten al flujo sanguíneo del testículo repercutirán en el correcto funcionamiento del mismo, llegando a producir esterilidad en el animal. Por esa razón, la ecografía testicular se lleva utilizando durante años y está ampliamente extendida tanto en la medicina humana como en la medicina veterinaria^{4, 12}.

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En los animales domésticos, el aparato reproductor adquiere gran importancia debido a la repercusión económica que conlleva tanto para la producción de la descendencia como para la mejora genética de las especies. Por lo general, el aparato reproductor de las hembras adquiere mayor importancia debido a que hay que realizar un control del ciclo reproductivo y además controlar el periodo de gestación, pero no hay que olvidarse del macho. La exploración del aparato reproductor debe incluirse en la rutina de manejo del macho reproductor, lo cual requiere utilizar diferentes herramientas, entre las que se incluyen técnicas de imagen. Una de las técnicas de diagnóstico por imagen más frecuentemente utilizada en la actualidad para valorar el aparato reproductivo del macho es la ecografía, tanto por su sencillez y accesibilidad, así como por ser una técnica no invasiva y además permitir la valoración de la perfusión testicular. Dada su creciente importancia, este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre la valoración de la ecografía testicular, con especial énfasis en la evaluación de la perfusión testicular, en los distintos animales domésticos mediante ecográfica.

METODOLOGÍA

Para alcanzar este objetivo, la metodología usada en este trabajo ha sido recopilar y analizar los artículos disponibles en las bases de datos Medline, Science Direct y DialNet. También se han consultado los repositorios ivis.org y Zeguan y se han utilizado los buscadores PubMed, Google Scholar y Alcorze, así como fuentes impresas de información como libros, revistas científicas o tesis doctorales que han proporcionado información acerca de la temática del trabajo. Para gestionar las referencias bibliográficas se ha utilizado el programa RefWorks.

RESULTADOS

1. Descripción anatómica de los testículos

El aparato reproductor del macho consta principalmente de tres componentes¹³⁻¹⁵:

1. Los órganos sexuales primarios o gónadas: los testículos.
2. Los órganos sexuales accesorios: epidídimo, conducto deferente, la ampolla del conducto deferente, próstata, vesículas seminales y glándulas bulbo-uretrales.
3. El órgano copulador: el pene.

La presencia de la ampolla del conducto deferente, las vesículas seminales y/o las glándulas bulbo-uretrales varía según la especie¹⁶.

a. El testículo, el epidídimo y cordón espermático

El testículo es un órgano glandular con forma ovoide, encargado de la formación de espermatozoides maduros a partir de células germinales primitivas (proceso denominado

espermatogénesis) y de la síntesis y secreción hormonal, principalmente de la testosterona^{16, 17}. Los testículos están situados en el exterior de la cavidad abdominal, alojados en la bolsa escrotal o escroto y suspendidos desde el abdomen por el cordón espermático y el músculo cremáster^{18, 19}. La función del escroto es mantener al testículo fuera de la cavidad abdominal para mantener una temperatura ligeramente inferior a la del cuerpo (2^o-4^oC por debajo de la temperatura central corporal), puesto que las células germinales son sensibles a las variaciones de temperatura²⁰. Ello implica que ligeros incrementos de temperatura puedan producir esterilidad²¹.

El escroto lo componen varias capas de tejido, que desde el exterior al interior son: la piel, la túnica dartos (donde se localiza el músculo cremáster) y la túnica vaginal¹⁹. Ésta última capa del escroto es una estructura originaria del peritoneo abdominal, es decir es una evaginación de esta estructura. La túnica vaginal está compuesta por dos capas. Por un lado está la capa vaginal visceral que continúa envolviendo el cordón testicular, y por otro lado, la capa vaginal parietal que se continúa con el peritoneo parietal a partir del anillo inguinal. La cantidad de testículo que es envuelto por la túnica vaginal está relacionada directamente con la probabilidad de desarrollar torsión testicular^{4, 19}. Entre las dos capas de la túnica vaginal, está la cavidad vaginal que se comunica con la cavidad abdominal. A consecuencia de este hecho, cabe la posibilidad de que las vísceras abdominales penetren en la cavidad vaginal produciendo las hernias inguinales. Además, se pueden producir adherencias entre las capas a causa de traumatismos impidiendo llevar a cabo el desplazamiento de los testículos dentro de la bolsa escrotal para su correcta termorregulación¹⁵.

El testículo está recubierto por una cápsula fibrosa fina, no elástica, denominada túnica albugínea. Bajo la túnica albugínea está la túnica vascular que es atravesada por las ramas de la arteria testicular. De la túnica albugínea surgen los tabiques o septos testiculares que se dirigen hacia el interior del testículo y se unen entre sí en el eje longitudinal del testículo o ligeramente desplazados en dirección al epidídimo, formando el mediastino. Los septos testiculares albergan a los cientos de lobulillos donde están presentes los túbulos seminíferos²². En la pared de los túbulos seminíferos y en dirección a la luz del tubo se encuentran las células de Sertoli, que sustentan a las células germinales que se encuentran en distintos grados de maduración¹⁵. El tejido intersticial del testículo está formado por tejido conjuntivo y por las células de Leydig. Estas células son de tipo glandular y se encargan de la producción androgénica, más específicamente de la testosterona^{17, 20, 22, 23}. Esta hormona es necesaria para el desarrollo normal de los espermatozoides¹⁵, ya que activa a las células de Sertoli para promover la diferenciación de las espermatogonias, entre otras funciones²². Como se ha dicho anteriormente, estas células de Sertoli se localizan en la pared de los túbulos seminíferos. Dichos túbulos se dirigen hacia la zona del mediastino testicular y convergen en conductos de mayor calibre llamados túbulos rectos. Los túbulos rectos entran en el mediastino¹⁵ formando una red de

conductos, llamada rete testis^{15, 23}. La rete testis termina en el conducto eferente cuya función es transportar los espermatozoides desde los testículos hasta la cabeza del epidídimo^{4, 24}.

El epidídimo es una estructura en forma de coma que transcurre a lo largo del testículo, localizándose en su aspecto lateral, medial o dorsal según la disposición del testículo en cada especie, como se comentará más adelante. Anatómicamente, se compone de tres partes: Cabeza (globus major), cuerpo y cola (globus minor). Las funciones principales del epidídimo son el transporte, maduración y almacenamiento de los espermatozoides^{14, 16, 20, 23, 25}. La cola del epidídimo acaba formando el conducto deferente, que se dirige hacia la cavidad abdominal a través del cordón espermático²⁶.

Además del conducto deferente, el cordón espermático contiene los músculos cremáster, el nervio genitofemoral, el plexo venoso pampiniforme, la arteria testicular, la arteria cremástica, la arteria deferente y los conductos linfáticos. La función principal del cordón espermático está relacionada con los mecanismos de termorregulación del testículo, llevada a cabo gracias al plexo pampiniforme y la contracción y relajación del músculo cremáster^{4, 13, 15, 19, 25, 27}. Otras funciones del cordón espermático son alojar al conducto deferente para el transporte de los espermatozoides ya las arterias para aportar la vascularización a los músculos cremáster, el epidídimo y los testículos (**Figura 1**).

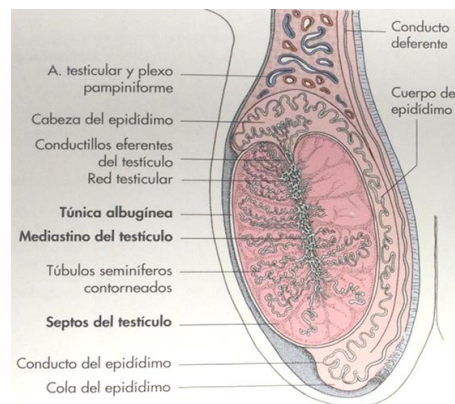


Figura 1. Representación esquemática de la anatomía del testículo, epidídimo y cordón espermático del toro²⁸

b. Vascularización de los testículos

La vascularización es imprescindible para nutrir a las diferentes partes del organismo, y en los testículos no son una excepción. Además de aportar nutrientes y oxígeno a las células del testículo, y de retirar deshechos y productos de su metabolismo, la vascularización testicular forma también parte del mecanismo termorregulador del testículo. Por lo tanto, una alteración en la vascularización conllevará un efecto en las funciones del testículo, incluyendo la espermatogénesis y la producción de hormonas, y además se verán comprometidos los mecanismos de termorregulación²⁹.

Arteria testicular

La irrigación de los testículos viene a cargo de las arterias testiculares, que llegan a través del cordón espermático¹³. Las arterias testiculares se originan en la aorta abdominal por debajo las arterias renales, de forma bilateral³⁰. Cada arteria avanza con un trayecto descendente a través del anillo inguinal profundo ipsilateral para entrar a lo largo del cordón espermático formando una trayectoria tortuosa. Cada arteria da pequeñas ramas que aportan circulación a las arterias cremásticas y deferente, las cuales dan irrigación a los tejidos blandos que componen el escroto, el epidídimo y el conducto deferente⁴. La arteria testicular transcurre por la túnica vasculosa a lo largo del testículo hasta llegar al polo caudal (zona marginal de la arteria) por la túnica vasculosa. A partir de aquí, la arteria testicular da lugar a las ramas capsulares que rodean el testículo y siguen un trayecto superficial por debajo de la túnica albugínea^{23, 29}. A partir de las ramas capsulares se originan las arterias intratesticulares en sentido centrípeto desde la periferia del testículo hacia el interior del parénquima testicular hasta llegar al mediastino, donde se generan arterias pequeñas en sentido centrífugo²⁴. **(Figura 2)**

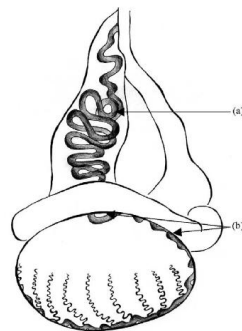


Figura 2. Representación esquemática de la arteria testicular. (a) Zona tortuosa en el cordón testicular, (b) zona marginal de la arteria testicular.³¹

Plexo venoso

El drenaje venoso del escroto y del testículo se realiza a través de una red denominada plexo pampiniforme que está formada por las venas gonadales²⁴ y forma un entramado alrededor de la arteria testicular con un fin específico: ayudar a la termorregulación del testículo. Al envolver a la arteria testicular, actúa como un “sistema refrigerante”, intercambiando calor con ella para reducir la temperatura del flujo arterial que penetra en el testículo, contribuyendo a mantener una temperatura óptima durante la espermatogénesis^{4, 13, 18, 23, 28}. Por el centro del parénquima testicular, transcurre la vena central que realiza un recorrido tortuoso hasta emerger y encontrarse con el plexo pampiniforme donde acaba en la formación de la vena testicular. En el hombre, y también en el perro, la vena testicular izquierda drena por lo general en la vena renal izquierda; y la derecha drena directamente en la cava caudal. En cambio, en gatos, cerdos, toros y caballos, las venas testiculares drenan directamente a la vena cava caudal. En el morueco y el macho cabrío, la

vena testicular izquierda drena en la vena iliaca común y la vena testicular derecha drena en la cava caudal. En las distintas especies pueden existir diferencias anatómicas entre individuos³⁰. Las venas testiculares tienen válvulas para evitar el retroceso del flujo venoso. El fallo en este mecanismo predispone al desarrollo de dilataciones de la vena en el cordón espermático, patología vascular denominada varicocele⁴.

