



Facultade de Veterinaria

Traballo de
Fin de Grao

Aplicacións da ecografía no período
xestacional da vaca

Candela Botana Puñal

Grao en Veterinaria

Ano 2022

Modalidade do Traballo: Revisión Bibliográfica

Licenza

Agás onde se faga constar explicitamente, esta obra pertence a Candela Botana Puñal e está baixo unha licenza de “Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional”.



Resumo

Aplicacións da ecografía no período xestacional da vaca

A ecografía é unha técnica diagnóstica baseada na creación de imaxes mediante a propagación de ultrasóns a través dos tecidos, que se introduciu na medicina veterinaria como método de diagnóstico na década dos 80. Dentro da mesma, un dos campos onde a ultrasonografía ten unha maior presenza é a reprodución animal, ámbito no que actualmente se consolidou como a modalidade de diagnóstico por imaxe por excelencia en animais de renta e de compañía.

No caso do gando vacún, a ecografía representa unha ferramenta moi útil para a mellora da eficiencia e a xestión reprodutiva das explotacións, sobre todo en rabaños leiteiros. Esta técnica de imaxe permitiu o estudo e comprensión do ciclo estral grazas á posibilidade de visualizar os ovarios e as súas respectivas estruturas, así como facilitou o seguimento e avaliación do proceso de xestación.

Respecto a esta, a ultrasonografía conseguiu ser un procedemento minimamente invasivo co que poder realizar diagnósticos fiables e precoces de preñez, ademais de detectar posibles perdas ou anomalías na mesma. Dita técnica permitiu tamén o estudo e a determinación da idade e o sexo fetal, unha práctica que hoxe en día moitos gandeiros demandan polos beneficios comerciais que supón o coñecemento do futuro sexo da cría. Así mesmo, a ecografía reprodutiva posibilitou a identificación de xestacións múltiples, importantes por supor unha situación desfavorable para as explotacións gandeiras.

Palabras chave: *ultrasonografía, xenital, reprodución, xestación, bovino.*

Resumen

Aplicaciones de la ecografía en el periodo gestacional de la vaca

La ecografía es una técnica diagnóstica basada en la creación de imágenes mediante la propagación de ultrasonidos a través de los tejidos, que se introdujo en medicina veterinaria como método de diagnóstico en la década de los 80. Dentro de la misma, uno de los campos donde la ultrasonografía tiene una mayor presencia es la reproducción animal, ámbito en el que actualmente se consolidó como la modalidad por excelencia de diagnóstico por imagen en animales de renta y de compañía.

En el caso del ganado vacuno, la ecografía representa una herramienta muy útil para la mejora de la eficiencia y la gestión reproductiva de las explotaciones, sobre todo en rebaños lecheros. Esta técnica de imagen permitió el estudio y la comprensión del ciclo estral gracias a la posibilidad de visualizar los ovarios y sus respectivas estructuras, así como facilitó el seguimiento y evaluación del proceso de gestación.

Respecto a esta, la ultrasonografía consiguió ser un procedimiento mínimamente invasivo con el que poder realizar diagnósticos fiables y precoces de preñez, además de detectar posibles pérdidas o anomalías en la misma. Dicha técnica permitió también el estudio y la determinación de la edad y el sexo fetal, una práctica que hoy en día muchos ganaderos demandan por los beneficios comerciales que supone el conocimiento del futuro sexo de la cría. Así mismo, la ecografía reproductiva posibilitó la identificación de gestaciones múltiples, importantes por suponer una situación desfavorable para las explotaciones ganaderas.

Palabras clave: *ultrasonografía, genital, reproducción, gestación, bovino.*

Abstract

Ultrasonography applications in the gestational period of the cow

Ultrasonography is a diagnostic technique based on the creation of images by means of the propagation of ultrasound through tissues, which was introduced in veterinary medicine as a diagnostic method in the 1980s. Within this field, one of the areas where ultrasonography has a greater presence is animal reproduction, an area in which it is currently consolidated as the diagnostic imaging modality par excellence in livestock and small animals.

In the case of cattle, ultrasonography represents a very useful tool for improving the efficiency and reproductive management of farms, especially in dairy herds. This imaging technique allowed the study and understanding of the oestrous cycle due to the possibility of visualising the ovaries and their respective structures, as well as facilitating the monitoring and evaluation of the pregnancy process.

Ultrasonography became a minimally invasive procedure to carry out reliable and early pregnancy diagnoses, as well as to detect possible pregnancy losses or anomalies. This technique also allowed the study and determination of foetal age and sex, a practice that many livestock farmers nowadays demand due to the commercial benefits of knowing the future sex of the offspring. Reproductive ultrasound also made it possible to identify multiple pregnancies, which are important for being an unfavourable situation for cattle farms.

Key words: *ultrasonography, genital, reproduction, pregnancy, cattle.*

Índice

1. Introducción e obxectivos.....	9
1.1 Introdución.....	9
1.2 Obxectivos	10
2. Material e métodos	11
3. Exposición do tema.....	12
3.1 Técnica ecográfica.....	12
3.1.1 Principios físicos básicos da ultrasonografía	12
3.1.2 Transdutores e creación da imaxe ecográfica	13
3.1.3 Modalidades ecográficas	15
3.1.4 Artefactos	17
3.2 Aplicacións da ecografía no período xestacional da vaca	18
3.2.1 Diagnóstico de xestación	19
3.2.2 Determinación da idade embrionaria e fetal	21
3.2.3 Determinación do sexo fetal.....	22
3.2.4 Xestacións múltiples.....	26
3.2.5 Alteracións da xestación: viabilidade e anomalías embrionarias e fetais.....	27
3.2.5.1 Viabilidade embrionaria e fetal	27
3.2.5.2 Anomalías embrionarias e fetais	31
4. Conclusións.....	34
5. Bibliografía.....	35

Índice de figuras

Figura 1: diagnóstico de xestación duns 32-35 días. Cunha frecha amarela sinálase a vesícula embrionaria co embrión no seu interior. *Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil* 20

Figura 2: determinación do sexo fetal mediante a identificación do tubérculo xenital. Cunha frecha amarela sinálase o tubérculo xenital e cunha vermella o embigo. Nas fotografías superiores pode apreciarse un feto macho debido á posición do tubérculo caudal ao embigo; nas imaxes inferiores amósase unha femia, pola situación do tubérculo xusto por debaixo da cola. *Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil* 23

Figura 3: determinación tardía do sexo fetal. Na imaxe amósase unha femia; a frecha amarela sinala as mamilas como puntos hiperecoxénicos. *Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil* 25

Figura 4: ecografía Doppler dun ovario. Na imaxe amósase o fluxo sanguíneo dun CL. A cor azul representa o fluxo que se afasta do transdutor; pola contra, a cor vermella representa o fluxo que se achega ao transdutor. *Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil* 30

Abreviaturas

PRF: frecuencia de repetición de pulsos.

CL: corpo lúteo.

CRL: “Crown-rump length” (Lonxitude céfalo-caudal).

TX: tubérculo xenital.

IA: inseminación artificial.

1. Introducción e obxectivos

1.1 Introdución

A ultrasonografía, máis comunmente coñecida como ecografía, trátase dunha técnica diagnóstica baseada na creación de imaxes mediante a propagación de ultrasóns (ondas sonoras que posúen frecuencias máis elevadas do que pode percibir o oído humano) a través dos tecidos (Blond e Buczinski, 2009). O uso desta técnica como ferramenta na reprodución animal estendeuse dende a súa utilización para a realización de diagnósticos precoces e fiables da xestación ata o seu uso para abordar a parte clínica desta materia (Talukdar et al., 2019).

A ultrasonografía foi introducida como unha axuda no diagnóstico médico nos anos 40 coa súa primeira aplicación en veterinaria (a preñez ovina), que se comunicou no ano 1966 (King, 2006). Foi na década dos 60 cando esta novidosa técnica de imaxe baseada no uso de ultrasóns comezou a ser considerada na clínica de pequenos animais (Meomartino et al., 2021). Non obstante, non foi ata os anos 80 cando de verdade se introduciu na veterinaria e se incorporou como método de diagnóstico nesta profesión (Johnson, 2013).

O comezo do uso da ultrasonografía na medicina veterinaria tivo un grande impacto no ámbito do diagnóstico e o tratamento dos pacientes. Catro exemplos destacables sobre a introdución do uso desta técnica na medicina veterinaria foron a ecocardiografía, a exploración dos tendóns en cabalos, os diagnósticos de xestación en grandes animais e a ecografía abdominal en pequenos animais (Johnson, 2013).

Inicialmente, a ultrasonografía comezou a ser utilizada na década dos 80 para examinar clinicamente o tracto reprodutivo de eguas. Na especie bovina, os primeiros informes sobre o uso da ecografía transrectal para o exame do tracto reprodutivo de xovencas e vacas apareceron en Francia nun informe sobre o diagnóstico de xestación, e datan do ano 1982 (Ginther, 2014). Máis adiante, no 1984, apareceron informes sobre a ecotextura dos órganos reprodutivos e o embrión en “Theriogenology” (Ginther, 2014). O uso rutineiro desta técnica nos animais de granxa permitiu que a avaliación dos ciclos reprodutivos sexa precisa e fiable, coa conseguinte mellora na produtividade (Johnson, 2013).

Tras o comezo do uso desta técnica, coas melloras na calidade da imaxe e unha maior conciencia sobre o beneficio da utilización da ecografía como procedemento diagnóstico, logrouse instaurar o seu uso xeral no ámbito veterinario (King, 2006).

Durante os últimos 10 anos, producíronse importantes melloras tecnolóxicas nos equipos de ultrasóns. Hoxe en día, os equipos son máis pequenos, máis baratos e moito máis eficientes.

Estas melloras, sumadas á dixitalización das imaxes, contribuíron a que actualmente a ecografía ocupe un papel tan importante na práctica diaria. Ao mesmo tempo desenvolvéronse novas tecnoloxías máis avanzadas dentro deste campo tales como o Doppler, a ultrasonografía con contraste, a elastografía e a ultrasonografía 3D/4D, coa finalidade de elevar a sensibilidade diagnóstica da ecografía bidimensional (Mantziaras e Luvoni, 2020).

1.2 Obxectivos

O obxectivo do presente traballo é realizar unha revisión bibliográfica actualizada sobre os fundamentos e aplicacións que posúe a ecografía transrectal durante o periodo xestacional da vaca:

- Analizar as posibilidades e vantaxes que ofrece a ecografía como método precoz de diagnóstico de xestación.
- Avaliar as posibilidades desta técnica na determinación da idade embrionaria e fetal.
- Explorar o alcance da ultrasonografía para a identificación prematura do sexo fetal e a detección de xestacións múltiples.
- Estudar as capacidades deste método para a valoración da viabilidade embrionaria e o descubrimento de anomalías que afecten ao embrión ou feto.
- Recadar información sobre os avances e novas tecnoloxías respecto desta técnica e as súas posibles aplicacións prácticas na reprodución do gando bovino.

2. Material e métodos

Para a realización desta revisión bibliográfica, revisáronse un total de 64 publicacións relacionadas coas bases e principios da técnica ecográfica e as súas respectivas aplicacións durante o período xestacional da vaca. As bases de datos consultadas para levar a cabo a procura foron Pubmed, Web of Science, Dialnet e Google Académico, empregando as palabras chave: *ultrasonography, genital, reproduction, pregnancy, cattle*. O período temporal de busca estivo comprendido entre os anos 2001 e 2022.

A exposición do tema estruturouse en dous grandes apartados diferenciados, o primeiro deles respectivo á técnica ecográfica e o segundo referente ás utilidades de dito método de imaxe durante a xestación bovina. Así mesmo, dentro de cada un destes apartados establecéronse diferentes epígrafes para unha mellor organización do contido.