2. Fundamentos de la ecografía.

Una vez descrito la anatomía del aparato reproductor del macho pasaremos a hablar de su valoración ecográfica con el fin de conocer los hallazgos normales y así poder detectar anomalías. La ecografía es una técnica por imagen basada en la utilización del ultrasonido para valorar las estructuras en los diferentes tejidos. La utilización práctica del ultrasonido ha ido evolucionando lentamente. El ultrasonido fue descubierto en 1700 por la observación de la caza de los murciélagos. En la primera mitad del siglo XIX, Christian A. Doppler dio a conocer algunas propiedades de la luz en movimiento, aplicables al uso de los ultrasonidos. En 1951 se obtuvo por primera vez imágenes unidimensionales y en 1957 se construye un escáner que transmite una imagen bidimensional. Con la llegada de las imágenes en Escala de Grises en 1974, comenzó la aceptación del ultrasonido como un método diagnóstico³². A comienzos de la década de los ochenta, se desarrolló el Doppler Color, permitiendo visualizar en tiempo real y en color el flujo sanguíneo en las arterias periféricas³³. A partir de los años ochenta, las investigaciones e ingeniería acerca de la máquina ecográfica han ido mejorando hasta llegar a nuestros días.

La ecografía es una de las técnicas diagnósticas más utilizadas en la actualidad debido a que sencilla, no invasiva y accesible, y que permite la evaluación en tiempo real del estado fisiológico y patológico de los tejidos³⁴. Los ultrasonidos, en los cuales se basa esta técnica, son varias ondas mecánicas, longitudinales, que se inician debido a la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico), localizados en el transductor o sonda ecográfica. El transductor transforma la energía eléctrica en ondas de ultrasonido que se propagan por el medio^{7, 35-40} y al chocar con los tejidos o superficies son capaces de reflejar interfases reflectantes en impulsos eléctricos que se amplifican y son expresados en forma de imagen en un monitor^{7, 41}. Las imágenes ecográficas están producidas como elementos que varían en el brillo en proporción a la intensidad con la que una estructura hace rebotar el eco del ultrasonido (ecogenicidad), que a su vez depende de la impedancia acústica de los tejidos y del ángulo de incidencia del haz del sonido^{35, 37, 38}. La impedancia acústica es la capacidad que presentan los diferentes medios para impedir o resistir la onda de sonido, lo que depende de su elasticidad y su densidad^{32, 37, 39, 40}. De esta forma, los tejidos con mayor resistencia a los ultrasonidos reflejan una mayor cantidad de ondas y por tanto emiten una señal más intensa, que se refleja en imágenes de mayor ecogenicidad (más brillantes).

Existen diferentes técnicas ecográficas según el haz de sonido producido por los cristales de la sonda:

- El modo A o de amplitud es aquel en el que existe únicamente un haz de ultrasonidos y la información generada se procesa en una grafica donde la amplitud del eco se representa a lo largo de un eje horizontal como una serie de picos. Se utiliza para medir la profundidad de las interfases, como por ejemplo, para determinar el grosor de la capa de grasa subcutánea en los cerdos. Se trata de una técnica poco utilizada debido a que proporciona escasa información y su uso es limitado ^{37-39, 42}.
- El modo M (tiempo-movimiento) se emplea para examinar el cambio en las dimensiones de la zona estudiada, representando en una grafica la amplitud, y la profundidad del eco en el tiempo. Es un modo ecográfico muy utilizado en ecocardiografía para registrar en el tiempo los ecos reflejados por el movimiento del miocardio y de las válvulas cardiacas, además de evaluar las dimensiones de las cámaras del corazón y el grosor de las paredes durante el ciclo cardiaco ^{37-39, 42}.
- El modo B o modo Escala de Grises es una modalidad muy extendida en el diagnóstico clínico. Los ecos recibidos se representan en la pantalla del ecógrafo como puntos con mayor o menor intensidad de brillo según la profundidad de los ecos reflejados por la estructura. El modo Escala de Grises aporta información tanto de la densidad como de la estructura y la textura del tejido estudiado ^{7, 19, 37-39}. También podemos valorar la ecogenicidad de los tejidos tomando como referencia la ecogenicidad del parénquima del hígado, que se considera como isoecogenicidad, y de esta forma se denomina a un tejido como hiperecoico o hipoecoico según tenga mayor o menor ecogenicidad que el hígado (**Figura 3**)^{35, 37, 39, 40}. Estas imágenes pueden formarse rápidamente para ser visualizadas en tiempo real ya que se obtienen varias imágenes por segundo proporcionando imágenes dinámicas para el ojo humano ^{37, 43}.

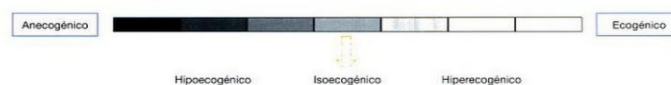


Figura 3. Escala de Grises con el patrón isoecogénico como referencia.⁴⁴

- El modo Doppler o ecografía Doppler es una técnica que se fundamenta en el cambio en la frecuencia de las ondas de ultrasonidos cuando son reflejada por las células sanguíneas en movimiento ^{7, 37, 45-47}. Por su importancia a la hora de valorar la perfusión de los tejidos, hablaremos de este modo en mayor profundidad en la siguiente sección.

a. *Ecografía Doppler*

La técnica Doppler es ampliamente utilizada para la evaluación del flujo sanguíneo. Su principio básico es el efecto Doppler, descrito por primera vez en 1845 por el físico Christian Andreas Doppler ⁴⁸. El efecto Doppler describe el cambio en la frecuencia del sonido recibido (el reflejado por los

glóbulos rojos sanguíneos) respecto a la frecuencia del sonido emitido por la fuente de sonido (el transductor), cuando la distancia entre el emisor y el receptor cambia. Esta distancia puede variar tanto por el movimiento de la fuente del sonido como del receptor. De esta forma, este cambio entre la frecuencia emitida y la recibida da información sobre las características del movimiento registrado^{35, 42, 47, 48}. Cuando existe movimiento, al acercarse el receptor a la fuente emisora las ondas que refleja son percibidas con mayor frecuencia. Por el contrario, al alejarse de la fuente emisora, las ondas reflejadas se percibirán con menor frecuencia. Por lo tanto, la magnitud del cambio de las frecuencias dependerá de la velocidad con que se mueva el receptor respecto a la fuente, así como del ángulo entre las trayectorias de las ondas y la dirección del movimiento^{46, 49}.

En la práctica, el efecto Doppler es utilizado en la valoración del movimiento de la sangre: los hematíes en movimiento reflejan la onda recibida de la fuente. Los hematíes se acercan y se alejan del transductor a una velocidad determinada al avanzar por los vasos sanguíneos. Al encontrarse con la onda de sonido, ésta es reflejada con diferente frecuencia y amplitud a la que fue emitida^{46, 48}, y esta diferencia en las frecuencias es la que sirve para determinar a qué velocidad circula la sangre por un vaso. Existen diferentes modos ecográficos que se basan en el efecto Doppler:

- Doppler Continuo: la emisión de las ondas y la recepción de la información suceden simultáneamente en el transductor, ya que presenta dos tipos independientes de cristales piezoeléctricos. De este modo, el cristal transmisor genera una onda continua de ultrasonidos mientras que el segundo cristal capta los ultrasonidos reflejados. Esto posibilita una mayor sensibilidad del método, pero no la localización espacial de la señal^{46, 48}.
- Doppler Pulsado: se emite un pulso de ondas de ultrasonido y se espera a que la información regrese antes de emitir el pulso siguiente. Se obtiene una gráfica en la que se representa una curva de velocidad o frecuencia con respecto al tiempo durante el cual los glóbulos rojos avanzan por el volumen estudiado⁴⁸.
- Color-Flow Doppler Ultrasonography (CDU) O Doppler Color: Proporciona información sobre la velocidad y la dirección del flujo durante las distintas etapas del ciclo cardiaco utilizando un espectro codificado en color en dos dimensiones^{35, 48}. Los colores en la escala del rojo representan flujos que se acercan al transductor mientras que los de la escala de azules muestran flujos que se alejan del transductor. Las distintas intensidades en cada escala de color representan distintas velocidades.
- Doppler Duplex: Combina las imágenes del modo B o Escala de Grises con las obtenidas utilizando el modo Doppler Pulsado^{46, 47}. Otra variedad que existe es el Doppler Dúplex en color, que combina el Doppler Color con el Doppler Pulsado.
- Power Doppler o Doppler Energía: es otra modalidad del Doppler Color que expone en color solamente la información relacionada con la amplitud de la señal Doppler, es decir, capta el

cambio de amplitud de los ecos y no el cambio de frecuencia de los ecos. Por lo tanto es utilizado para evaluar la presencia o ausencia de flujo de hematíes en un tejido. Además, se valora la cantidad de hematíes (cantidad de flujo) interpretado con colores más claros o más oscuros^{35, 46, 48}. Proporciona más información sobre el contorno de la luz del vaso, por lo que es útil para vasos pequeños y/o con baja velocidad. Por ello, es utilizado principalmente en casos de isquemia, inflamaciones en el tejido y en el diagnóstico de varicocele⁴⁹.

3. Ecografía testicular

El uso de la ecografía en el aparato reproductor del macho se puede aplicar en la evaluación de diferentes estructuras como el pene, las glándulas accesorias, el cordón espermático, el epidídimo y los testículos^{5, 6, 39}. En particular, la ecografía se utiliza cada vez más en las investigaciones de las patologías del testículo en los animales domésticos. La ecografía es muy útil para valorar el parénquima testicular y detectar diferentes patologías del testículo, como puede ser un proceso inflamatorio agudo, masas o tumores, quistes o abscesos testiculares, que producirán variaciones en la ecogenicidad del parénquima. Para ello, es necesario conocer previamente la imagen ecográfica normal del testículo. La ecogenicidad del testículo es de tipo intermedio, similar a la glándula tiroidea²⁴. Los túbulos seminíferos no se pueden distinguir en ecografía pero el mediastino se observa como una banda lineal hiperecogénica^{6, 7}. En caballos, la imagen ecográfica del mediastino es menos intensa en comparación con el toro¹⁹. La ecogenicidad del epidídimo es similar o ligeramente superior en comparación con el testículo²⁴. Es difícil diferenciar entre la cabeza, el cuerpo y la cola del epidídimo, pero realizando diferentes cortes ecográficos y aplicando los conocimientos anatómicos se puede visualizar la cabeza del epidídimo algo más grande respecto a las demás porciones del epidídimo⁷. Los vasos testiculares también se pueden observar mediante el modo Escala de Grises. La vena central es fácilmente reconocible en el parénquima testicular ya que se presenta como una mancha hipoeicoica en un corte transversal y como una línea curva hipoeicoica en un corte longitudinal. Las arterias centrípetas del testículo se observan como líneas finas anecoicas⁵⁰.