Deste modo, para comezar co desenvolvemento do tema realizouse a procura de publicacións nas que se explicaran os principios e fundamentos da ecografía e a maneira na que se crean as imaxes ecográficas, así como as distintas modalidades existentes e os artefactos que se poden producir. Posteriormente, levouse a cabo unha busca de diversos artigos científicos e revisións recentes nas que se recolleran as aplicacións da ultrasonografía no período xestacional bovino. En referencia a ditas utilidades, recolleuse información sobre a utilización desta técnica para a realización dos diagnósticos de xestación, a determinación da idade e o sexo fetal, a detección de xestacións múltiples e a valoración das alteracións da xestación (viabilidade e anomalías embrionarias e fetais). Tamén se recompilou información sobre novos avances en dito método diagnóstico, concretamente sobre a ecografía Doppler, unha técnica ecográfica baseada no estudo do fluxo sanguíneo, debido á súa expansión durante os últimos anos no ámbito da reprodución bovina.

Para a xestión desta bibliografía utilizouse ProQuest®RefWorks.

3. Exposición do tema

3.1 Técnica ecográfica

3.1.1 *Principios físicos básicos da ultrasonografía*

As ondas sonoras poden describirse como ondas mecánicas creadas por obxectos vibrantes e que se propagan por un medio. Segundo viaxan a través dos tecidos, estas ondas atenuáanse, dispérsanse e refléxanse, producindo ecos que serán procesados para xerar imaxes das estruturas internas (Robinson, 2007).

Cando a enerxía acústica atravesa os tecidos, as moléculas tisulares estímúlanse e a enerxía transmítese dunha molécula a outra adxacente. A onda sonora, ao atravesar a materia, interactúa coa mesma de diversas formas, podendo producirse distintos fenómenos. Un deles é o que se coñece como *reflexión*, que constitúe a base das imaxes de ultrasón e que se produce cando unha onda sonora choca cunha superficie e volve ao transdutor, xerándose ecos. Este fenómeno de reflexión orixínase no límite ou interfase entre dous tecidos ou materiais de diferentes densidades e evidencia o feito de que se trata de medios distintos. Neste límite entre dous medios ou tecidos diferentes, a onda sonora é parcialmente reflectida e parcialmente transmitida. A proporción da enerxía que se transmite e que se reflecte dependerá da impedancia acústica de ambos medios, a cal se pode definir como o produto da densidade dun medio pola velocidade de propagación do son nese mesmo (Pineda et al., 2012). Deste modo, a amplitude dos ecos reflexados dependerá da diferenza de impedancia acústica entre os dous tecidos atravesados polo ultrasón, de maneira que a maior diferenza maior será o eco reflexado. Por outra banda, a intensidade do eco dependerá tamén do ángulo de incidencia: se a onda sonora incide perpendicularmente na interfase acústica a reflexión é máxima, mentres que se se desvía certos grados o eco detectarase parcialmente ou non se detectará (Blond e Buczinski, 2009; Pineda et al., 2012).

Outros fenómenos que poden ocorrer cando o son atravesa a materia son a *refracción*, a *dispersión* e a *absorción*. A *refracción* prodúcese cando a onda pasa dun medio a outro con velocidade de propagación diferente e nun ángulo oblicuo, de xeito que a onda sonora sofre un cambio de dirección e provoca que se poidan crear certos artefactos na imaxe producida. A *dispersión* defínese como a recondución das ondas en direccións imprevisibles ao seu paso por medios rugosos ou heteroxéneos. Por último, a *absorción* descríbese como a conversión dunha parte do ultrasón en calor. Todos estes procesos anteriormente mencionados (reflexión, refracción, dispersión e absorción) causan o que se coñece como *atenuación*. Esta prodúcese debido a que a onda sonora vai perdendo potencia e intensidade segundo os ultrasóns se propagan

a través das diferentes interfases acústicas (Aldrich, 2007; Robinson, 2007; Blond e Buczinski, 2009).

Unha onda sonora consiste nun patrón repetitivo de rexións de altas e baixas presións (Robinson, 2007). Estas posúen unha serie de propiedades físicas que as caracterizan e que son fundamentais para interpretar e entender a formación das imaxes de ultrasóns. Por un lado temos a *frecuencia*, que se define como o número de ciclos ou cambios de presión que acontecen nun segundo, de xeito que un ciclo por segundo equivale a 1 Hz de frecuencia. Os ultrasóns son sons con frecuencias superiores aos 20 kHz, que é o límite audible para o ser humano. Aqueles que son utilizados para a obtención de imaxes en clínica soen oscilar entre os 2 e os 10 MHz (Aldrich, 2007). Por outra parte, a distancia percorrida por unha onda sonora durante un ciclo ou entre dous picos de presión denomínase *lonxitude de onda* e a *velocidade de propagación* do son é a velocidade á que un son pode viaxar a través dun medio, a cal varía segundo as características e o tipo de material que atravesese. Esta velocidade de propagación defínese coma o produto da frecuencia pola lonxitude de onda (Blond e Buczinski, 2009; Pineda et al., 2012). En tecidos brandos xeralmente considérase unha velocidade de 1 540 m/sec (Aldrich, 2007).

Outro aspecto a ter en conta sería a *resolución* das imaxes de ultrasón. Este concepto descríbese como o espazo mínimo necesario entre dous reflectores para que poidan ser distinguidos na pantalla. Dito termo fai referencia ao detalle que podemos observar nunha imaxe. A resolución, igual que a profundidade do tecido a observar, dependerá da frecuencia e a focalización dos ultrasóns. Segundo esta premisa, os ultrasóns con altas frecuencias atenúanse máis que os de baixas frecuencias, de maneira que se o que se pretende é penetrar e obter imaxes a unha maior profundidade deberían utilizarse estas últimas (a maior frecuencia menor capacidade de penetración). En tecidos brandos por exemplo, os ultrasóns con frecuencias baixas teñen gran lonxitude de onda e permiten a visualización de estruturas máis profundas; pola contra, frecuencias máis altas aportan unha maior resolución ás imaxes pero non permiten acceder a tecidos tan profundos porque as ondas sonoras atenúanse con máis rapidez. Deste modo, é importante escoller a frecuencia de ultrasón máis alta posible en función da profundidade desexada (Aldrich, 2007; Blond e Buczinski, 2009).

3.1.2 Transdutores e creación da imaxe ecográfica

O feixe de ultrasóns provén dun pequeno dispositivo denominado transdutor, que converte a enerxía eléctrica en mecánica e funciona segundo o principio pezoeléctrico (Aldrich, 2007). Este dispositivo está composto por unha serie de cristais pezoeléctricos que posúen a particularidade de que ao ser sometidos a un impulso eléctrico cambian de forma e vibran, emitindo o feixe de ultrasóns. Unha vez os cristais se estabilizan, as ondas sonoras reflectidas

polos tecidos regresan cara a sonda en forma de ecos, os cales volven inducir a vibración dos cristais. Estes cristais entón emiten impulsos eléctricos que un ordenador amplifica e transforma nunha imaxe (Blond e Buczinski, 2009).

Como acabamos de comentar, o impulso eléctrico estimula os cristais contidos no transdutor, os cales emiten os ultrasóns en forma de pulsos e non de maneira continua, de modo que se alterna unha fase de emisión dos mesmos cunha fase de recepción de ecos. A frecuencia coa que se xeran os impulsos eléctricos nun segundo (frecuencia de repetición de pulsos ou PRF) é equivalente á frecuencia de repetición de pulsos de ultrasóns (número de veces que os cristais se estimulan por segundo). Esta PRF determina o intervalo de tempo entre a emisión de ultrasóns e a recepción dos ecos, o cal debe permitir unha boa coordinación entre a chegada dun pulso a un punto en profundidade e a recepción do eco antes da emisión dun novo pulso. Deste xeito, a frecuencia de repetición de pulsos dependerá da profundidade da imaxe e oscila entre os 1 000 e os 10 000 KHz (Pineda et al., 2012).

Os escáneres de ultrasóns máis antigos eran mecánicos, o que significa que xeraban o feixe de ultrasóns grazas ao movemento dun ou varios cristais. Non obstante, as sondas modernas compóñense de elementos que conteñen os cristais, de xeito que estes non se moven. Existen diversos tipos de transdutores ou sondas, cuxas diferenzas radican na maneira en que se dispoñen os elementos que as conforman. Isto é o que se coñece como matriz. As sondas polo tanto poden formarse por matrices con distintas configuracións: lineais, convexas e sectoriais (Blond e Buczinski, 2009).

As sondas lineais compóñense dun número variable de cristais pezoeléctricos dispostos de maneira rectangular e enfrontados uns aos outros, que cando son estimulados producen un único feixe de ultrasóns. Estas sondas permiten un amplo plano de contacto. Pola contra, os transdutores convexas están formados por matrices curvilíneas que permiten un maior campo de visión que as anteriores. Por último, as sondas sectoriais posúen unha ventá máis pequena en comparación aos outros dous tipos de transdutores, pero permiten chegar a estruturas máis profundas ou nas que a ventá de exame é limitada. Estas son sondas con matriz en fase, o que quere dicir que emiten o feixe de ultrasóns disparando varios elementos nunha secuencia precisa. Neste tipo de transdutores, o feixe de ultrasóns pode ampliarse ou reducirse en distintas direccións segundo a área de interese (Blond e Buczinski, 2009; Pineda et al., 2012). En canto aos ruminantes, as sondas utilizadas son lineais ou sectoriais. As sondas lineais utilízanse preferiblemente para o exame transrectal de útero e ovarios mentres que as sondas sectoriais son idóneas para o seu uso en pequenos ruminantes (realización de diagnósticos de xestación vía transabdominal) e para a aspiración transvaxinal ecoguiada de folículos en bovino (Talukdar et al., 2019).

A descrición das imaxes de ultrasóns baséase na avaliación da forma, o contorno, o tamaño, a posición e a ecoxenicidade da estrutura que se está a estudar. A ecoxenicidade é un termo que fai referencia ao nivel de grises e á intensidade de brillo na imaxe e depende da amplitude dos ecos reflexados. As estruturas que transmiten as ondas aos tecidos situados máis profundamente, é dicir, que non producen ecos, denomínanse estruturas anecoxénicas e observáranse na imaxe cunha cor escura. Pola contra, aquelas estruturas que reflexan a maioría das ondas sonoras de volta cara a sonda reciben o nome de estruturas ecoxénicas e o rango de tonalidade co que se poden ver na imaxe varía de branco a gris. Os termos iso-, hipo- e hiperecoxénico indican respectivamente unha ecoxenicidade relativa igual, menor ou maior en comparación á dos tecidos circundantes (Talukdar et al., 2019).

3.1.3 Modalidades ecográficas

Existen tres modalidades ecográficas básicas: modo A ou de amplitude, modo B ou de brillo e modo M ou de movemento. O modo A actualmente non é moi utilizado, salvo para a comprobación de parámetros técnicos valorando a amplitude dos ecos a distintas profundidades. Inicialmente empregouse para a distinción de estruturas quísticas e sólidas e para a representación gráfica dun sinal (Pineda et al., 2012).