(Figura 4)



Figura 4. Imágenes ecográficas a Escala Grises de la vascularización del testículo en el semental. (a) Vena central en un corte transversal. (b) Zona marginal de arteria testicular en el polo caudal del testículo. (c) Arteria testicular en el cordón espermático⁵⁰

El modo Escala de Grises también se emplea para tomar las diferentes mediciones correspondientes a las dimensiones del testículo, valorar el grosor de las capas del escroto, poder localizar los vasos sanguíneos y detectar patologías que no son palpables en la exploración externa. En definitiva, el modo ecográfico Escala de Grises posibilita una exploración bastante completa del testículo. Por ello, este modo es el más utilizado en la valoración ecográfica del testículo, pero existen otros métodos como la ecografía en modo Doppler que nos aportan información adicional sobre los vasos sanguíneos.

4. Ecografía Doppler testicular

Gracias a las mejoras en la resolución de la imagen ecográfica utilizando transductores de mayor frecuencia, se ha ido refinando la técnica Doppler. Se han realizado numerosos estudios sobre la técnica Doppler ya sea en el ámbito de la investigación o en la clínica para valorar patologías testiculares e infertilidad. Además, el Doppler Color añade una valiosa información sobre el flujo sanguíneo⁴ permitiendo evaluar la vascularización del testículo y del epidídimo y los vasos del cordón espermático, así como detectar patologías como el varicocele o ciertos tumores, procesos inflamatorios agudos o la torsión del cordón espermático^{4,51}.

Para la exploración ecográfica mediante el modo Doppler se suele utilizar un transductor lineal con una frecuencia de entre 5-10 MHz. La frecuencia es alta debido a que el incremento de la frecuencia hace que la imagen ecográfica sea de mayor calidad pero con pérdida de profundidad. En el caso del testículo, la profundidad no es un parámetro limitante ya que no necesitamos demasiada para evaluar todo su grosor^{32, 36}. La exploración ecográfica debe comenzar mediante el modo Escala de Grises para visualizar el parénquima y localizar los vasos para posteriormente valorarlos con los modos Doppler. Los vasos a evaluar son la arteria testicular y la vena testicular. La arteria testicular se puede detectar en diferentes zonas: en la zona del cordón espermático donde se presenta de una forma tortuosa, en la zona marginal que se localiza en el polo caudal del testículo (**Figura 5**) y en las ramas de la arteria testicular que penetran en el parénquima del testículo denominadas arterias intratesticulares. Por otro lado, la vena testicular se puede localizar en el plexo pampiniforme y se puede observar también la vena central en el parénquima testicular. La evaluación de los vasos sanguíneos en el testículo se realiza mediante el modo Color-Flow Doppler Ultrasound y el Doppler Pulsado combinados^{4,48}.

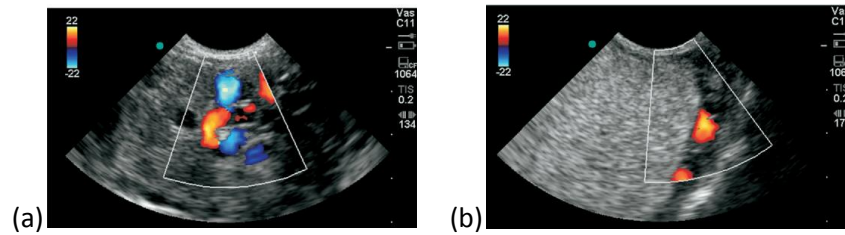


Figura 5. Ecografía Doppler. Doppler Color (a) en la zona del cordón espermático y (b) en la zona marginal de la arteria testicular en el semental⁵⁰.

Con el modo Doppler Pulsado el análisis de la frecuencia se puede representar mediante los espectrogramas o sonogramas, que muestran la velocidad de la sangre a lo largo del tiempo de estudio (**Figura 6.a**). De esta forma, la gráfica muestra la variación de los patrones de velocidad a lo largo del tiempo, analizándose unos intervalos cortos de tiempo de la señal Doppler (un segmento de una duración de 5-10 milisegundos). En el eje vertical de la gráfica se representa la frecuencia y en el eje horizontal el tiempo. Los puntos de píxeles se identifican con los componentes (hematíes) que producen el eco (**Figura 6.b**)^{36, 46}.

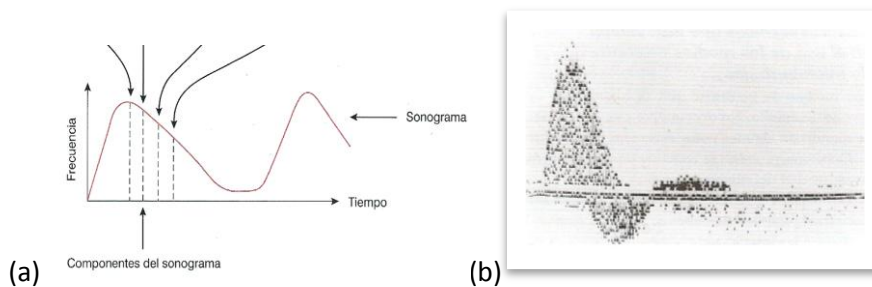


Figura 6. (a) Representación esquemática de un espectrograma. (b) Espectrograma donde se observa la estructura de píxeles y el patrón de puntos⁴⁶.

A partir del espectrograma generado del flujo de la arteria testicular se pueden valorar diferentes parámetros: (**Figura 7**)

- Peak Systolic Velocity (PSV): Velocidad máxima a la que circula la sangre por la arteria durante la sístole cardiaca.
- End Diastolic Velocity (EDV): Velocidad a la que circula la sangre por la arteria en el final de la diástole cardiaca.
- Resistive Index (RI): El índice de resistencia da información sobre la resistencia al flujo. Se calcula a partir de PSV y EDV utilizando esta fórmula: $RI = (PSV - EDV) / PSV$. (**Figura 7.a.**)
- Pulsatility Index (PI): El índice de pulsatilidad evalúa la relación entre la función cardiaca y la resistencia periférica. Se calcula mediante la siguiente fórmula: $PI = (Velocidad\ máxima - Velocidad\ mínima) / Velocidad\ media$. (**Figura 7.b.**)

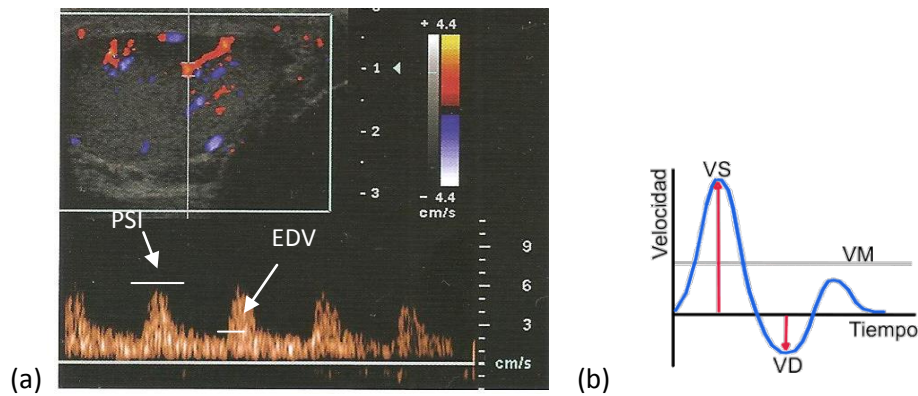


Figura 7. (a) Ondas de Doppler espectral. (b) Esquema de la onda de velocidad en la señal Doppler. VS: Velocidad sistólica máxima, VD: Velocidad diastólica mínima, VM: Velocidad media.⁴⁶

La onda espectral de la arteria testicular puede presentar diferentes patrones, dependiendo de la zona donde se evalúe (**Figura 8**). El patrón “resistente” está asociado con una gran diferencia entre PVS y EDV y, por lo tanto, con un alto RI. Generalmente, las ondas en el patrón resistente son bifásicas, es decir, que se distingue claramente el pico de velocidad sistólica y diastólica. En cambio, el patrón de onda “No resistente” presenta una onda monofásica con solo el pico de velocidad sistólica, debido a que la velocidad diastólica disminuye gradualmente durante el ciclo cardíaco. Por ello, la diferencia entre PVS y EDV es más pequeña y por consiguiente RI da valores más bajos. El patrón de onda característico de la zona marginal de la arteria testicular es de tipo no resistente, ya que el testículo necesita una perfusión constante^{48, 50, 52, 53}. En cambio, el patrón de onda de la arteria testicular a nivel del cordón espermático presenta por lo general una onda de tipo resistente, semejante al patrón de onda de la aorta abdominal de donde proviene^{54, 55}. Existe otro patrón de onda denominado onda trifásica, que presenta una onda resistente y el flujo diastólico es retrógrado, característico en animales de mayor edad y en patologías como la torsión testicular³¹.

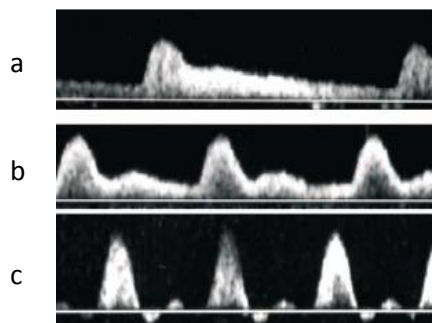


Figura 8. Ecografía modo Doppler Pulsado. (a) Onda monofásica no resistente. (b) Onda bifásica resistente. (c) Onda trifásica, altamente resistente con circulación retrograda³¹.

Estos parámetros y los patrones de onda sirven para evaluar los cambios en la vascularización periférica debido a patologías en el parénquima ^{46, 49}. La inflamación aguda testicular y la torsión testicular se pueden detectar a través del Doppler ya que en el modo Escala Grises ambas patologías presentan un aumento de tamaño del testículo y ligero descenso de la ecogenicidad con una imagen ecográfica muy heterogénea, mostrando una alteración pero sin poder identificar de qué tipo. Durante la inflamación la técnica Doppler Color muestra un aumento del flujo de los vasos sanguíneos y en el trazado del Doppler Pulsado se observa que el flujo en la diástole es más alto valores de RI más bajos ⁴ (**Figura 9**). Por otra parte, en la torsión testicular se aprecia la disminución o incluso la ausencia de flujo, dependiendo del grado de torsión⁵⁶. Con respecto a las neoplasias testiculares, mediante la ecografía Escala de Grises se observa una zona de ecogenicidad diferente y más heterogénea que en el resto del parénquima testicular. Si pasamos a la técnica Doppler, se observa la existencia de un aumento del flujo sanguíneo anormal y la formación de nuevos vasos, relacionado con una masa tumoral. Otra patológica que puede ser valorada mediante la técnica Doppler es el varicocele. El Doppler Color es la técnica más precisa para identificar esta condición, mostrando como el color invade unos canales dilatados (>2mm de diametro) en la zona del cordón espermático y mostrando en la grafica de Doppler Pulsado, un patrón de onda no resistente y la presencia de flujo retrogrado ⁴.

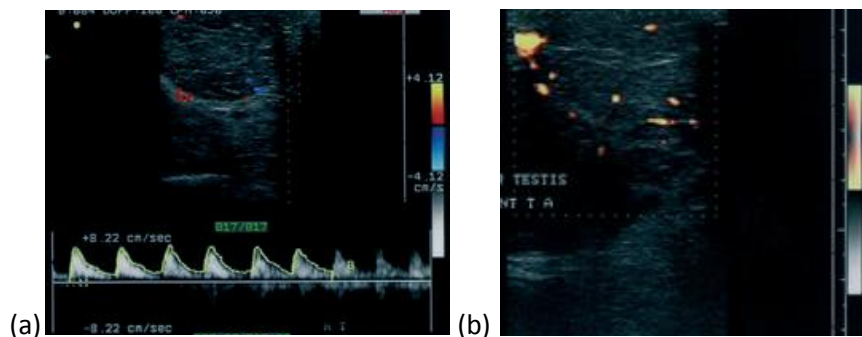


Figura 9. Ecografía Doppler (a) Doppler Duplex Color de una orquitis en perro. (b) Doppler Energía de una orquitis en perro ¹².