O modo B ofrece unha imaxe bidimensional. Esta modalidade representa a suma dos ecos reflexados en distintas direccións, favorecendo que o equipo reconeza a posición no espazo e a dirección dos ultrasóns. A posición na que aparecen na pantalla os puntos que conforman a imaxe depende do retardo entre a emisión das ondas sonoras e a recepción dos ecos conseguintes por parte da sonda, de xeito que canto maior sexa este intervalo de tempo máis abaixo aparecerá o punto na imaxe da pantalla. Os ecos detectados son procesados e transmitidos a luminosidade, o que se traduce en brillo; deste modo, os tecidos ou órganos que reflexen maior cantidade de ecos aparecerán máis brillantes. O modo B é o empregado en todos os equipos de ecografía a tempo real. Por último, o modo M realiza unha representación gráfica da sinal, na que no eixe vertical se representa a amplitude dos ecos e no horizontal o tempo e a profundidade. É habitualmente utilizado en estruturas en movemento como o corazón (Blond e Buczinski, 2009; Pineda et al., 2012).

Outra técnica ecográfica existente é a ecografía Doppler. O efecto ou principio Doppler foi descrito por vez primeira no ano 1842, por Christian Johan Doppler. Tres anos despois, no 1845, foi verificado cientificamente e constituíu a base para o desenvolvemento deste tipo de ultrasonografía (King, 2006).

O efecto Doppler trátase dun fenómeno natural caracterizado polo cambio aparente da frecuencia das ondas sonoras cando a fonte da onda se acerca ou se afasta do receptor. A diferenza

entre a frecuencia xerada e a recibida, o que se coñece como desprazamento Doppler, é proporcional a velocidade do movemento. Este principio tamén se produce con ondas de ultrasón, de maneira que a diferenza nas frecuencias que se provoca por mor do movemento das células sanguíneas permite detectar e medir o fluxo sanguíneo (Viana et al., 2013). Polo tanto, a ecografía Doppler constitúe un procedemento diagnóstico baseado na utilización dun escáner de ultrasóns para converter ondas sonoras en imaxes do fluxo sanguíneo en órganos e tecidos (Matsui e Miyamoto, 2009).

Existen dous tipos de sistemas Doppler: Doppler continuo e Doppler pulsado. No primeiro, o transdutor emite e recibe o sinal a un tempo, polo que se obteñen os fluxos e os movementos ao longo do feixe de ultrasóns. Pola contra, no caso do Doppler pulsado, o transdutor emite o sinal e este debe retornar ao mesmo antes de enviarse outro pulso. Este tipo de sistema Doppler permite precisar a posición do vaso no espazo (Yáñez et al., 2022).

Dentro do Doppler pulsado distínguense 3 modalidades: Doppler Espectral, Doppler Cor e Doppler Potencia. A primeira modalidade dispoñible foi o Doppler Espectral, baseado na representación dun gráfico onde o eixe “Y” fai referencia ás velocidades do fluxo sanguíneo e o eixe “X” ao tempo. Máis tarde, instaurouse o Doppler Cor, unha variedade que combina o efecto Doppler coa ultrasonografía en tempo real, de xeito que a información da técnica Doppler intégrase na ecografía modo B coma un sinal de cor. Xeralmente utilízanse dúas cores, vermello e azul, que reproducen a dirección do fluxo sanguíneo. A cor vermella simboliza o fluxo cara ao transdutor, mentres que a cor azul indica o fluxo que se afasta do mesmo (Naredo e Monteagudo, 2014). Por conseguinte, considérase que o desprazamento Doppler é positivo cando a frecuencia das ondas reflexadas é maior á das ondas emitidas e polo tanto os glóbulos vermellos móvense cara ao transdutor, e considérase que é un desprazamento negativo cando a frecuencia das ondas emitidas é maior ca das reflexadas e en consecuencia os glóbulos vermellos afástanse do mesmo (Bollwein et al., 2016).

A modalidade máis recente foi introducida na década dos 90 e recibe o nome de Doppler Potencia. Este modo de ecografía Doppler representa a intensidade do sinal, é dicir, a cantidade de eritrocitos que están a fluír, xa que amosa a potencia ou intensidade do desprazamento Doppler en cada célula. Desta forma, esta variedade posúe unha maior sensibilidade á hora de detectar fluxos sanguíneos de baixa velocidade en vasos de pequeno calibre. Aínda así, a sensibilidade do Doppler Cor para detectar fluxos a nivel microvascular mellorou en gran medida nos últimos tempos (Naredo e Monteagudo, 2014).

No ámbito da reprodución animal, o uso da ecografía Doppler vía transrectal para estudos de investigación presentouse por vez primeira en Alemaña nunha serie de publicacións en

“Theriogenology”, comezando no ano 1998 en eguas e no ano 2000 en vacas (Ginther, 2014). Na actualidade e durante os últimos anos, a ultrasonografía Doppler Cor estase a utilizar cada vez máis para o estudo do fluxo sanguíneo na reprodución bovina. Isto posibilitou a obtención de nova información sobre os procesos fisiolóxicos e patolóxicos do tracto xenital das femias bovinas (Bollwein et al., 2016).

3.1.4 Artefactos

Un artefacto é un termo que fai referencia a calquera parte dunha imaxe que non represente con exactitude a anatomía ou a fisioloxía do que se está a observar (Prabhu et al., 2014). Os artefactos son polo tanto erros nas imaxes e resultan do non cumprimento dos supostos básicos dun sistema de imaxes de ultrasóns (Shriki, 2014).

Os artefactos ultrasonográficos poden dividirse ou clasificarse naqueles que se poden apreciar na ecografía en modo B ou naqueles que poden verse na ecografía Doppler. Así mesmo, dentro destes dous grupos poden clasificarse á súa vez en artefactos relacionados coa estrutura e en artefactos relacionados co procesamento da imaxe e as propiedades do feixe de ultrasóns (Prabhu et al., 2014).

No caso da medicina bovina, os principais artefactos que se poden producir nas imaxes ecográficas en modo B son a reverberación, o artefacto do lóbulo lateral, o artefacto de grosor de corte, a sombra acústica, a sombra lateral e o reforzo posterior (Blond e Buczinski, 2009).

En primeiro lugar podemos falar do artefacto de reverberación. Este prodúcese polas diferenzas de impedancia acústica de dous tecidos adxacentes na súa interfase e obsérvase como liñas paralelas e brillantes dispostas a intervalos uniformes na interfase entre dous tecidos. As grandes diferenzas de impedancia provocan que a parte reflexada do feixe de ultrasóns se maximice, de xeito que os ultrasóns reflexados chegan ao transdutor e volven cara ao suxeito. Este proceso pode repetirse varias veces creando múltiples ecos e xerando polo tanto este artefacto (Prabhu et al., 2014).

Un dos supostos básicos dun sistema de imaxe de ultrasóns é o feito de que os ecos se xeran unicamente a partir de reflectores situados dentro do feixe principal de ultrasóns. A enerxía producida polos ultrasóns concéntrase de maneira maioritaria no centro, pero parte da enerxía emitida diríxese cara aos lados formando lóbulos laterais de enerxía. Normalmente estas pequenas cantidades de enerxía dispérsanse sen emitir ningún eco importante, pero se nos lóbulos laterais existe un reflector forte, as reflexións que se xeran interprétanse como orixinadas polo feixe principal de ultrasóns. Por conseguinte, as imaxes superpóñense producindo un artefacto lineal

con forma de arco xunto á imaxe real. Isto é o que se coñece como artefacto de lóbulo lateral (Quien e Saric, 2018).

Outro dos artefactos máis habituais é o artefacto de grosor de corte ou de anchura do feixe. A imaxe de ultrasóns fórmase polos ecos que xeran as estruturas contidas dentro do grosor do feixe. O feixe de ultrasóns no seu grosor pode incluír estruturas de diferente ecoxenicidade, polo que se ao explorar unha estrutura anecoica o grosor do feixe inclúe tamén unha estrutura máis ecoxénica e parte deste incide nela, producíranse ecos que se van situar a nivel da área anecoica. Por esta razón orixínase este tipo de artefacto, que pode chegar a confundirse con sedimentos ao dar unha imaxe similar (Blond e Buczinski, 2009).

Por outra banda, é frecuente que nas imaxes ecográficas se poidan producir sombras acústicas. Esta clase de artefacto orixínase cando o feixe choca cunha interfaz moi reflectante e a través do reflector pasa pouco ou ningún son. O feixe de ultrasóns refléxase por completo e detrás só se observa ausencia de sinal ou sombra (Vargas et al., 2008). A sombra lateral prodúcese pola refracción dos ultrasóns na interfaz de estruturas redondeadas ao incidir o feixe de forma oblicua. Deste modo as ondas dispérsanse e non retornan á sonda, xerando unha imaxe negra pola falta de sinal. Por último, o reforzo posterior prodúcese polo aumento da amplitude dos ecos distalmente a unha estrutura con menor atenuación, de maneira que os ecos amosan unha sinal aumentada e polo tanto obsérvanse dunha cor máis brillante (Blond e Buczinski, 2009; Prabhu et al., 2014).

Na ecografía Doppler, un dos principais artefactos que podemos encontrar é o artefacto coñecido como “aliasing”. O desprazamento Doppler fai referencia á diferenza nas frecuencias provocada a causa do movemento das células sanguíneas, que permite detectar e medir o fluxo sanguíneo (Viana et al., 2013). A frecuencia máxima do desprazamento Doppler debe ser igual á metade do PRF do transdutor. Se a frecuencia do desprazamento supera a metade do PRF é cando se produce este tipo de artefacto. A imaxe que se produce resulta dun efecto envolvente no que os compoñentes de alta frecuencia se sitúan no extremo negativo da escala. No Doppler espectral, as velocidades do fluxo máis elevadas localízanse na parte negativa do gráfico, e no Doppler cor, a imaxe semella unha ilusión de inversión do fluxo dentro do volume da mostra (Quien e Saric, 2018).

3.2 Aplicacións da ecografía no período xestacional da vaca

A ultrasonografía é un dos métodos diagnósticos máis rápidos, seguros e rendibles no ámbito da medicina reprodutiva bovina. A utilización desta técnica no estudo da reprodución animal representou un gran avance tecnolóxico que revolucionou a bioloxía reprodutiva (Medan e Abd El-Aty, 2010).

Dentro do campo da reprodución animal, a ecografía consolidouse como a principal modalidade de diagnóstico por imaxe do século XXI, tanto en animais de granxa como en animais de compañía (Mali et al., 2022). No caso do gando vacún, o uso da ultrasonografía revolucionou o estudo do tracto reprodutivo, ao permitir unha maior comprensión do ciclo estral, da xestación e das posibles patoloxías que poden suceder a este nivel. Debido ao tamaño destes animais, foi sinxelo utilizar esta técnica vía transrectal para observar os ovarios e as súas respectivas estruturas, un feito que permitiu a observación a tempo real das dinámicas de desenvolvemento folicular e o descubrimento das respectivas ondas de crecemento, algo que non fora posible en humanos. Isto contribuíu á comprensión da fisioloxía ovárica e ao desenvolvemento de numerosos protocolos para a sincronización do estro e a ovulación (Jones e Beal, 2003; Miyamoto et al., 2006).

En relación ao período xestacional, a utilización desta técnica proporcionou unha ventá para poder examinar o ambiente do embrión ou feto, permitindo deste modo realizar diagnósticos precoces de preñez, vixiar o desenvolvemento embrionario ou fetal e a súa viabilidade. Así mesmo, tamén permitiu detectar xestacións múltiples e incluso predicir con precisión o sexo do feto. Por todo isto, a ecografía transrectal constitúe unha ferramenta de diagnóstico moi útil para o alcance dunha óptima xestión reprodutiva nas explotacións, xa que todas as aplicacións que ofrece contribúen á mellora da eficiencia reprodutiva nos rabaños leiteiros (Fricke, 2002; Jones e Beal, 2003).

3.2.1 Diagnóstico de xestación

A posibilidade de realizar un diagnóstico de xestación temperá é clave para acortar os días abertos (período que se estende dende o parto ata que a vaca queda de novo xestante) grazas á identificación prematura de animais baleiros. Isto permite mellorar o rendemento reprodutivo do rabaño ao conseguir manter un intervalo parto-xestación preto aos 60 días, mediante o establecemento de estratexias que fagan que os animais retomen o seu ciclo reprodutivo canto antes (Balhara et al., 2013; Bogdan et al., 2019).

Aínda que tecnicamente podería ser posible identificar un embrión utilizando a ecografía aos 21 días post-inseminación artificial (IA), non é práctico en condicións de campo. Débese ter en conta que o desenvolvemento embrionario ocorre moi rápido, de maneira que o feito de esperar uns cantos días pode mellorar a precisión e a lixeireza dos diagnósticos de xestación (Colloton, 2021). Romano et al. (2006), observaron que a sensibilidade da ecografía transrectal (que se refire ás vacas correctamente identificadas como preñadas), se incrementaba progresivamente dos días 24 a 30 en vacas e dos días 21 a 27 en xovencas. A máxima sensibilidade foi alcanzada no día 29 en vacas e no día 26 en xovencas (Romano et al., 2006). A efectos prácticos, para poder obter

diagnósticos de xestación con gran nivel de exactitude estes deberían realizarse a partir do día 27 tras a inseminación (DesCôteaux et al., 2009).

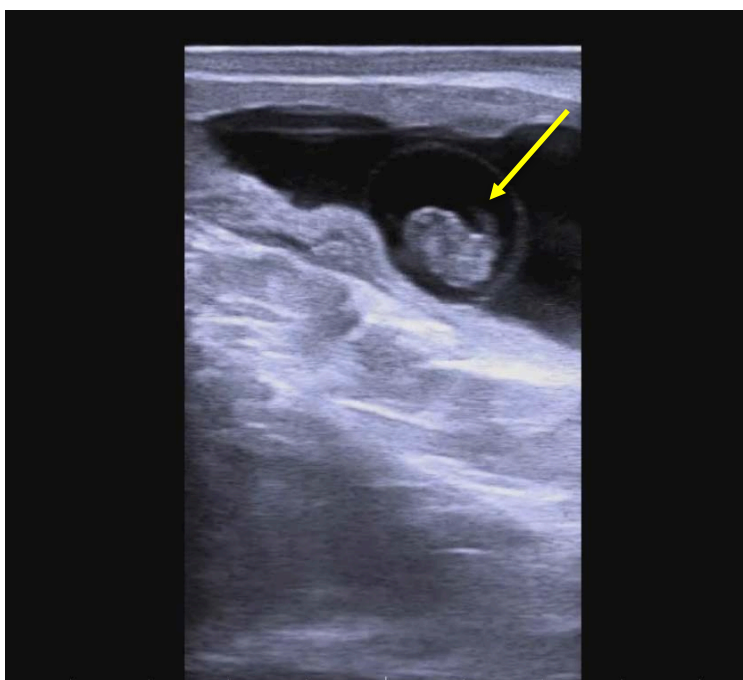


Figura 1: diagnóstico de xestación duns 32-35 días.
Cunha frecha amarela sinálase a vesícula embrionaria co
embrión no seu interior.
Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil.

Non hai que esquecer que a probabilidade de que se produza mortalidade embrionaria é máis elevada durante os primeiros días post-IA; estímase sobre un 35-40% de perdas embrionarias entre os días 14 e 19 tras a fecundación, é dicir, antes do recoñecemento materno da xestación (Whitlock e Maxwell, 2008). Consecuentemente, a perda da xestación increméntase canto máis cedo se realice un diagnóstico de preñez positivo. Por esta razón, o diagnóstico de preñez debe realizarse o antes posible tras a IA pero sen que este se vexa confundido pola perda posterior da xestación. Na práctica, na maioría de explotacións os diagnósticos de xestación teñen lugar entre os días 28 e 35 post-IA. Posteriormente, na meirande parte das explotacións gandeiras, reconfirmanse as preñeces entre 4 e 6 semanas máis tarde así como no momento próximo ao secado para identificar perdas na xestación (Fricke, 2016).

Para realizar un diagnóstico de xestación prematuro con axuda da ultrasonografía, deberá explorarse toda a superficie do útero de maneira sistemática, para unha maior precisión neste. Así mesmo, tamén será importante o momento no que se realiza a exploración; para unha maior exactitude os diagnósticos deberían realizarse a partir do día 27 post-IA tal e como se comentaba

en parágrafos anteriores, xa que antes deste momento os embrións poderían non ser visualizados por estar aínda moi adheridos á parede uterina. Para realizar un diagnóstico fiable de preñez deberá visualizarse a vesícula embrionaria como unha estrutura anecoica coa masa embrionaria no seu interior nun dos cornos uterinos, o cal se visualizará levemente dilatado. Ademais, deberá verificarse que dito embrión é viable, valorando se presenta ou non latexo cardíaco (Quintela et al., 2012). O latexo cardíaco aparece coma unha luz escintilante no centro do embrión, cunha frecuencia variable dependendo da idade do mesmo (DesCôteaux et al., 2009_b).

Un factor que pode resultar de gran axuda durante a realización dos diagnósticos de preñez é a visualización das estruturas ováricas. Saber se hai ou non un corpo lúteo (CL) presente pode resultar de proveito durante este tipo de práctica. Pola súa banda, a existencia de 2 CL pode supoñer un potencial indicador da presenza de xemelgos; pola contra, un CL contralateral ao embrión ou feto ou un CL de pequeno tamaño pode significar un alto risco para que se produza a perda da xestación (Colloton, 2021).

É importante destacar que antes dos 21 días tras a inseminación, o útero e os ovarios dunha vaca preñada obsérvanse en ecografía dun xeito similar aos dunha vaca na fase de diestro. Nesta fase, o útero é homoxéneo, amosa unha tonalidade gris media e no seu lumen haberá pouco ou nada de fluído. Non obstante, no caso dunha preñez, sobre os días 21 e 23 de xestación producirase un pequeno incremento do mesmo que poderá ser observado na luz uterina. Por outra banda, o CL durante o diestro será tamén homoxéneo e da mesma tonalidade que o útero en dita fase, e poderá ter ou non cavidade. Pola contra na preñez adoita ser sólido, aínda que tamén pode aparecer un CL cavitario (Colloton, 2021).

3.2.2 Determinación da idade embrionaria e fetal

A ecografía trátase dunha técnica lixeiramente invasiva que ofrece certas vantaxes respecto á palpación rectal á hora de determinar preñeces. Esta técnica permite medir o tamaño do embrión en base a algo máis que o tamaño do saco amniótico ou a cantidade de fluído, a cal pode variar coa temperatura ou mesmo entre individuos (Colloton, 2021). Unha gran vantaxe da ultrasonografía é o feito de que ofrece a oportunidade de medir de maneira secuencial o embrión durante diferentes fases do seu desenvolvemento, podendo identificar deste modo variacións no seu tamaño, as cales poden ser de gran axuda xa que poden indicar consecuencias negativas, tales como a morte embrionaria (Malvaez et al., 2019).

O período embrionario abarca dende a fertilización ata o final da organoxénese, que ocorre sobre o día 42 de preñez. No día 26 de xestación, coa axuda da ecografía, pode observarse unha luz uterina cunha cantidade variable de líquido amniótico producido polo embrión. Non obstante,

a visualización do mesmo neste líquido pode verse dificultada ata o día 30 debido a que este pode quedar agochado tras os pregamentos da mucosa endometrial (DesCôteaux et al., 2009_a).

A maioría de equipos de ultrasóns posúen marcas a intervalos dun centímetro que poden utilizarse para medir o tamaño, mentres que algúns poden ter calibradores para facer estimacións máis precisas do tamaño embrionario ou fetal. Certos equipos poden incluso ter programas informáticos que, baseándose nas medidas do feto, calculen a data estimada de concepción ou de parto (Colloton, 2011).

A estimación da idade fetal, a monitorización do crecemento fetal a través do tempo e a detección de certas anomalías na preñez poden precisarse coa axuda da fetometría ecográfica (Medan e Abd El-Aty, 2010). Existen certas medidas específicas que serven para estimar a idade do embrión ou do feto, tales como a lonxitude céfalo-caudal ou “crown-rump length” (CRL) e os diámetros da cabeza ou do tronco. Un dos métodos máis precisos e rápidos para poder estimar a idade fetal antes dos 50 ou 55 días é o CRL. Esta medida tómase dende a coroa do cranio ata a base da cola e calcúlase mediante unha fórmula simple, na que se lle suma 18 á lonxitude do feto en milímetros, obténdose a idade do feto en días. No día 30 de xestación, o CRL ten un valor de 1 cm aproximadamente e vai aumentando 1 mm diariamente ata o día 40 de preñez; posteriormente o crecemento é comparativamente maior (Mali et al., 2022). En fetos de maior tamaño poden utilizarse medidas distintas pero que precisan da súa comparación con gráficas de crecemento fetal xa que o seu cálculo non é lineal. Ademais, estoutas medidas son máis prácticas a partir do día 55, porque a partir desta idade é complicado poder abarcar na ecografía a lonxitude total do feto para proporcionar unha visión completa do mesmo, xa que a taxa de crecemento incrementase en maior medida a partir do día 50 en comparación co período anterior (DesCôteaux et al., 2009_{a,b}; Colloton, 2011).

3.2.3 Determinación do sexo fetal

A determinación do sexo fetal mediante ecografía foi reportada no gando vacún por vez primeira no comezo da década dos 90. Non obstante, non foi ata comezos do século XXI cando comezou a empregarse de maneira rutineira no traballo de campo, grazas a que cada vez foron máis os veterinarios que foron incorporando este procedemento no seu hábito profesional (Stroud, 2005).

A determinación do sexo fetal no gando vacún ten especial relevancia por diversos motivos. Principalmente, esta práctica é de gran importancia polo feito de que aquelas vacas e xovencas preñadas con femias posúen un maior valor económico, sobre todo no vacún de leite. O coñecemento do sexo fetal tamén pode xogar un papel importante na venta de xovencas preñadas de gran calidade xenética, así como ten transcendencia nas xestacións múltiples, para saber se se

trata de dous xemelgos do mesmo sexo ou dunha femia e un macho, o que pode derivar nun caso de freemartinismo. Así mesmo, agrupar ás xovencas segundo o sexo do feto podería chegar a ser vantaxoso, xa que a incidencia de partos distócicos é maior no caso de tenreiros machos. Esta práctica tamén pode facilitar a decisión de eliminación: se hai unha vaca no rabaño que nos propoñemos desbotar, saber que está preñada cun feto macho pode axudar nesta resolución (Stroud, 2005; Bogdan et al., 2019).

A determinación do sexo fetal soe levarse a cabo entre os días 55 e 65 post-IA. Arredor do día 50, o tubérculo xenital (TX), que é a estrutura que nos permite identificar o sexo do feto, atópase nun punto medio entre a súa posición inicial e final. Sobre o día 60, dita estrutura xa alcanzou a súa localización definitiva, que nos machos será caudal ao embigo e nas femias xusto por debaixo da base da cola (Bogdan et al., 2019). Ali (2004) concretou que a idade fetal afecta de maneira significativa á posibilidade dunha correcta identificación do sexo do feto. En dito estudo comprobouse que a posibilidade de determinar o sexo fetal incrementouse dun 26,7% no día 49 de xestación ata un 100% no día 56.