5. Evaluación de la perfusión testicular en las diferentes especies domésticas

La evaluación ecográfica del testículo sería aconsejable que se realizase como un método rutinario en el control reproductivo del macho. Sin embargo, la ecografía testicular está escasamente utilizada como un método de rutina en todas las especies. Por lo general, el examen reproductivo del macho suele incluir esta técnica, limitada a la valoración del parénquima testicular, junto con la valoración de la calidad seminal en épocas reproductivas. Es importante remarcar que, aunque su uso en el examen rutinario no está muy extendido, en todas las especies se recurre como primera elección a la

ecografía para identificar patologías testiculares en el caso de que el animal muestre síntomas de padecerla.

Previo a iniciar la evaluación ecográfica, se debe realizar una exploración visual de la piel del escroto y valorar la existencia de asimetrías marcadas entre ambos testículo. También se realiza la exploración mediante palpación de toda la bolsa escrotal y del cordón testicular, en busca de anomalías anatómicas palpables (asimetría, adherencias, inflamación y masas) y presencia de dolor en el testículo. Durante la exploración ecográfica, es aconsejable aplicar gran cantidad de gel ecográfico en el escroto ya que ayuda en el paso de las ondas hacia el tejido y crea un espacio para evitar la pérdida de calidad de la imagen por cercanía en la zona de contacto de la piel con el transductor^{6,7}. En ocasiones, se requiere el uso de la sedación como método de contención en los casos de que el comportamiento del animal imposibilite la exploración, ya sea por dolor, por ser un animal nervioso o que se mueva constantemente a causa de colocarse en una posición forzada. El grupo de sedantes de elección son los alfa-2-agonistas (xilacina, detomidina, medetomidina) ya que se ha demostrado que no genera un gran efecto en el flujo sanguíneo periféricos dosis mínima. La especie bovina es sensible a la xilacina por lo tanto las dosis deben ser menores (0.05 mg/kg)⁵⁷ en comparación a los equinos (0.50 mg/kg)⁵⁸ y la medetomidina se utiliza más como método de contención farmacológica en perro y en gatos (0.01- 0.04 mg/kg)⁵⁹.

Con estas nociones básicas previas, en este apartado se procede a describir las características particulares en términos anatómicos y de técnica ecográfica para la evaluación testicular, incluyendo la valoración de la perfusión del mismo, en las principales especies de animales domésticos.

a. Ecografía testicular en équidos

La reproducción en équidos es una de las ramas más importante en la clínica veterinaria equina. La economía del sector equino se basa principalmente en la reproducción, es decir, en generar una descendencia con el fin de sacar un beneficio económico. Para ello, hay que mantener la buena salud del aparato reproductor tanto de la hembra como en el macho. La exploración reproductiva del macho debe comenzar por saber las características del testículo normal en el semental para poder detectar anomalías en los mismos. Los testículos del caballo son menos colgantes que los del toro o el morueco. Cuando han descendido completamente, se localizan en la región inguinal y se presentan con el eje longitudinal del testículo casi horizontalmente, pero cuando se retraen hacia el anillo inguinal externo, este eje queda casi vertical. El epidídimo está fuertemente adherido al borde dorsal del testículo (**Figura 10**). El testículo presenta unas dimensiones medias de 10 x 5 x 5 cm y un peso 150-300 g, aunque existen diferencias sobre todo asociadas a la raza (poni vs. Caballo de tiro)⁶⁰. El tamaño y peso de los testículos está altamente correlacionado con la producción de esperma y es un predictor del potencial reproductivo del semental¹⁹.

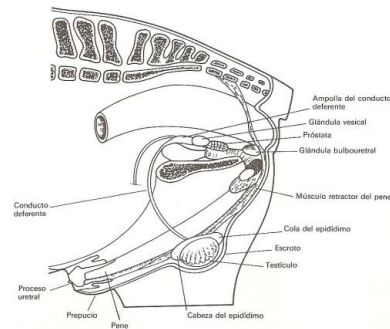


Figura 10. Esquema de los genital del semental ⁶⁰.

Una vez realizada la exploración visual y mediante palpación, se continúa con la evaluación ecográfica del testículo con el modo Escala de Grises. La imagen ecográfica del parénquima testicular del semental presenta una ecogenicidad media y es muy homogéneo. Además de utilizar esta técnica para valorar el parénquima, se utiliza también para localizar los vasos sanguíneos del testículo y medir las dimensiones de los mismos ⁶¹. En un estudio realizado por Pozor, M. (2005) detectó mediante la ecografía Escala de Grises que el varicocele y el engrosamiento de la túnica vaginal eran las patologías más frecuentes en una exploración rutinaria del tracto reproductivo de los sementales. Con ello, reafirmaba que la valoración del aparato reproductivo del caballo se debe realizar de forma rutinaria, ya que patologías como el varicocele son causa de esterilidad ⁶².

Para la evaluación de la perfusión testicular, se localizan diferentes zonas de la arteria testicular (**Figura 11**): en el cordón espermático, en la porción proximal de la arteria testicular a la altura del epidídimo, en la porción distal del borde libre de dicha arteria ^{31, 58} y en las arterias intratesticulares⁶³. La valoración de la perfusión es más fácil en la zona del cordón espermático que en la zona marginal de la arteria testicular y en las arterias intratesticulares ³¹ al ser demasiado pequeñas. Aun así, con equipos con buena calidad de imagen es posible realizar todas las mediciones de los parámetros y valorar la forma de las ondas en todas las zonas descritas ^{31, 58, 63}. También es posible valorar la vena testicular que se localiza en una posición central al testículo donde es posible valorar el diámetro normal con mayor precisión que en el plexo pampiniforme ⁶¹.

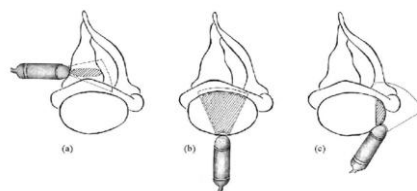


Figura 11. Orientación del transductor para evaluar la arteria en: (a) el cordón espermático, (b) la porción proximal a la altura del epidídimo y las arterias intratesticulares, (c) la porción distal, porción marginal. ³¹

El modo Escala de Grises aporta una importante información, que se complementa utilizando los modos Doppler. El modo Doppler Color se utiliza para localizar la mejor área para evaluar la

velocidad y dirección del flujo sanguíneo. Mientras que con el modo Doppler Pulsado es posible la valoración de las ondas de flujo sanguíneo y sobre ellas realizar las mediciones deseadas. Pozor y McDonnell, establecieron las referencias para evaluar la circulación sanguínea en la arteria testicular del semental mediante los parámetros obtenidos en las ondas del flujo sanguíneo de dicha arteria³¹. Los parámetros comúnmente utilizados en la valoración de la perfusión testicular en semental son PSV, EDV, RI y PI, siendo el índice de resistencia el indicador más fiable de patologías testiculares⁵⁶. En el semental también se suele utilizar el diámetro máximo de la arteria para poder calcular la velocidad máxima en un tiempo promedio (TAM, Time-average mean velocity). Así mismo, TAM es utilizado para poder calcular el flujo sanguíneo total de la arteria testicular (TABF, Total Artery Blood Flow)^{64, 65}.

La interpretación de la onda de flujo de la arteria testicular en la porción del cordón espermático mediante Doppler Pulsado es muy variada, desde unas ondas con patrón no resistente hasta otras ondas de patrón resistentes y bifásicas^{31, 56}. Este hallazgo podría corresponder con la disposición horizontal de los testículos en el semental³¹.

En un semental sano la resistencia en el flujo sanguíneo y los valores de RI y PI son bajos en la zona marginal de la arteria testicular⁶⁶. Estos valores pueden variar con la edad (16-22 años), la época reproductiva y con la administración de fármacos. En animales sanos y de avanzada edad se obtiene una onda trifásica en la zona marginal de la arteria testicular, obteniendo EDV bajos y RI mayores que en los caballos sanos y de media edad (11-15 años)³¹. Durante la época reproductiva, el flujo de la arteria testicular en la zona marginal sufre un aumento relacionado con el aumento del diámetro de la arteria y las concentraciones de testosterona⁶⁵. La administración de Pentoxifilina es utilizada para mejorar el flujo sanguíneo en humanos, en cambio en caballos se ha demostrado que no presenta ningún efecto significativo sobre las medias de la velocidad sanguínea en el testículo⁶⁷. Sin embargo, un aumento de estrógenos debidos a la administración de hCG da lugar a un aumento del flujo sanguíneo testicular en el semental⁶⁴, hecho que se ha observado también en el macho cabrío⁶⁸. Esto es debido a que los estrógenos tienen un efecto vasodilatador sobre las arterias testiculares⁶⁴.

Todos estos parámetros de la onda de flujo se pueden evaluar también en casos de sementales con disfunción testicular. En el caso del varicocele, los valores de PSV, RI y PI suelen ser altos cuando son medidos en la zona del cordón espermático. Por otra parte, en caso de tumor testicular no es posible obtener esas medidas ya que la vascularización es muy variable en la zona del tumor³¹. Con respecto a las torsiones testiculares, los valores de los parámetros varían según el grado de torsión, al igual que varía según el grado de isquemia, pero en general, el valor de RI se incrementa en caso de isquemia y lo mismo ocurre en casos de atrofia testicular. En cambio, el valor de RI disminuye en caso de inflamación testicular ya que existe mayor flujo sanguíneo en dicha zona⁵⁸.

En sementales con oligoespermia se han observado valores altos en RI y PI y alta resistencia de flujo sanguíneo en comparación con sementales con función testicular normal⁶⁶. Aunque se necesitan más estudios para establecer un patrón detallado entre la perfusión testicular y la calidad del semen, estos índices pueden ser un complemento a otras técnicas, como el control de la calidad espermática, para valorar la disfunción testicular.

b. Ecografía testicular en bóvidos

El escroto del toro se localiza en la región inguinal y se presenta más colgante que en otras especies. El eje longitudinal del testículo se encuentra en posición vertical cuando están totalmente descendidos^{15, 60} (**Figura 12**). Además, los testículos deben tener unas dimensiones medias de 13 x 7 x 7 cm y pesar aproximadamente 350g¹⁴. El epidídimo se localiza adherido a la superficie medial del testículo¹⁵. En el caso de los rumiantes (toro, moruecos y machos cabríos), la medición de la circunferencia escrotal se realiza dentro de la rutina del manejo como una forma de evaluación del estado reproductivo del macho^{57, 69}. En el toro, la circunferencia escrotal es normalmente de 35-42 cm, dependiendo de la raza⁶⁰.