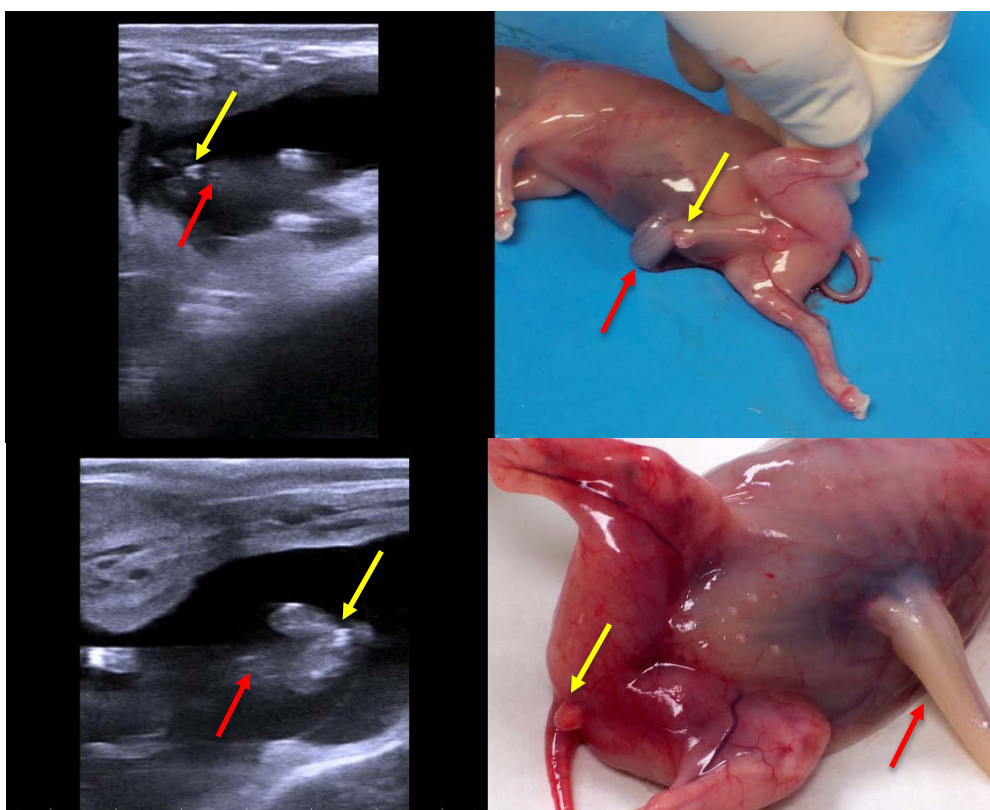


Figura 2: determinación do sexo fetal mediante a identificación do tubérculo xenital. Cunha frecha amarela sinálase o tubérculo xenital e cunha vermella o embigo. Nas fotografías superiores pode apreciarse un feto macho debido á posición do tubérculo caudal ao embigo; nas imaxes inferiores amósase unha femia, pola situación do tubérculo xusto por debaixo da cola.

Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil.

Existen principalmente dúas limitacións que poden comprometer e limitar ao profesional veterinario á hora de determinar o sexo fetal. En primeiro lugar, segundo a xestación avanza e o feto incrementa o seu tamaño resulta máis complexo mover o transdutor sobre o mesmo buscando a imaxe desexada para poder determinar o sexo (Lamb e Fricke, 2005). No estudo realizado por Ali (2004) determinouse que entre os días 56 e 98 de xestación a identificación do sexo foi posible en todos os casos. Pola contra, observouse que segundo se ía desenvolvendo a preñez, a habilidade para realizar a determinación do sexo decreceu e fíxose imposible en todos os casos entre os días 161 e 168. Así mesmo, en animais de gran tamaño ou cun número elevado de partos, a matriz uterina descende máis ventralmente no interior da cavidade abdominal, dificultando ou imposibilitando a determinación do sexo (Lamb e Fricke, 2005).

É importante recordar que na especie bovina os xenitais externos comezan a formarse na superficie caudoventral da parede abdominal, entre as extremidades posteriores. Nun primeiro momento visualízanse como unhas estruturas elevadas pouco definidas, que constitúen o TX, o pregamento uroxenital e as inchazóns xenitais. Segundo o sexo do feto, estas estruturas irán desenvolvéndose a medida que este vaia crecendo e darán lugar aos xenitais correspondentes. No caso dos machos o TX alárgase e forma o pene, o pregamento uroxenital encérrao formando o prepucio e as inchazóns xenitais agrándanse configurando o escroto. Nas femias, o TX compón o clítoris, o pregamento uroxenital envolve o tubérculo formando os beizos e as inchazóns xenitais, a diferenza dos machos, desaparecen por completo (Quintela et al., 2012). Os órganos sexuais do feto confórmanse por un tecido denso e hiperecoxénico, polo que se van a visualizar na pantalla como estruturas brillantes ou brancas, dunha forma semellante a como se aprecia o tecido esquelético. O TX posúe unha forma bilobulada, na que cada lóbulo ten unha forma oval (Stroud, 2005).

A precisión dos diagnósticos ultrasonográficos asociouse coa presentación fetal (Ali, 2004). Segundo o estudo realizado por Quintela et al. (2011), a eficacia é maior cando se utiliza un plano de corte lonxitudinal na exploración ecográfica, debido a que permite visualizar as dúas posibles localizacións do TX nunha soa imaxe. En dito estudo, a vista ecográfica máis repetida nas primeiras exploracións (entre os días 51 e 54) correspóndese coa lonxitudinal, sendo a transversal e saxital raramente usadas. Este plano lonxitudinal é o máis empregado para a determinación do sexo no primeiro trimestre da xestación, mentres que o plano transversal é máis preciso se o diagnóstico se realiza cando a xestación está máis avanzada.

Durante a exploración ecográfica dun feto para a determinación do seu sexo nun corte transversal, debe desprazarse o transdutor caudalmente dende o cranio ata atopar o tubérculo xenital. As tres referencias anatómicas principais para unha correcta orientación do feto durante a exploración ultrasonográfica son a cabeza, o corazón (latexo cardíaco) e o cordón umbilical.

Unha vez se coloca o transdutor sobre o cranio do feto, este vaise movendo de maneira caudal ata atopar o latexo cardíaco, no caso de que o feto sexa viable. Posteriormente, se se continúa desprazando o transdutor de maneira distal encontrarase o cordón umbilical. Neste momento debe procederse con coidado para valorar se se trata dun macho; no caso de non achar o TX inmediatamente caudal ao embigo, debe moverse o transdutor cara a zona perineal ata encontrar o TX por debaixo da cola (Stroud, 2005).

Ademais da determinación do sexo no primeiro trimestre da xestación, este pode identificarse de maneira máis tardía, mediante a identificación das estruturas xenitais específicas de machos e femias entre os días 80 e 100 de preñez. Nos machos, o pene pode observarse neste período como unha liña hiperecoxénica entre as patas traseiras, e as bolsas escrotais aparecen coma dous puntos brillantes a ambos lados do mesmo. No caso das femias, entre os días 80 e 100 poden visualizarse as mamilas como catro puntos hiperecoxénicos. Así mesmo, poden observarse o rafe perineal coma unha liña ecóxénica entre as patas traseiras e o clítoris, resultante do TX, en contacto directo coa cola (Bogdan et al., 2019).

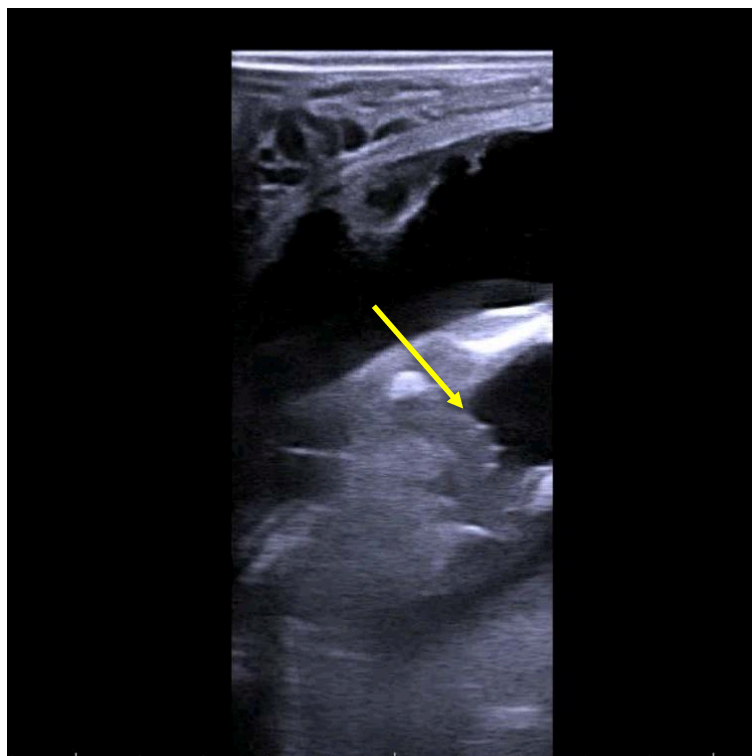


Figura 3: determinación tardía do sexo fetal. Na imaxe amósase unha femia; a frecha amarela sinala as mamilas como puntos hiperecoxénicos.

Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil.

3.2.4 *Xestacións múltiples*

O gando vacún é unha especie na que na maioría de circunstancias as xestacións dan lugar ao nacemento dunha soa cría. Non obstante, en ocasións poden ocorrer xestacións múltiples. Nas vacas de leite este proceso considérase indesexable debido aos efectos negativos que produce nos animais que paren xemelgos e nos propios becerros nados, o que trae consecuencias sobre a rendibilidade das explotacións (Fricke, 2001). Durante as últimas catro décadas a taxa de xestacións dobres incrementouse a consecuencia do aumento da incidencia das ovulacións múltiples, en gran medida polo efecto da elevada produción láctea e o uso de distintos protocolos de sincronización (Szelényi et al., 2021). Aínda que nos anos 70 e 80 se levaron a cabo determinados estudos que pretendían aumentar a taxa de xestacións dobres para mellorar a produción de leite e a proxenie por vaca, na actualidade a maioría de autores coinciden no feito de que este tipo de partos non son satisfactorios nos rabaños leiteiros (López-Gatius et al., 2017). Estímase que as perdas económicas asociadas a esta circunstancia oscilan entre os 59 e os 161 dólares por cada xestación xemelar (Cabrera e Fricke, 2021).

Os xemelgos poden ser monocigóticos ou dicigóticos. O cigoto defínese como a célula única que se forma tras a fecundación dun óvulo cun espermatozoide. Desta forma, os xemelgos que xorden da fecundación dun ovocito que se escinde en dous embrións durante o transcurso do seu desenvolvemento no útero denomínanse monocigóticos, mentres que aqueles que xorden da fecundación de dous ovocitos reciben o nome de xemelgos dicigóticos. Estes últimos poden clasificarse ademais segundo a súa lateralidade, podendo ser unilaterais se ambos xemelgos se atopan no mesmo corno uterino ou bilaterais se se atopa un en cada corno. A maioría dos casos de xestacións dobres que se producen no vacún de leite débense a preñeces de xemelgos dicigóticos (Fricke, 2001; Cabrera e Fricke, 2021).