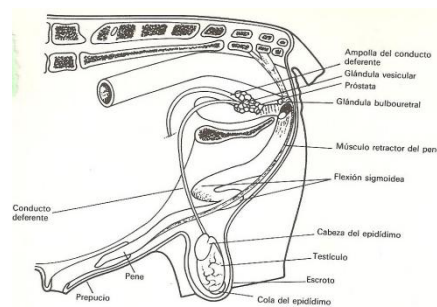


Figura 12. Esquema de los genitales del toro⁶⁰

Con el modo Escala de Grises la ecogenicidad del testículo del toro es similar a la de otras especies como el perro y el cerdo⁷⁰. El mediastino testicular se observa en el centro del testículo como una línea más ecogénica que el parénquima. La cola y la cabeza del epidídimo son fácilmente identificables en comparación con el cuerpo ya que la cabeza presenta con una densidad mayor⁷¹.

En estos últimos años, se ha valorado sobre todo el parénquima testicular del toro a través de la ecografía modo Escala de Grises^{72, 73}. Mediante esta técnica, se toman las mediciones sobre el diámetro y el grosor de las paredes de los vasos testiculares y son comparadas con la edad, el peso, producción de esperma, y la capacidad termorreguladora⁷³⁻⁷⁵. Las mediciones se obtienen a partir de la arteria testicular en la porción del cordón espermático y se valora la vena testicular en el plexo pampiniforme. Con dichas comparaciones se puede predecir la precocidad sexual del animal ya que el diámetro de los vasos es mayor en animales púberes que en pre-púberes de la misma edad⁷⁴. La misma relación se ha encontrado referente a la ecogenicidad del parénquima testicular⁷⁶.

Kay et al. realizó una restricción unilateral del flujo sanguíneo en la arteria testicular a su paso por el cordón espermático de forma experimental en toros, mostrando que el insuficiente aporte

sanguíneo al testículo hace que se reduzca su tamaño y también afecta a la espermatogénesis⁷⁷. El cierre total de la arteria testicular causa una rápida degeneración testicular y la falta de perfusión sanguínea produce una reducción del diámetro de los tubos seminíferos, incapacidad de realizar la correcta espermatogénesis y un aumento en el porcentaje del tejido intersticial^{77, 78}, detectable mediante la ecografía Escala de Grises. Hecho similar ocurre en una hipoplasia testicular hereditaria, patología asociada a una disminución del diámetro de la arteria testicular y un descenso del flujo sanguíneo⁷⁸.

Existen pocas investigaciones sobre uso de la ecografía Doppler en toros para valorar la perfusión testicular. Tras una extensa búsqueda sobre dicho tema en toros, se encontró un artículo en alemán del que solo se pudo valorar la información proporcionada en el resumen, por ser la única parte presentada en inglés⁷⁹. Pese a la limitada información disponible en este estudio, nos ha parecido interesante incluir los hallazgos descritos en el resumen, al haber poca información al respecto. En este estudio se describieron los cambios del flujo sanguíneo testicular relacionados con la edad, tanto en animales sanos como con anomalías testiculares. La arteria testicular se localiza en la parte del cordón espermático, en zona marginal a la entrada testículo, en una rama lateral en el polo ventral y en las arterias intratesticulares. Como en las demás especies, PSV, EDV, RI y PI fueron los parámetros utilizados. En animales sanos, la onda de flujo de la arteria testicular en todos sus puntos mostró una onda monofásica con altos valores en EDV. En animales con mayor edad, se mostró presentan una velocidad de flujo menor. En cambio, la perfusión testicular no mostró variaciones a lo largo del día ni cuando se produjo una estimulación sexual. Al administrar sedación con xilacina, en el caso de los toros se produce un ligero incremento de RI y descenso de la velocidad del flujo sanguíneo⁷⁹. También es posible, valorar mediante el modo Doppler Color el cuerpo cavernoso del pene en toro. Anderson pudo valorar un hematoma persistente en dicha zona⁸.

En la actualidad, las investigaciones sobre el modo Doppler son muy escasas en toros por lo que todavía no se han aportado valores de referencia en estos animales.

c. Ecografía testicular en pequeños rumiantes

El escroto del morueco se localiza en la región inguinal, está bien desarrollado, es colgante y está cubierto por lana^{23, 60}. Los testículos de los moruecos son relativamente grandes en proporción al peso corporal (cada testículo es aproximadamente 0.5% del peso vivo)²⁶. Los testículos completamente desarrollados y en estado de salud normal, presentan el eje longitudinal vertical y el epidídimo se localiza en la superficie caudomedial a lo largo del testículo en su plano sagital, similar al toro (**Figura 13**). Pesan alrededor de 275 g cada uno y miden 10 x 6 x 6 cm en un testículo adulto^{23, 60}. La anatomía y la exploración de los testículos del macho cabrío son similares a la de los moruecos²⁶.

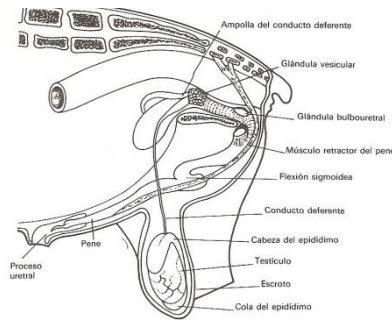


Figura 13. Esquema de los genitales del morueco ⁶⁰.

Mediante la ecografía modo Escala de Grises se puede valorar el parénquima testicular y el epidídimo del morueco y del macho cabrío. La imagen ecográfica del parénquima testicular^{80, 81} se visualiza igual que en las otras especies. Mediante el modo Escala de Grises se pueden obtener las dimensiones del testículo, metodología útil tanto en clínica como en el campo de la investigación en ovino y caprino. Por ejemplo, en un estudio realizado en moruecos, utilizaron la ecografía para evaluar las dimensiones del testículo al inyectar agonista de la GnRH ⁸².

La valoración del flujo sanguíneo se realiza en las zonas del cordón espermático y en la zona marginal de la arteria testicular mediante los modos Escala de Grises y Doppler Color-Flow. No se han encontrado investigaciones de la valoración ecográfica del flujo sanguíneo en las arterias intratesticulares, en cambio sí que se ha encontrado información sobre el flujo sanguíneo en la arteria testicular en la zona del cordón espermático.

Se ha demostrado que la administración de GnRH o hCG mejora el flujo sanguíneo testicular en el macho cabrío sano. La inyección de dichas sustancias produce una onda de flujo sanguíneo monofásica y de baja resistencia medida en la arteria testicular en la zona del cordón espermático. Por consiguiente, los valores RI y PI que se obtienen en dicha arteria disminuyen y dichas sustancias producirían una mejora en la circulación del testículo del macho cabrío ⁶⁸.

En caso de la especie ovina y caprina, las patologías más frecuentemente encontradas son las adherencias en la túnica vaginal del escroto y atrofas/hipoplasias testiculares^{81, 83}. La isquemia no es una patología frecuente en ovino pero puede producir cambios morfológicos y funcionales irreversibles en los testículos⁸⁴. Van Vliet (1987) observó en el morueco que la arteria testicular puede permanecer obstruida durante 30-60 minutos sin producir daños en la funcionalidad del testículo⁸⁵. Por todo lo comentado, la utilización de la ecografía testicular en la exploración rutinaria del aparato reproductor masculino en moruecos y machos cabríos podría ayudar a detectar precozmente ciertas patologías, mejorando el rendimiento productivo.

d. Ecografía testicular en porcino

En el sector porcino, la evaluación del potencial reproductivo suele incluir la realización de un examen único a la entrada en el centro de verracos. Ese examen consta de una evaluación física

(exploración de los genitales y la conformación corporal) y la evaluación del semen⁸⁶. Generalmente, se realiza una inspección visual y una palpación para valorar el tamaño, la simetría y la consistencia de los testículos. El escroto del verraco está situado en posición subanal y no es tan colgante como en otras especies de animales domésticos²⁵. Los testículos presentan el eje longitudinal en dirección dorsocaudal, de modo que la cola del epidídimo queda en la parte superior. Generalmente, el testículo del verraco presenta unas dimensiones de 13 x 7 x 7 cm y un peso de 360 g⁶⁰. El verraco no presenta la ampolla del conducto deferente²⁸ (**Figura 14**).

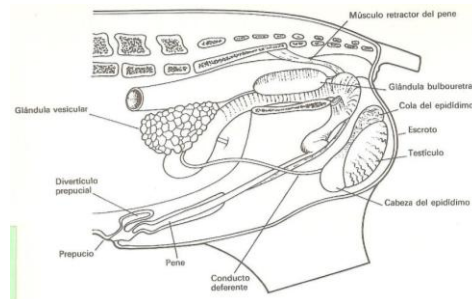


Figura 14. Esquema del genital del verraco⁶⁰

La imagen ecográfica del testículo del cerdo en modo Escala de Grises suele ser similar a las demás especies domésticas⁸⁶.

La exploración ecográfica del verraco no suele realizarse de forma rutinaria y suele reservarse para cuando presenta problemas reproductivos. Los problemas más frecuentes en el verraco son la falta de libido, baja calidad del semen, así como la presencia de hidrocele, tumores y atrofia testicular. Dicho esto, se puede contemplar que la valoración del aparato reproductor mediante ecografía sea introducida en los métodos de exploración rutinaria. La ecografía en el verraco se utiliza como una herramienta para valorar el parénquima y el volumen testicular, condiciones que generalmente están relacionadas con la conformación corporal del cerdo y los análisis del semen⁸⁶. En el ámbito de la investigación, la ecografía se utiliza como método de monitorización en el estudio testicular del cerdo⁸⁷. No se han encontrado artículos relacionados con la ecografía Doppler, por lo que se deduce que en la actualidad el desarrollo de esta técnica en el es muy escasa o incluso nula, y por lo tanto todavía se desconocen las medidas de referencia en la especie porcina y las posibles aplicaciones en la detección de patologías.

e. Ecografía testicular en cánidos

El escroto del perro se sitúa en posición ventral al arco isquiático, en la posición ano inguinal. El eje longitudinal de los testículos se dispone oblicuo en dirección dorsocaudal. El tamaño del testículo varía mucho en función de las diferentes razas, pero se considera que la media de las dimensiones es de 3 x 2 x 1.5 cm y el peso medio es de 11 g.^{18, 20, 53, 60, 88}. El epidídimo discurre por la superficie dorsolateral del testículo^{6, 7, 20, 88}. La próstata es la única glándula accesoria que presenta el perro y es habitual la exploración de la misma mediante ecografía⁸⁸ (**Figura15**)

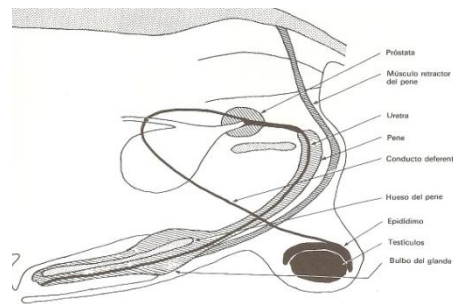


Figura 15. Esquema del genital del perro ⁶⁰.

Para realizar la exploración ecográfica testicular se puede colocar a los perros en decúbito supino ⁸⁹, decúbito lateral ⁸⁸ o en estación ^{6, 7}. Inicialmente se explora en la cara lateral del testículo y posteriormente se realiza un barrido por toda la superficie del escroto mediante el modo ecográfico de Escala de Grises. De este modo es posible valorar las dimensiones del testículo, la ecogenicidad del parénquima o detectar anomalías. Las localizaciones para valorar la arteria testicular son: la zona distal del cordón espermático ^{51, 90} y la porción marginal, y también se valoran las arterias intratesticulares integradas en el parénquima testicular ^{10, 89, 90}.

Los parámetros PSV, EDV, RI Y PI se utilizan como indicadores de la perfusión y funcionamiento del órgano. En varios estudios los índices RI y PI presentan una correlación negativa con la calidad espermática tanto en perros ⁵¹ como en humanos ^{91, 92}. Por lo tanto, dichos parámetros son más sensibles para valorar el proceso de espermatogénesis que PSV y EDV ^{51, 93}. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la infertilidad no puede valorarse únicamente mediante el flujo sanguíneo que presenta el testículo, sino que se debe realizar conjuntamente con otros métodos como el control de calidad del semen ^{10, 51}.

Al analizar las ondas de flujo sanguíneo, en órganos parenquimatosos como el testículo, en condiciones normales se observa una onda monofásica, sin resistencia en la zona marginal de la arteria testicular ^{52, 53}, similar a lo observado en otros animales domésticos como el semental y el toro. Las patologías más frecuentes del aparato reproductor del perro son la orquitis, seguida del edema escrotal y tumores testiculares ¹². Existen otras patologías de igual importancia como son hematocele, hidrocele, varicocele y torsión testicular ⁹⁴. Todas ellas son susceptibles de ser detectadas mediante ecografía. Las más apropiadas para valorarlas a través de la ecografía Doppler son la orquitis y la torsión testicular. La ecografía se puede utilizar también para diferenciar la orquitis con las masas tumorales, en la orquitis se puede observar el aumento de la velocidad del flujo sanguíneo de la zona inflamada mediante el Doppler Color. Sin embargo, en caso de tratarse de una masa tumoral, el flujo sanguíneo no aumenta y se observa la aparición de nuevos vasos sanguíneos en la zona ¹². Tanto la ecografía de Escala de Grises como el Doppler Color son muy utilizados para el diagnóstico definitivo de la torsión testicular. Los cambios ecográficos que se observan son: disminución de la ecogenicidad del parénquima testicular, epidídimo hiperecoico y cranealmente

desplazado, aumento de tamaño del cordón espermático con un trayecto anormal de los vasos sanguíneos testiculares, así como edema testicular identificado como una zona hipoeoica alrededor del testículo y del epidídimo. Sin embargo, en torsiones es mucho más importante verificar si existe o no perfusión sanguínea antes que valorar la velocidad de la misma, ya que corre peligro la correcta función del testículo. Por ello, la técnica ecográfica de elección en este caso es el Doppler Energía¹², ya que el flujo sanguíneo del testículo está ausente o muy disminuido en esta condición. Actualmente, el uso de la ecografía para la valoración de la perfusión testicular en perros está aumentando, abriendo la posibilidad de obtener información muy detallada y de continuar con las investigaciones.

f. Ecografía testicular en felinos

El escroto del gato se localiza en la zona subanal, no es una estructura muy prominente y no es tan pendular como el testículo del perro o de los rumiantes. El testículo del gato presenta el eje longitudinal oblicuo⁶⁰, muy similar a la descrita en la especie porcina. Las dimensiones media de los mismos son 1,6 x 1,1 x 1,1 cm⁶⁰. El gato no presenta vesículas seminales pero si un par de glándulas bulbouretrales que no se encuentran en el perro^{7,20} (**Figura 16**)

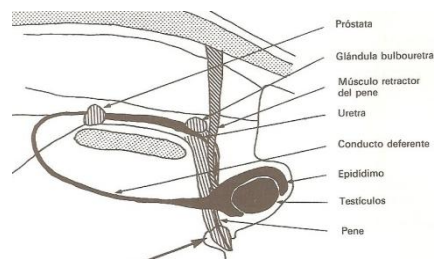


Figura 16. Esquema del genital del gato⁶⁰

Pocos artículos han descrito la evaluación de la perfusión testicular en el gato pero en aquellos consultados se realizan las mismas mediciones en las ondas del ultrasonido a través del Doppler Pulsado. Los parámetros medidos son PSV, EDV, RI y PI en las mismas localizaciones descritas en las otras especies (la arteria testicular en la zona tortuosa del cordón espermático y en la zona marginal y en las arterias intratesticulares). Como en otras especies, se han establecido unos valores de referencia de los parámetros del flujo sanguíneo testicular del gato. Por lo general, PSV presenta un valor más alto en la región del cordón espermático que en la región marginal y los valores EDV, RI y PI son similares en todas las regiones de la arteria testicular⁹⁶. Esto puede ser debido a la proximidad de la arteria testicular a su origen en la aorta abdominal. Como los valores son similares, las mediciones de la velocidad del flujo realizadas con Doppler pueden realizarse en cualquier zona de la arteria testicular⁹⁷.

Las alteraciones reproductivas más frecuentes encontradas en el gato son la infertilidad, comportamiento sexual tras la castración y criptorquidia. La infertilidad en el gato puede ser debida tanto a una falta de libido como a una inflamación o masas testiculares. En todos los casos, la

detección de las patologías puede detectarse mediante el modo ecográfico Escala de Grises. Del mismo modo sucede con los testículos que no han descendido. En la práctica clínica, éstos son detectados mediante ecografía y extirpados quirúrgicamente⁹⁸.

DISCUSIÓN

En este trabajo se ha observado que la evaluación de la perfusión testicular no se ha contemplado en profundidad en algunos de los animales domésticos (**Tabla 1**). En el caso de los animales de abasto y el gato, la valoración de la perfusión testicular a través de la ecografía Doppler no está ampliamente investigada en comparación con la valoración del parénquima testicular mediante el modo Escala de Grises. Por otro lado, en las especies domésticas como el perro y el caballo se han realizado más investigaciones sobre la perfusión testicular tanto en el modo de Escala Grises como con las distintas modalidades de Doppler, valorando todas las zonas de la arteria testicular (Zona tortuosa del cordón espermático, zona marginal de la arteria testicular así como en las arterias intratesticulares). Se ha observado que la zona tortuosa y la zona marginal de la arteria testicular son las más usadas para tomar mediciones durante la exploración ecográfica mediante Doppler^{31, 54, 90, 97, 99}. Sin embargo, las arterias intratesticulares son las que mejor representan la perfusión testicular ya que se encuentran infiltradas en el parénquima y la arteria testicular en la porción del cordón espermático está más próxima a la aorta abdominal y presentan un flujo muy parecido a esta⁸⁹.

Los parámetros medidos para evaluar la perfusión testicular en la mayoría de las especies son la velocidad del pico de velocidad sistólico (PSV), velocidad al final de la diástole (EDV), índice de resistencia (RI) e índice de pulsatilidad (PI). La medición de la perfusión testicular está bien definida por los índices de resistencia y pulsatilidad⁹⁰. En varias especies como en el perro, en el caballo y también en el hombre, el parámetro PSV se ha relacionado positivamente con la espermatogénesis^{51, 56, 91, 92} y se considera el índice de resistencia como un buen parámetro de la perfusión testicular. El índice de resistencia también se considera indicativo de patologías testiculares que presenten isquemia o degeneración testicular así como en testículos ectópicos en las que RI aumenta mientras que este parámetro disminuye en caso de inflamación del testículo^{31, 56, 66, 91, 92, 100}. Por lo tanto, la medición de RI y PI mediante el Doppler Pulsado se puede utilizar para valorar la disfunción testicular⁶⁶. Sin embargo, los parámetros de PVS, EDV, RI Y PI por sí solos son insuficientes para considerarse indicadores de la espermatogénesis y de la calidad espermática⁹¹.

	Nº publicaciones	Escala de grises	Doppler Color	Doppler Pulsado	Doppler Power	Arteria testicular			Parámetros			
						Zona cordón espermático	Zona marginal	Zona intratesticular	PSV	EDV	RI	PI
Equino	14	12/14	12/ 14	11/14	1/14	7/14	9/ 14	2/14	11/14	11/ 14	11/ 14	12/14
Bovino	10	9/10	1/10	1/10	-	4/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
Ovino	7	7	1/7	-	-	4/7	1/7	-	-	-	-	-
Caprino	3	3	1/3	1/3	-	1/3	-	-	-	-	1/3	1/3
Porcino	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Canido	11	9/11	11	11	2/11	8/ 11	8/ 11	5/11	11	11	11	9/11
Felino	2	1/2	1/2	2/2	-	2/2	1/2	1/2	2/2	2/2	2/2	1/2

Tabla1: Refleja el número de publicaciones que se han consultado en las diferentes especies animales y de esas publicaciones se indica cuantas han hablado de las diferentes secciones.

CONCLUSIONES

- El uso y el estudio de la ecografía para la valoración del aparato reproductivo masculino están generalizados en algunas especies de animales domésticas como es el caso del caballo y del perro, encontrándose más limitados en animales de abasto y en gatos. El aparato reproductivo en los animales de abasto es imprescindible para la producción de la descendencia y la consiguiente obtención de beneficio económico. Sin embargo, generalmente este aparato no se valora de forma rutinaria en los machos de estas especies.
- El modo ecográfico Escala de Grises es el modo de primera elección para evaluar el aparato reproductivo del macho en los animales domésticos, permitiendo la valoración de la integridad del parénquima testicular y del escroto, así como la realización de mediciones de forma no invasiva, inocua y con precisión anatómica.
- La investigación de la valoración de la perfusión testicular mediante el modo Doppler está más extendida en caballos y en perros que en las demás especies domésticas. Puede ser debido a que estas especies presentan un alto valor sentimental para los propietarios, sobre todo en el caso del perro, o económico, sobre todo en el caso de los caballos, que incite a investigar en la mejora de la detección precoz de patologías reproductivas.

CONCLUSIONS

- The use and the study of the ultrasound technique for the evaluation of the male reproductive system are generalized in some species of domestic animals such as horses and dogs, being more limited in farm animals and in cats. The reproductive system in the farm animals is

essential for obtaining economic benefit. However, this system is not routinely evaluated in males of these species.

- The Grayscale Ultrasound mode is the first-choice method to evaluate the male reproductive tract in domestic species, allowing to assess the testicular parenchyma and scrotum and to take measurements in a noninvasive, innocuous and anatomically accurate way.
- The assessment of testicular perfusion by using the Doppler mode has been more extensively investigated in horses and dogs than in other domestic species. It may be due to the high sentimental value of these species for the owners, especially in the case of the dog, or to economic reasons, especially in the case of horses, which would incite to investigate the improvement of the early detection of reproductive pathologies.