As xestacións múltiples teñen unha repercusión directa sobre a preñez, aumentando a taxa de perdas na mesma e acortando a súa duración. Ademais, ditas xestacións incrementan a taxa de distocias e de morte perinatal, así como a frecuencia de complicacións no puerperio, tales como a retención placentaria ou as infeccións uterinas, o que deriva nun aumento do uso de antibióticos. Esta clase de preñeces tamén posúen efectos directos sobre os tenreiros nados, aumentando o risco de mortalidade dos mesmos e diminuíndo o seu peso ao nacemento. Outra situación desfavorable que se pode producir nestas situacións é o freemartinismo. Este proceso é unha das formas máis comúns de intersexualidade no gando bovino. Prodúcese en xestacións dobres nas que un dos xemelgos é macho e o outro femia, debido á anastomose precoz das placentas de ambos fetos. A causa desta asociación, a diferenciación sexual normal vese alterada, de maneira que a femia sofre unha masculinización que provoca que sexa estéril mentres que no xemelgo macho esta condición non ocasiona repercusións (Esteves et al., 2012; Szelényi et al., 2021).

Desta forma, a realización dun exame ecográfico coidadoso pode identificar a maioría de preñeces múltiples. Aínda así, a eficacia do mesmo é menor antes do día 30 post-IA debido a que durante o primeiro mes de xestación o embrión atópase moi cerca da parede do corno uterino, dificultando a súa visión (López-Gatius e García-Ispierto, 2010; Colloton, 2021).

Porén, certas características poden suxerir a presenza deste tipo de xestacións, tales como unha maior cantidade de fluído no lumen uterino ou un maior número de membranas alantoideas das que se supoñen para esa idade xestacional. En situacións de xestacións xemelares tamén é común observar unha liña hiperecoxénica (“twin line”) que vai dun embrión a outro, a cal representa a confluencia ou anastomose das membranas alantoideas de ambos. Esta pode diferenciarse da vesícula amniótica en que se afasta do feto en lugar de rodealo. Así mesmo, é importante examinar os ovarios na procura de dous ou máis CL. Colloton (2021) describiu que arredor dun 60% das vacas preñadas nas que se observan dous ou máis CL teñen xestacións dobres. Non obstante, a detección de máis dun CL pode desembocar en dous tipos de erros: que se diagnostique unha xestación múltiple como única ou viceversa. Por este motivo, debe facerse especial fincapé naquelas vacas nas que se atopen dous ou máis CL. Aínda así, tamén se pode dar o caso de vacas que presenten un único CL e que traian xemelgos, normalmente monocigóticos (López-Gatius e García-Ispierto, 2010; Quintela et al., 2012; Colloton, 2021).

Polo tanto, a presenza de dous ou máis CL, dunha maior cantidade de fluído na luz do útero e dun exceso de membranas, así como a visualización da denominada “twin line” son factores que suxiren a existencia dunha xestación dobre. Porén, o único feito definitivo para o diagnóstico dunha preñez xemelar é a detección de dous embrións (Quintela et al., 2012; Colloton, 2021).

3.2.5 Alteracións da xestación: viabilidade e anomalías embrionarias e fetais

3.2.5.1 Viabilidade embrionaria e fetal

Para entender a importancia dun diagnóstico precoz da viabilidade embrionaria e fetal, é fundamental recordar como se dividen ambos períodos e os momentos críticos nos que se producen a maioría das perdas na xestación. O período embrionario abarca dende o momento da fecundación ou concepción ata o final da diferenciación, que ocorre arredor do día 42 post-IA. Pola contra, o período fetal esténdese dende este mesmo día ata o momento do parto (Gábor et al., 2016). A maioría de abortos espontáneos que se producen durante a preñez teñen lugar antes do recoñecemento materno da xestación, é dicir, antes do día 16. As perdas que ocorren entre o día 16 e 42 tras a IA reciben o nome de mortalidade embrionaria tardía (Scenzi, 2021).

Por outro lado, a partir do día 42 da comezo o período fetal, de modo que dende este momento produciríase o aborto ou morte fetal. Este pode clasificarse do mesmo xeito que no caso

da mortalidade embrionaria: entre os días 42 e 90 de xestación desígnase como mortalidade fetal temperá, mentres que a partir do día 90 recibe o nome de mortalidade fetal tardía, a cal é raro que aconteza (Scenzi, 2021).

Para que o embrión se desenvolva con éxito, este debe pasar por unha serie de procesos no medio establecido pola nai, que o convertan dun organismo unicelular indiferenciado a un animal formado e san. A mortalidade embrionaria pode deberse a defectos do propio embrión, a un ambiente materno non apropiado, ao asincronismo entre o embrión e a nai ou á incapacidade desta de responder as sinais ou necesidades do embrión (Hansen, 2002). Os principais factores implicados nas perdas da xestación son xenéticos, fisiolóxicos, endócrinos ou de orixe ambiental (Rani et al., 2018).

A mortalidade embrionaria é unha das causas máis importantes de perdas económicas nos sistemas de produción leiteira. As perdas substanciais da xestación ocorren nos primeiros 60 días da mesma e causan un grande impacto económico nas explotacións. Esta mortalidade produce efectos directos sobre a taxa de concepción, diminuindo o seu valor, o que provoca consecuencias na eficiencia reprodutiva e a rendibilidade. Poder detectar de maneira precoz estas perdas na preñez ofrécelles aos produtores a oportunidade de reducir os costes asociados a esta situación (Diskin et al., 2012; Ealy e Seekford, 2019).

As perdas na xestación nas vacas leiteiras poden estimarse segundo a diferenza entre a taxa de concepción e o índice de partos. Na actualidade, dita taxa de concepción atópase arredor dun 80% (Scenzi, 2021). No caso do índice ou taxa de partos, nas vacas de raza Holstein modernas, oscila entre o 55% e o 60% en xovencas e entre o 35% e o 40% en vacas adultas (Lonergan et al., 2016). Polo tanto considérase que se perden entre un 41% e un 57% de preñeces durante a xestación (Scenzi, 2021).

Á hora de valorar a viabilidade do embrión ou do feto poden utilizarse diferentes métodos. Segundo o embrión se vai desenvolvendo, vaise acumulando líquido alantoideo e amniótico, que permite o diagnóstico da preñez mediante a palpación rectal da vesícula amniótica. Aínda que dito método é fiable e está amplamente aceptado á hora de diagnosticar xestacións, é complicado avaliar a viabilidade ou detectar a perda da preñez con esta técnica. Non obstante, a ultrasonografía permite valorar en tempo real a viabilidade embrionaria ou fetal (Pohler et al., 2020).

Un indicador obvio da perda da xestación é a morte do embrión, sendo a ausencia de latexo cardíaco o primeiro signo que se busca para diagnosticar a posible perda (López-Gatiús e García-Ispuerto, 2010). O corazón do embrión desenvólvese prontamente, de maneira que se o embrión pode localizarse, o latexo cardíaco podería ser visto aos 24 días post-IA. Aínda así, o embrión soe

ser difícil de atopar antes dos 27 días, sobre todo se se encontra pegado á parede uterina (Colloton, 2011). Non obstante, o embrión é facilmente identificable sobre o día 30 tras a IA, amosando un latexo cardíaco regular sinxelo de detectar (Rani et al., 2018). Así mesmo, a desorganización das membranas, a redución de líquido embrionario no interior do útero (pode indicar unha morte embrionaria inminente aínda que o latexo permaneza varios días) ou a visualización de estruturas ecoicas flotantes (incluíndo restos do propio embrión) son tamén indicadores de morte embrionaria ou fetal temperá. Os fluídos amniótico e corioalantoideo deben visualizarse como anecoicos e limpos ata os 70 días de preñez; se se observa “sucidade” e non hai latexo cardíaco pode asumirse que o embrión ou feto está morto (López-Gatius e García-Ispierto, 2010; Gábor et al., 2016; Colloton, 2021).

A partir dos 70 días de preñez, estes fluídos poden aparecer turbios aínda en xestacións normais. Ademais, a separación da membrana corioalantoidea é difícil de apreciar porque todas as membranas da placenta comezan a alongarse e pregarse. Non obstante, neste momento o movemento fetal é doadamente detectable, polo que se o feto non se move e hai ausencia de latexo cardíaco pode concluírse a morte fetal. No caso de fetos macerados, estes aparecen como imaxes deformadas rodeadas de líquido purulento, o cal se visualiza coma un fluído anecoico de fondo con partículas hiperecoicas. Os fetos momificados, pola contra, obsérvanse coma masas mal definidas e ecoicas, pero sen líquido arredor (Jones e Beal, 2003; Colloton, 2021).

Ademais da ultrasonografía en modo B ou en escala de grises, a ecografía Doppler pode ser utilizada para detectar posibles perdas na xestación mediante a avaliación do fluxo sanguíneo das arterias uterinas e do CL (Bollwein et al., 2016).

As alteracións no abastecemento sanguíneo do útero en vacas preñadas son notorias xa ás 3 semanas post-IA (Bollwein et al., 2016). Bollwein et al. (2002) determinaron nun estudo que o volume de fluxo sanguíneo increméntase progresivamente durante a preñez e a resistencia ao fluxo decrece ata os 8 meses de xestación, manténdose constante ata o parto. Máis adiante, Panarace et al. (2006) avaliaron distintos parámetros do fluxo sanguíneo (resistencia, volume e velocidade) en ambas arterias uterinas entre os días 30 e 270 de xestación. Comprobaron tamén que o índice de resistencia decrecía durante as 36 primeiras semanas da preñez, mentres que a velocidade e o volume de fluxo aumentaba paulatinamente cara ao final da mesma. Ambos autores concluíron que utilizando esta nova modalidade ecográfica podería ser posible detectar xestacións con alto risco de aborto mediante a monitorización do fluxo sanguíneo uterino.

Así mesmo, como o estudo da vascularización do CL permite avaliar a súa funcionalidade, sabemos que o fluxo sanguíneo luteal decrece cando se produce a regresión do CL, de maneira que o estudo da perfusión sanguínea desta estrutura ovárica tamén pode ser un bo indicador para

a detección de vacas non xestantes (Bollwein et al., 2016). Segundo Scully et al. (2015), as diferenzas nas medidas do fluxo sanguíneo do CL entre vacas preñadas, non preñadas e cíclicas faise notable no día 18. En dito estudo, as xovencas preñadas presentaron un maior fluxo sanguíneo luteal neste día. Máis recentemente, Siqueira et al. (2019), determinaron que os cambios no fluxo sanguíneo entre vacas xestantes e non xestantes xa poden diferenciarse a partir do día 16 post-IA. Scully et al. (2015), observaron ademais que a relación deste parámetro en xestantes e non xestantes foi maior entre os días 16 e 18, sen visualizarse cambios significativos entre as xovencas preñadas e as cíclicas. Estes autores propuxeron a hipótese de que a posibilidade de que algunha das vacas non preñadas sufrise unha perda embrionaria temperá, fora a causante dunha diminución máis pronta da relación do fluxo sanguíneo luteal. Noutro estudo realizado por Herzog et al. (2011), examinouse a vascularización do CL con axuda da ultrasonografía Doppler durante as 3 primeiras semanas posteriores á IA. As vacas foron clasificadas como preñadas (detección do latexo cardíaco no día 25 post-IA), non preñadas (intervalo interestro entre 15 e 21 días) e vacas con aparente perda embrionaria temperá (intervalo interestro superior a 25 días). Os resultados demostraron que o patrón do fluxo sanguíneo luteal entre as vacas xestantes e aquelas con aparente perda embrionaria foi semellante ata o día 13, a partir do cal nestas últimas non aumentou e mantívose constante, mentres que nas primeiras si o fixo.