VALORACIÓN PERSONAL

La elección del tema de este Trabajo Fin de Grado se basó en mi interés en el ámbito de la reproducción veterinaria. Debido a que el aparato reproductor de la hembra le suelen dar más importancia y nos han dado mayor información a lo largo de la carrera, quise centrarme en el macho. La técnica estrella para la evaluación de los testículos es la ecografía y sobre todo para valorar la perfusión testicular. Por lo tanto, fue interesante recopilar información sobre las técnicas ecográficas utilizadas para valorar la perfusión del testículo en diferentes especies animales. La ecografía es una herramienta muy utilizada en la clínica veterinaria y el trabajo me ha servido para repasar las nociones básicas sobre ecografía y aprender los parámetros más utilizados para valorar el flujo sanguíneo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Caracterización del sector porcino español año 2015 [Internet]; c2015. Available from: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/caracterizaciondelsectorporcinoespanolano2015_tcm7-423382.pdf.
2. Caracterización del sector vacuno de carne año 2015 [Internet]; c2015. Available from: http://www.mapama.gob.es/fr/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/caracterizaciondelsectorvacunodecarne2015_tcm12-267233.pdf.
3. Caracterización del sector ovino y caprino en España año 2014 [Internet]; c2014. Available from: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/caracterizaciondelsectorovinoycaprinoenespana2014_def_tcm7-411855.pdf.
4. Pozniak MA. Ecografía doppler del escroto. In: P. L. Allan, Paul A. Dubbins, Myron A. Pozniak, W. Norman McDicken, editors. Ecografía doppler clínica. 2008th ed. Barcelona (España): ELSEVIER ESPAÑA S.L.; 2008. .
5. Pozor MA, McDonnell SM. Ultrasonographic measurements of accessory sex glands, ampullae, and urethra of normal stallions of various size types. *Theriogenology* 2002;58(7):1425.

6. Dickie A. Ecografía del tracto reproductivo. In: Paddy Mannion, editor. Diagnóstico ecográfico en el perro, gato y animales exóticos. Zaragoza: Acribia; 2009. Paddy Mannion ; traducido por Rafael Barrera Chacón, Francisco Javier Duque Carrasco; :il.;24 cm.
7. Goddard PJ. Ecografía veterinaria. Zaragoza: Acribia; 2000. editor, P. J. Goddard ; traducción a cargo de Jesús Usón Casaús, Rafael Barrera Chacón; :il. ;24 cm.
8. Anderson DE, St-Jean G, Desrochers A, Hoskinson JJ. Use of doppler ultrasonography and positive-contrast corpus cavernosography to evaluate a persistent penile hematoma in a bull. Journal of the American Veterinary Medical Association (USA) -;209(9):1611.
9. Allan PL, McDicken WN, Pozniak MA, Dubbins PA. Ecografía doppler clínica. Harcourt Brace De Espana Sa; 2008. .
10. de Souza MB, England GC, Mota Filho AC, Ackermann CL, Sousa CVS, de Carvalho GG, Silva HVR, Pinto JN, Linhares JCS, Oba E. Semen quality, testicular B-mode and doppler ultrasound, and serum testosterone concentrations in dogs with established infertility. Theriogenology 2015;84(5):805-10.
11. Hamm B. Sonography of the testis and epididymis. Andrologia 1994 8;26(4):193-210.
12. Bumin A, Kaya M, Kaya U, Kibar M, Alkan Z. Gray-scale, colour and power doppler sonography of scrotal disorders in dogs. Rev Med Vet 2007 -;158(3):128.
13. Peters AR, Ball PJH. Reproduction in cattle. Oxford etc.: Blackwell Science; 1995. A. R. Peters, P. J. H. Ball; :il. ;25 cm.
14. Noakes DE. Fertilidad y obstetricia del ganado vacuno. In: Zaragoza: Acribia; 1999. D. E. Noakes ; traducción... Pedro Ducar Maluenda; :il. ;24 cm.
15. García Monterde J. Consideraciones anatomofuncionales sobre el aparato genital masculino. In: Reproducción y mejora del vacuno de carne y leche: Fundamentos anatomofuncionales y tecnológicos. Cordoba: Facultad de veterinaria de la universidad de Cordoba; 1984. .
16. Noakes DE. Los órganos genitales normales. In: J. A. Laing, W. J. Brinley Morgan, W. C. Wagner, editors. Fertilidad e infertilidad en la practica veterinaria. Cuarta Edición ed. Madrid: Interamericana McGraw-Hill; 1991. .
17. Hughes PE, Varley MA. Reproduction in the pig. London: Butterworth & Co; 1980. P.E. Hughes, M.A. Varley; :il. ;24 cm.
18. Christiansen IJ. Andrology of normal male. In: Ib J. Christiansen, editor. Reproduction in the dog and cat. pub ed. London etc.: Baillière Tindall; 1984. Ib J. Christiansen; :il. ;22 cm.
19. Samper JC, Pycock JF, McKinnon AO. Anatomy and examination of the normal testicle. In: Current therapy in equine reproduction. ; 2007. .

20. Hewitt D. Fisiología y endocrinología del macho. In: G. M. Simpson, Gary CW England, M. J. Harvey, editors. Manual de reproducción y neonatología en pequeños animales. U.K.: EDICIONES; 2000. .
21. Orts Llorca F. Anatomía humana. 4a , rev y con adición de nuevas figuras ed. Barcelona etc.: Científico-Médica; 1972. T .III,; Francisco Orts Llorca.; :il. ;24 cm.
22. Brinsko SP. Fisiología reproductora del macho. In: James G. Cunningham, Bradley G. Klein, editors. Fisiología animal. 4º Ed ed. ELSEVIER; 2009. .
23. Salamon S, Maxwell WMC, Evans G, Illera del Portal J. Inseminación artificial de ovejas y cabras. 1a ed. Zaragoza: Acribia; 1990. Gareth Evans , WMC Maxwell ; traducido por Josefina Illera del Portal; :il. ;24 cm; Precede al tít.: Steven Salamon.
24. Sánchez Guerrero A, Villar Esnal R, Pamplona Casamayor M. Radiological diagnosis: Scrotal ultrasound and doppler ultrasound in the diagnosis of male infertility. Archivos Españoles De Urología 2004 -;57(9):905.
25. Gordon I. Controlled reproduction in pigs. Wallingford: Cab International; 1997. Ian Gordon; ;25 cm.
26. Gordon I. Controlled reproduction in sheep and goats. CAB International; 1997. .
27. Cebrián Yagüe LM, Pastor Meseguer J, Ramos Antón JJ, Ferrer Mayayo LM. Exploración clínica del ganado vacuno. Zaragoza: Servet; 2005. Luis Miguel Cebrián Yague ... [et al.]; :il. ;25 cm; Son coautores de la obra, Joaquín Pastor Meseguer, Juan José Ramos Antón y Luis Miguel Ferrer Mayayo, profesores de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza.
28. Cerveny C, König HE, Liebich H. Órganos genitales masculinos. In: Horst Erich König, Hans-Georg Liebich, editors. Anatomía de los animales domésticos :Texto y atlas en color. 2a corr y ampl ed. Buenos Aires etc.: Ed. Médica Panamericana; 2005. Tomo 2,; dirigido por Horst Erich König, Hans-Georg Liebich ; con la colaboración de H. Bragulla ... [et al.]; :il. ;32 cm.
29. Moretti AdS, Borelli V, Toniollo G. Vascularização arterial do testículo de suínos ; arterial blood supply of the testicle in pigs. 1992 -.
30. Nickel N, Schummer A, Seiferle E. The anatomy of the domestic animals. 1981;3:234.
31. Pozor M, McDonnell S. Color doppler ultrasound evaluation of testicular blood flow in stallions. Theriogenology 2004;61(5):799-810.
32. Quintela Arias LÁ. Principios de la ecografía. In: Luis Ángel Quintela Arias, Universidad de Santiago de Compostela, editors. Ecografía y reproducción en la vaca. Santiago de Compostela: Universidade; 2006. edición a cargo de Luis Ángel Quintela Arias ... [et al.]; :il. ;30 cm.
33. Díaz-Rodríguez N, Garrido-Chamorro RP, Castellano-Alarcón J. Formación continuada: Ecografía: Principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. Semergen: Medicina General / De Familia 2007 -;33(7):362.

34. Ginther OJ. Review: How ultrasound technologies have expanded and revolutionized research in reproduction in large animals. *Theriogenology* 2014 -;81(1):112.
35. Vargas A, Amescua-Guerra LM, Bernal MA, Pineda C. Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. *Acta Ortopedica Mexicana* 2008 -;22(6):361.
36. Hofer M. Curso básico de ecografía: Manual de iniciación. Editorial Médica Panamericana; 2006. .
37. Fernández Sánchez M. La técnica ecográfica. In: Manuel Fernández Sánchez, editor. Reproducción y control ecográfico en vacuno :El ciclo estral desde una nueva perspectiva. Zaragoza: Servet; 2012. Manuel Fernández Sánchez; :il. col. ;28 cm.
38. Mannion P. Principios de diagnóstico ecográficos. In: Paddy Mannion, editor. Diagnóstico ecográfico en el perro, gato y animales exóticos. Zaragoza: Acribia; 2009. [editado por] Paddy Mannion ; traducido por Rafael Barrera Chacón, Francisco Javier Duque Carrasco; :il.;24 cm.
39. Siems J. Ecografía diagnóstica. In: Connie M. Han, Cheryl D. Hurd, editors. Diagnóstico práctico por imagen para técnicos veterinarios. Zaragoza: Acribia; 2002. Connie M. Han, Cheryl D. Hurd ; traducido por Cristina Fernández Sanz; :il. ;26 cm.
40. Liste Burillo F. Diagnostico por imagen: Tecnicas. In: Isidro Mateo Pampliega, Fernando Liste Burillo, Sergio P. Monteagudo Franco, Alberto Muñoz González, editors. Atlas veterinario de diagnóstico por imagen. Zaragoza: Servet; 2010. [coordinador] Fernando Liste Burillo ; [autores] Isidro Mateo Pampliega, Sergio P. Monteagudo Franco, Alberto Muñoz González; :il. col. y n., gráf. ;29 cm.
41. Díaz Rodríguez N, Acuña Vengoechea JA. Principios físicos de la ecografía. *Semergen: Revista Española De Medicina De Familia* 2003 -(. 2):75.
42. Schmidt G. Principios físicos y técnica básica. In: G. Schmidt, B. Beuscher-Willems, L. Brüggmann, C. Görg, T. Grebe, L. Greiner, editors. Ecografía: De la imagen al diagnóstico. Editorial Medica Panamericana Sa de; 2007. .
43. Kossoff G. Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. *World J Surg* 2000 -;24(2):134.
44. Lorenzo MJV. Ultrasonografía endoscópica. Médica Panamericana; 2008. .
45. Varas Lorenzo J. Principios prácticos de ecografía anal y rectal. Díaz de Santos; 2004. .
46. Norman McDicken W, Hoskins PR. Física: Principios, práctica y artefactos. In: Paul L. Allan, Paul A. Dubbins, Myron A. Pozniak, W. Norman McDicken, editors. Ecografía doppler clínica. 2ª Edición ed. Barcelona (España): ELSEVIER ESPAÑA S.L.; 2008. .
47. Boote E. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: Topics in US - doppler US techniques: Concepts of blood flow detection and flow dynamics. *Radiographics* 2003 -;23(5):1315.
48. Paolinelli G. P. Ecografía doppler: Pricipios y aplicaciones. *Diagnóstico Por Imagen* 2004;15(Nº 2).
49. Isarria Vidal S. Ecografía doppler: Principios físicos y técnica. 2004.