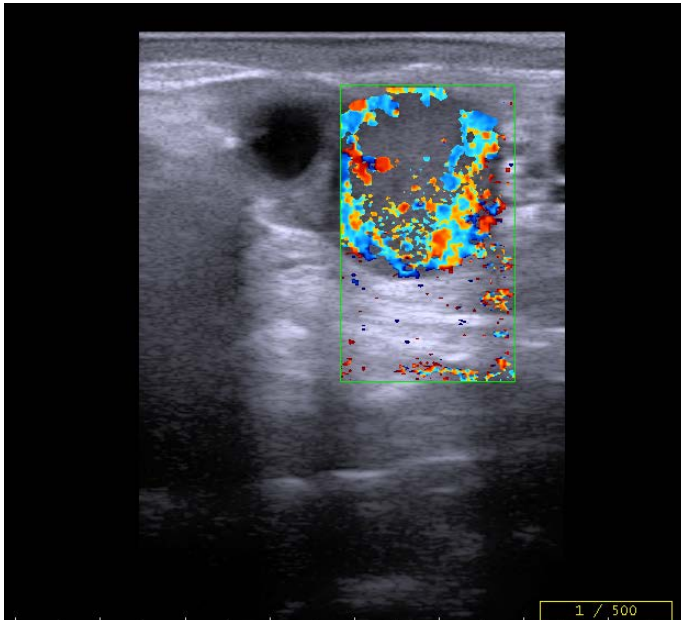


Figura 4: ecografía Doppler dun ovario. Na imaxe amósase o fluxo sanguíneo dun CL. A cor azul representa o fluxo que se afasta do transdutor; pola contra, a cor vermella representa o fluxo que se achega ao transdutor.
Imaxe cedida por Uxía Yáñez Ramil.

Bollwein et al. (2002) tamén observaron no día 18 tras a IA, que nas vacas non preñadas a regresión do CL non só se manifestaba cunha redución do fluxo sanguíneo luteal, senón tamén cunha diminución do tamaño do mesmo, así como da concentración plasmática de proxesterona. Aínda así, a avaliación do tamaño e a morfoloxía do CL non é un bo método para realizar un

diagnóstico de preñez ou non preñez, xa que a regresión funcional do CL precede á súa regresión morfolóxica: un CL pode amosar falta de rego sanguíneo no estudo Doppler e manter un tamaño normal. No estudo levado a cabo por Siqueira et al. (2019), corroborouse que a función lútea pérdese entre 24 e 48 horas antes de que se produzan cambios na morfoloxía e a ecotextura do CL.

Non obstante, a medición do fluxo sanguíneo luteal con axuda da ecografía Doppler reflicte dun xeito máis veraz a funcionalidade de dito CL, permitindo un diagnóstico precoz de vacas non preñadas, xa que dito fluxo será menor naquelas nas que se perdese a xestación e se producise a regresión do CL (Viana et al., 2013; Bollwein et al., 2016). Así mesmo, a medición deste parámetro podería servir para a identificación temperá de situacións nas que se producisen mortes embrionarias, tal e como concluíron Herzog et al. (2011).

3.2.5.2 Anomalías embrionarias e fetais

Durante o exame ecográfico da preñez, ademais de valorar a viabilidade é importante avaliar o aspecto do feto e comprobar que este non presente ningún tipo de anomalía. A maioría de anomalías obsérvanse mellor entre os 50 e 90 días de xestación, cando o feto xa semella unha pequena versión dun bóvido adulto. Algunhas anomalías, aínda que poucas, poden chegar a observarse incluso antes (Colloton, 2021). A incidencia das anomalías fetais en bovinos é moi baixa; dun total de 21.000 exames de preñez realizados nun período de 5 anos detectáronse un total de 15 anomalías fetais, o que equivalería a un 0,07% (DesCôteaux et al., 2009.).

Aínda que estes defectos non son moi frecuentes é interesante poder recoñecelos. Algunhas alteracións, tales como o *Schistosomus reflexus*, o *Amorphus globosus* ou os xemelgos siameses, poden verse á hora de determinar o sexo, é dicir, arredor dos 55-65 días de preñez. Outros defectos (adquiridos ou conxénitos) poden observarse en fetos de maior idade, como por exemplo a hidrocefalia, a ascite fetal ou o derrame pericárdico. Non obstante, calquera destas anomalías posúe un mal prognóstico para a supervivencia do feto (DesCôteaux et al., 2006).

Algunhas das malformacións máis rechamantes que poden chegar a visualizarse a través da ultrasonografía son:

- *Schistosomus reflexus*:

Trátase dunha malformación conxénita (rara e mortal) observada principalmente en ruminantes, que implica un peche incompleto da parede corporal ventral, de maneira que a columna vertebral cúrvase de forma convexa e as vísceras abdominais e ás veces as torácicas

quedan expostas. A prevalencia deste síndrome oscila entre o 0,01% e o 1,3% (Laughton et al., 2005).

Utilizando a ecografía transrectal podería observarse como o estómago fetal se atopa cheo de líquido e fóra da cavidade corporal. Así mesmo en moitos dos casos a columna vertebral está visiblemente arqueada, incluso ás veces con forma de “V” (Colloton, 2021).

- *Amorphus globosus*:

É unha masa asimétrica de forma esférica ou ovalada que se expulsa no parto xunto a outro tenreiro vivo e viable. Trátase dunha masa de células que se desprende durante o desenvolvemento embrionario do resto do feto e consecuentemente presenta un desenvolvemento anormal. Esta masa componse de distintos tecidos, tanto mesodérmicos (conectivos, musculares, adiposos, adenoides, cartilaxinosos e óseos) como ectodérmicos. Xeralmente non forman ningunha estrutura anatómica e tampouco presentan órganos diferenciados nin funcionais (Gerkhe et al., 2019). Nun exame ecográfico este defecto podería chegar a observarse como unha estrutura redondeada composta de tecido fetal irrigada polo sistema circulatorio do feto viable (Colloton, 2021).

- *Ascite fetal*:

A ascite defínese coma a hidropesía ou acumulación de líquido no peritoneo. No caso da ascite fetal, aínda sendo un proceso que ocorre de maneira ocasional, esta adoita ser máis común na especie bovina que noutras. Este defecto pode producirse a causa dunha sobreproducción de líquido peritoneal ou un drenaxe insuficiente do mesmo, provocado por exemplo por unha obstrución dos ganglios linfáticos. Esporadicamente esta anomalía pode estar asociada a unha condición hidrópica do útero, a mesoteliomas do abdome fetal ou incluso se vinculou nalgunha ocasión á brucelosis (Patel et al., 2014).

Nun caso de ascite fetal observado mediante ultrasonografía podería verse líquido libre dentro da cavidade peritoneal, mentres que en condicións normais os órganos abdominais deberían estenderse por toda a cavidade sen presenza de fluído na mesma (Colloton, 2021).

- *Xemelgos unidos*:

Os xemelgos unidos resultan da división incompleta dun óvulo fecundado. A súa forma de presentación varía dende a duplicación parcial dalgunha parte do corpo (sendo máis común a duplicación das partes craneais) ata a separación case completa de ambos individuos, quedando unidos soamente por certos puntos. Aqueles que presentan partes ou compoñentes simétricos reciben o nome de monstros diplopáxicos ou xemelgos siameses. Segundo o lugar polo que se

atopen asociados denomínanse de distinta forma: craneópagos (unidos pola cabeza), toracópagos (unidos polo esternón ou proximidades), isquiópagos (xemelgos unidos pola cabeza e a rexión pélvica en direccións opostas) e pigópagos (unidos polo sacro) (Purohit et al., 2012).

Por exemplo, fetos que posúan unha duplicación da cabeza observaríanse en ecografía como un único tórax do que emerxen dúas cabezas. Os xemelgos siameses son raros de ver e deben diferenciarse de xestacións múltiples nas que os fetos estén xuntos (Colloton, 2021).

4. Conclusións

- A ultrasonografía transrectal resulta ser un método de diagnóstico eficaz, minimamente invasivo e inocuo, que proporciona unha ventá para o exame e a valoración visual do embrión ou feto durante a xestación.
- Dentro da mesma, a ecografía posibilita a realización de diagnósticos de preñez máis precoces e fiables en comparación ao uso da palpación rectal.
- O uso desta ferramenta diagnóstica facilita a monitorización do desenvolvemento fetal ao permitir a determinación da idade grazas a unha toma de medidas máis precisas e realistas. Do mesmo modo, a ecografía proporciona un recurso para a identificación do sexo fetal en estadios precoces da xestación.
- Este método diagnóstico ofrece ademais unha maneira rápida, fácil e práctica de detectar casos de xestacións múltiples.
- Permite a avaliación de alteracións na xestación, tales como o estudo da viabilidade embrionaria e fetal para detectar situacións de mortalidade embrionaria dun xeito cómodo, sinxelo e prematuro. Por outra banda, a ecografía fai posible o descubrimento de anomalías embrionarias e fetais.
- Respecto das novas tecnoloxías, a ecografía Doppler é unha das modalidades máis estudadas en reprodución bovina nos últimos anos. Aínda que segue a ser obxecto de investigación, parece constituír un sistema interesante e eficiente para a identificación prematura de perdas embrionarias mediante o estudo da vascularización das estruturas ováricas e a matriz uterina.

5. Bibliografía

- Aldrich, J. (2007). Basic physics of ultrasound imaging. *Critical Care Medicine*, 35(5 Suppl), S131-S137.
- Ali, A. (2004). Effect of Gestational Age and Fetal Position on the Possibility and Accuracy of Ultrasonographic Fetal Gender Determination in Dairy Cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 39(3), 190-194.
- Balhara, A. K., Gupta, M., Singh, S., Mohanty, A. K., & Singh, I. (2013). Early Pregnancy Diagnosis in Bovines: Current Status and Future Directions. *The Scientific World Journal*, 2013, 958540-10.
- Blond, L., & Buczinski, S. (2009). Basis of Ultrasound Imaging and the Main Artifacts in Bovine Medicine. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 25(3), 553-565.
- Bogdan, L. M., Petrean, A. B., Coman, I., Nadăș, G., Cenariu, M., Bogdan, I., Bogdan, S., & Berean, D. (2019). The Diagnosis of Fetal Sexing in Cattle Using Ultrasound. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 76(2), 149-153.
- Bollwein, H., Baumgartner, U., & Stolla, R. (2002). Transrectal Doppler sonography of uterine blood flow in cows during pregnancy. *Theriogenology*, 57(8), 2053-2061.
- Bollwein, H., Heppelmann, M., & Lüttgenau, J. (2016). Ultrasonographic Doppler Use for Female Reproduction Management. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 32(1), 149-164.
- Cabrera, V. E., & Fricke, P. M. (2021). Economics of Twin Pregnancies in Dairy Cattle. *Animals (Basel)*, 11(2), 552.
- Colloton, J. (2011). Applications of ultrasonography in dairy cattle reproductive management. En Risco, C. A., Melendez, P. (Eds) *Dairy Production Medicine* (pp. 99-116). Wiley.
- Colloton, J. (2021). Ultrasound Evaluation of the Female Reproductive Tract. En Hopper, R. M. (Ed) *Bovine Reproduction* (2nd ed., pp. 486-508). Wiley.
- DesCôteaux, L., Carrière, P. D., & Durocher, J. (15-19 Outubro, 2006). *Ultrasonography of the reproductive system of the cow: basic principles, practical uses and economic aspects of this diagnostic tool in dairy production*. [Comunicación en congreso] 24th World Buiatrics Congress, Nice. Recuperado de URL:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45247328/ultrasonography-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1657033045&Signature=FunTFHM74TlSjns17mqBP0yZtjEGNy~yzRxxqNyPRtXon9HUUpznHSKD0qWcPkEhchJfN~4NcXKuSoEEeMgfd-hfQ~DNiNAGR6KpxxUSzTKtFZDIjEGtutVEFH3b1StMxdQyLwVq9girCloJOlCxiUb1RPmqGaNh1KiJQ2e9Y709C1io7kACACts7WffDM3rmVktGpysJsWH19IbPPmMV0xnahHKofiWGTrZlp1Oiv27xyz6LFpLuLVLmG8Fts0wOo9wqHQRLaO221HTAUjh-1wnQ-oH1Kyk3nB-ApmXTZzIZQyHcbzLyMU24TfJVEyE7qmQY0SOxcIef4TK1ss-HA-Q_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- DesCôteaux, L., Colloton, J., Gayrard, V., e Picard-Hagen, N. (2009_b). Bovine pregnancy. En DesCôteaux, L., Gnemmi, G., Colloton, J. (Eds) *Practical atlas of ruminant and camelid reproductive ultrasonography* (pp. 81-99). Wiley.
- DesCôteaux, L., Gnemmi, G., & Colloton, J. (2009_a). Ultrasonography of the Bovine Female Genital Tract. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 25(3), 733-752.
- DesCôteaux, L., Picard-Hagen, N., Durocher, J., Buczinski, S., Colloton, J., Chastant-Maillard, S., & Curran, S. (2009_c). Bovine Fetal Development after 55 Days, Fetal Sexing, Anomalies, and Well-Being. En DesCôteaux, L., Gnemmi, G., Colloton, J. (Eds) *Practical Atlas of Ruminant and Camelid Reproductive Ultrasonography* (pp. 101-124). Wiley.
- Diskin, M. G., Parr, M. H., & Morris, D. G. (2011). Embryo death in cattle: an update. *Reproduction Fertility and Development*, 24(1), 244-251.
- Ealy, A. D., & Seekford, Z. K. (2019). Symposium review: Predicting pregnancy loss in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11798-11804.
- Esteves, A., Bâge, R., & Payan-Carreira, R. (2012). Freemartinism in cattle. *Ruminants anatomy, behavior and diseases. New York: Nova Science Publishers*, 99-120.
- Fricke, P. M. (2001). Twinning in dairy cattle. *The Professional Animal Scientist*, 17(2), 61-67.
- Fricke, P. M. (2002). Scanning the future—Ultrasonography as a reproductive management tool for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 1918-1926.
- Fricke, P. M., Ricci, A., Giordano, J. O., & Carvalho, P. D. (2016). Methods for and Implementation of Pregnancy Diagnosis in Dairy Cows. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 32(1), 165-180.