50. Pozor MA. Evaluation of testicular vasculature in stallions. *Clinical Techniques in Equine Practice* 2007 -;6(4):271.
51. Zelli R, Troisi A, Elad Ngonput A, Cardinali L, Polisca A. Evaluation of testicular artery blood flow by doppler ultrasonography as a predictor of spermatogenesis in the dog. *Res Vet Sci* 2013 -;95(2):632.
52. Carvalho CF, Chammas MC, Cerri GG. Principios físicos do doppler em ultra-sonografia. *Citextordfemeninencia Rural* 2008 06;38:872.
53. de Souza MB, Barbosa CC, England GC, Mota Filho AC, Sousa CVS, de Carvalho GG, Silva HVR, Pinto JN, Linhares JC, Silva LD. Regional differences of testicular artery blood flow in post pubertal and pre-pubertal dogs. 2015 -.
54. de Souza MB, da Cunha Barbosa C, Pereira BS, Monteiro CLB, Pinto JN, Linhares JCS, da Silva, Lúcia Daniel Machado. Doppler velocimetric parameters of the testicular artery in healthy dogs. *Res Vet Sci* 2014;96(3):533.
55. Oviedo-García AA, Algaba-Montes M, Segura-Grau A, Rodríguez-Lorenzo Í. Ecografía de los grandes vasos abdominales. 2016;42(5):315.
56. Gracia-Calvo L, Duque J, Balao dS, Ezquerra J, Ortega-Ferrusola C. Testicular perfusion after standing laparoscopic peritoneal flap hernioplasty in stallions. *Theriogenology* 2016/10;84(5):797-804.
57. Brito LFC, Silva AEDF, Barbosa RT, Kastelic JP. Testicular thermoregulation in bos indicus, crossbred and bos taurus bulls: Relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology* 2004 /1/15;/61(2):511-28.
58. Pozor MA, McDonnell SM. Doppler ultrasound measures of testicular blood flow in stallions. *Theriogenology* 2002 -;58(2):437.
59. Gouletsou PG, Galatos AD, Leontides LS. Comparison between ultrasonographic and caliper measurements of testicular volume in the dog. *Anim Reprod Sci* 2008;108(1-2):1.
60. Laing JA, Morgan WJB, Wagner WC, Martín JMG. Fertilidad e infertilidad en la práctica veterinaria. McGraw-Hill-Interamericana de España; 1991. .
61. Pozor M, Kolonko D. The testicular artery of stallions in clinical and morphological studies. *Med Weter* 2001 -;57(11):822.
62. Pozor M. Diagnostic applications of ultrasonography to stallion's reproductive tract. *Theriogenology* 2005 -;64(3):505.
63. Vitoria Moraiz A, Vázquez Bringas FJ. Desarrollo y evaluación de dos nuevas técnicas en cirugía laparoscópica equina: Vasectomía y cierre parcial del canal inguinal. Universidad de Zaragoza; 2016. 106-119 p.

64. Bollwein H, Schulze JJ, Miyamoto A, Sieme H. Testicular blood flow and plasma concentrations of testosterone and total estrogen in the stallion after the administration of human chorionic gonadotropin. *Journal of Reproduction and Development* 2008;54(5):335-9.
65. Boyd A, Pozor MA, Baley CS, Verstegen J. Effect of seasonality on testicular blood flow in mature stallions. *Anim Reprod Sci* 2006;94(1):144.
66. Pozor MA, Nolin M, Roser J, Runyon S, Macpherson ML, Kelleman A. Doppler indices of vascular impedance as indication of testicular dysfunction in stallions. *Journal of Equine Veterinary Science* 2014;34:38.
67. Pozor MA, Muehlhaus J, King A, Macpherson ML, Troedsson MH, Bailey CS. Effect of pentoxifylline treatment on testicular perfusion and semen quality in miniature horse stallions. *Theriogenology* 2011;76(6):1027.
68. Samir H, Sasaki K, Ahmed E, Karen A, Nagaoka K, El Sayed M, Taya K, Watanabe G. Effect of a single injection of gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and human chorionic gonadotropin (hCG) on testicular blood flow measured by color doppler ultrasonography in male shiba goats. 2015.
69. Abecia Martínez A, Forcada Miranda F. Manejo reproductivo en ganado ovino. Zaragoza: Servet; 2010. Alfonso Abecia Martínez, Fernando Forcada Miranda; :il. col. ;29cm; Son coautores de la obra José Álvaro Cebrián Pérez, M^a Teresa Muiño Blanco, Rosaura Pérez Pe y Adriana Casao Gascón, profesores de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza.
70. Cartee RE, Gray BW, Whitesides J, Powe TA, Hudson RS. Preliminary implications of B-mode ultrasonography of the testicles of beef bulls with normal breeding soundness examinations. *Theriogenology* 1989 -;31(6):1149.
71. Pechman RD, Eilts BE. B-mode ultrasonography of the bull testicle. *Theriogenology* 1987 - ;27(2):431.
72. Ribadu AY, Nakao T. Bovine reproductive ultrasonography: A review. *Journal of Reproduction and Development* 1999;45(1):13-28.
73. Brito LFC, Barth AD, Wilde RE, Kastelic JP. Testicular ultrasonogram pixel intensity during sexual development and its relationship with semen quality, sperm production, and quantitative testicular histology in beef bulls. *Theriogenology* 2012 /7/1/;78(1):69-76.
74. Brito LFC, Silva AEDF, Rodrigues LH, Vieira FV, Deragon LAG, Kastelic JP. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in brazil. *Theriogenology* 2002 /10/1/;58(6):1175-86.
75. Brito LFC, Barth AD, Wilde RE, Kastelic JP. Testicular vascular cone development and its association with scrotal temperature, semen quality, and sperm production in beef bulls. *Anim Reprod Sci* 2012 -;134(3-4):135.

76. Cardilli DJ, Toniollo GH, Pastore AA, Canola JC, Oliveira JA, Mercadante MEZ. Precocidade sexual em bovinos nelore avaliada por ultrassonografia testicular. *Arq. Bras. Vet. Zootec.* 2014;v.6(n4):1296 - 1298.
77. Kay GW, Grobbelaar JAN, Hattingh J. Effect of surgical restriction of growth of the testicular artery on testis size and histology in bulls. *J Reprod Fertil* 1992 2016-11-02;96(2):549.
78. Kay GW, Grobbelaar JAN, Hattingh J. Heritable testicular hypoplasia in nguni (*bos indicus*) bulls: Vascular characteristics and testosterone production. *J Reprod Fertil* 1992 -;96(2).
79. Witte A, Tierärztliche Hochschule Hannover. Dopplersonographische untersuchungen an der arteria testicularis des bullen / use of doppler ultrasound for the examination of testicular vessels of bulls. 1999 -.
80. Gouletsou PG, Amiridis GS, Cripps PJ, Lainas T, Deligiannis K, Saratsis P, Fthenakis GC. Ultrasonographic appearance of clinically healthy testicles and epididymides of rams. *Theriogenology* 2003 -;59, no. 9(9).
81. Carazo LRB, Guimarães JD, Machado T.P., Machado TPLC, Oliveira FASAM, Pereira DB, . Ultrassonografia testicular em caprinos jovens da raça alpina / testicular ultrasonography in young alpine goats. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária e Zootecnia* 2014;66(2):388.
82. Chandolia RK, Bartlewski PM, Omeke BC, Beard AP, Rawlings NC, Pierson RA. Ultrasonography of the developing reproductive tract in ram lambs: Effects of a GnRH agonist. *Theriogenology* 1997;48(1):99.
83. Testicular pathology of merino rams in western australia sheep. 54. annual conference of the australian veterinary association. perth, W.A. (australia).; -; ; 1977. .
84. Markey CM, Jequier AM, Meyer GT, Martin GB. Relationship between testicular morphology and sperm production following ischaemia in the ram. *Reprod Fertil Dev* 1995 -;7(1).
85. Van Vliet J, de Ruiter-Bootsma AL, Oei YH, Hoekstra A, de Rooij DG, Wensing CJG. Reversible harmless interruption of testicular blood supply in the ram. *J Androl* 1987;8(2):108-15.
86. Clark SG, Schaeffer DJ, Althouse GC. B-mode ultrasonographic evaluation of paired testicular diameter of mature boars in relation to average total sperm numbers. *Theriogenology* 2003;60(6):1011.
87. Jędraszczyk J, Zieliński A. Ultrasonography in boar's reproductive organ examination. *Med Weter* 2005 -;61(7):818.
88. Feldman EC, Nelson RW. Reproducción del macho canino. In: Edward C. Feldman, Richard W. Nelson, editors. *Endocrinología y reproducción en perros y gatos*. 2a ed. México etc.: McGraw-Hill Interamericana; 2000. Edward C. Feldman, Richard W. Nelson ; traducción, Bernardo Rivera Muñoz, Ana María Pérez Tamayo, Guillermina Féher de la Torre; :il. ;28 cm.

89. de Souza MB, Mota Filho AC, Sousa CVS, Monteiro CLB, Carvalho GG, Pinto JN, Linhares JCS, Silva LDM. Triplex doppler evaluation of the testes in dogs of different sizes. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 2014 11;34:1135.
90. Gumbsch P, Holzmann A, Gabler C. Colour-coded duplex sonography of the testes of dogs. 2002:140.
91. Biagiotti G, Cavallini G, Modenini F, Vitali G, Gianaroli L. Spermatogenesis and spectral echo-colour doppler traces from the main testicular artery. *BJU Int* 2002 12;90(9):903-8.
92. Pinggera GM, Mitterberger M, Bartsch G, Strasser H, Gradl J, Aigner F, Pallwein L, Frauscher F. Assessment of the intratesticular resistive index by colour doppler ultrasonography measurements as a predictor of spermatogenesis. 2008 2016-10-27;101(6):722.
93. England G, Bright L, Pritchard B, Bowen I, Souza Md, Silva L, Moxon R. Canine reproductive ultrasound examination for predicting future sperm quality. *Reproduction in Domestic Animals* 2016 11.
94. Ley WB, Reed Holyoak G, Digrassie WA, Cartisano D. Alteraciones testiculares y epididimales. In: Margaret V. Root Kustritz, editor. *Manual de reproducción del perro y del gato*. MultiMédica; 2005. .
95. Christiansen IJ. Andrology of the normal male. In: Ib J. Christiansen, editor. *Reproduction in the dog and cat*. ; 1984. .
96. Brito MBS, Feliciano MAR, Coutinho LN, Uscategui RR, Simoes APR, Maronezi MC, Almeida VT, Crivelaro RM, Gasser B, Pavan L, et al. Doppler and contrast-Enhanced ultrasonography of testicles in adult domestic felines. *Reproduction in Domestic Animals* 2015 10;50(5):730-4.
97. Lobato Mota G, Azevedo de Frietas L, Soares de Sousa CV, Cruvinel Lima DB, de Souza MB, Machado da Silvia LD. Regional evaluation of the testicular artery by doppler ultrasonography in healthy adult cats. *Internacional Symposium on Canine and Feline Reproduction, París, France* 2016:176.
98. Morales ZRA, Corbera Sánchez JA, Doreste Caballero F, Morales Doreste M. Aparato reproductor. In: Z. R. A. Morales, L. E. F. Álvarez, editors. *Patología médica veterinaria: Libro de texto para la docencia de la asignatura*. Universidad Santiago de Compostela.; 2003. .
99. Middleton WD, Thorne DA, Melson GL. Color doppler ultrasound of the normal testis. *Am J Roentgenol* 1989 -;152(2):293.
100. Lee Jr. FT, Winter DB, Pozniak MA, Chosy SG, Scanlan KA, Madsen FA, Zagzebski JA. Conventional color doppler velocity sonography versus color doppler energy sonography for the diagnosis of acute experimental torsion of the spermatic cord. *Am J Roentgenol* 1996;167(3):785.