- Gábor, G., Kastelic, J., Abonyi-Tóth, Z., Gábor, P., Endrődi, T., & Balogh, O. (2016). Pregnancy Loss in Dairy Cattle: Relationship of Ultrasound, Blood Pregnancy-Specific Protein B, Progesterone and Production Variables. *Reproduction in Domestic Animals*, 51(4), 467-473.
- Gehrke, M., Blaszak, B., Stachowiak, M., Szczerbal, I., Stefańska, B., Jaśkowski, J. M., Nowak, W., & Świtoński, M. (2019). Amorphus globosus fetuses in Polish Holstein cattle: anatomical, histological, and genetic studies. *Journal of Veterinary Research*, 63(3), 391-398.
- Ginther, O. J. (2014). How ultrasound technologies have expanded and revolutionized research in reproduction in large animals. *Theriogenology*, 81(1), 112-125.
- Hansen, P. J. (2002). Embryonic mortality in cattle from the embryo's perspective. *Journal of Animal Science*, 80(E-suppl_2), E33-E44.
- Herzog, K., Voss, C., Kastelic, J. P., Beindorff, N., Paul, V., Niemann, H., & Bollwein, H. (2011). Luteal blood flow increases during the first three weeks of pregnancy in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 75(3), 549-554.
- Johnson, V. (2013). Diagnostic imaging: reflecting on the past and looking to the future. *The Veterinary Record*, 172(21), 546.
- Jones, A. L., & Beal, W. E. (2003). Reproductive applications of ultrasound in the cow. *The Bovine Practitioner*, 1-9.
- King, A. M. (2006). Development, advances and applications of diagnostic ultrasound in animals. *The Veterinary Journal*, 171(3), 408-420.
- Lamb, G. C., & Fricke, P. M. (2005). Ultrasound—early pregnancy diagnosis and fetal sexing. *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*, 253-262.
- Laughton, K. W., Fisher, K. R. S., & Halina Partlow, W. G., G. D. (2005). Schistosomus Reflexus Syndrome: A Heritable Defect in Ruminants. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 34(5), 312-318.
- Lonergan, P., Fair, T., Forde, N., & Rizos, D. (2016). Embryo development in dairy cattle. *Theriogenology*, 86(1), 270-277.
- López-Gatius, F., & García-Ispuerto, I. (2010). Ultrasound and Endocrine Findings that Help to Assess the Risk of Late Embryo/Early Foetal Loss by Non-Infectious Cause in Dairy Cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 45(s3), 15-24.

- López-Gatius, F., Andreu-Vázquez, C., Mur-Navales, R., Cabrera, V. E., & Hunter, R. H. F. (2017). The dilemma of twin pregnancies in dairy cattle. A review of practical prospects. *Livestock Science*, *197*, 12-16.
- Mali, A. B., Mehar, R. M., Kapane, S. H., & Hadimani, M. R. (2022). Scanning the Future: Veterinary Reproductive Ultrasonography. *Animal Reproduction Update*, *1*(2), 82-89.
- Malvaez, A. L., Galina, C. S., Gutierrez, I., Corro, M., & Pablos, J. L. (2019). Serial Ultrasonographic Measurements to Estimate Age and Viability in *Bos indicus* Embryos. *Open Journal of Veterinary Medicine*, *9*(7), 91-99.
- Mantziaras, G., & Luvoni, G. C. (2020). Advanced ultrasound techniques in small animal reproduction imaging. *Reproduction in Domestic Animals*, *55*(S2), 17-25.
- Matsui, M., & Miyamoto, A. (2009). Evaluation of ovarian blood flow by colour Doppler ultrasound: Practical use for reproductive management in the cow. *The Veterinary Journal*, *181*(3), 232-240.
- Medan, M. S., & Abd El-Aty, A. M. (2010). Advances in ultrasonography and its applications in domestic ruminants and other farm animals reproduction. *Journal of Advanced Research*, *1*(2), 123-128.
- Meomartino, L., Greco, A., Di Giancamillo, M., Brunetti, A., & Gnudi, G. (2021). Imaging techniques in Veterinary Medicine. Part I: Radiography and Ultrasonography. *European Journal of Radiology Open*, *8*, 100382.
- Miyamoto, A., Shirasuna, K., Hayashi, K., Kamada, D., Kawashima, C., Kaneko, E., Acosta, T. J., & Matsui, M. (2006). A potential use of color ultrasound as a tool for reproductive management: New observations using color ultrasound scanning that were not possible with imaging only in black and white. *The Journal of Reproduction and Development*, *52*(1), 153-160.
- Naredo, E., & Monteagudo, I. (2014). Doppler techniques. *Clin Exp Rheumatol*, *32*(1 Suppl 80), S12-S19.
- Panarace, M., Garnil, C., Marfil, M., Jauregui, G., Lagioia, J., Luther, E., & Medina, M. (2006). Transrectal Doppler sonography for evaluation of uterine blood flow throughout pregnancy in 13 cows. *Theriogenology*, *66*(9), 2113-2119.
- Patel, A., Yadav, D., & Saxena, A. (2014). Management of Dystocia due to Fetal Ascites in a Buffalo. *Intas Polivet*, *15*(2), 344-346.

- Pohler, K. G., Reese, S. T., Franco, G. A., Oliveira, R. V., Paiva, R., Fernandez, L., de Melo, G., Vasconcelos, J. L. M., Cooke, R., & Poole, R. K. (2020). New approaches to diagnose and target reproductive failure in cattle. *Animal Reproduction*, *17*(3), e20200057.
- Prabhu, S., Kanal, K., Bhargava, P., Vaidya, S., & Dighe, M. (2014). Ultrasound Artifacts: Classification, Applied Physics With Illustrations, and Imaging Appearances. *Ultrasound Quarterly*, *30*(2), 145-157.
- Purohit, G. N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, C., & Yadav, S. P. (2012). Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Veterinary Science Development*, *2*(1), e8-e8.
- Quien, M. M., & Saric, M. (2018). Ultrasound imaging artifacts: How to recognize them and how to avoid them. *Echocardiography*, *35*(9), 1388-1401.
- Quintela, L. A., Becerra, J. J., Pérez-Marín, C. C., Barrio, M., Cainzos, J., Prieto, A., Díaz, C., & Herradón, P. G. (2011). Fetal gender determination by first-trimester ultrasound in dairy cows under routine herd management in Northwest Spain. *Animal Reproduction Science*, *125*(1), 13-19.
- Quintela, L., Barrio, M., Peña, A., Becerra, J., Cainzos, J., Herradón, P., & Díaz, C. (2012). Use of Ultrasound in the Reproductive Management of Dairy Cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, *47*(s3), 34-44.
- Rani, P., Dutt, R., Singh, G., & Chandolia, R. K. (2018). Embryonic Mortality in Cattle- A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(7), 1501-1516.
- Robinson, T. M. (2007). Basic principles of ultrasound. En Lemoigne, Y., Caner, A., Rahal, G. (Eds) *Physics for Medical Imaging Applications (NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry)*, (vol. 240, pp. 101-110). Springer, Dordrecht.
- Romano, J. E., Thompson, J. A., Forrest, D. W., Westhusin, M. E., Tomaszewski, M. A., & Kraemer, D. C. (2006). Early pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography in dairy cattle. *Theriogenology*, *66*(4), 1034-1041.
- Scully, S., Evans, A. C. O., Carter, F., Duffy, P., Lonergan, P., & Crowe, M. A. (2015). Ultrasound monitoring of blood flow and echotexture of the corpus luteum and uterus during early pregnancy of beef heifers. *Theriogenology*, *83*(3), 449-458.
- Shriki, J. (2014). Ultrasound physics. *Critical care clinics*, *30*(1), 1-24.
- Siqueira, L. G., Arashiro, E. K., Ghetti, A. M., Souza, E. D., Feres, L. F., Pfeifer, L. F., Fonseca, J. F., & Viana, J. H. (2019). Vascular and morphological features of the corpus luteum 12 to

- 20 days after timed artificial insemination in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5612-5622.
- Stroud, B. K. (2005). Bovine fetal sexing using ultrasound. *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*, 1-10.
- Szelényi, Z., Szenci, O., Kovács, L., & Garcia-Ispuerto, I. (2021). Practical Aspects of Twin Pregnancy Diagnosis in Cattle. *Animals (Basel)*, 11(4), 1061.
- Szenci, O. (2021). Recent Possibilities for the Diagnosis of Early Pregnancy and Embryonic Mortality in Dairy Cows. *Animals (Basel)*, 11(6), 1666.
- Talukdar, D., Borpujari, D., Ahmed, F. A., & Lalrintluanga, K. (2019). Ultrasound as a diagnostic aid for anatomical defects of female reproductive tract: An overview. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(2), 533-536.
- Vargas, A., Amescua-Guerra, L. M., Bernal, M. A., & Pineda, C. (2008). Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. *Acta ortopédica mexicana*, 22(6), 361-373.
- Viana, J. H. M., Arashiro, E. K. N., Siqueira, L. G. B., Ghetti, A. M., Areas, V. S., Guimarães, C. R. B., Palhao, M. P., Camargo, L. S. A. & Fernandes, C. A. C. (2013). Doppler ultrasonography as a tool for ovarian management. *Animal Reproduction (AR)*, 10(3), 215-222.
- Villaseñor, C. P., Palacios, M. M., & González, A. B. (2012). Principios físicos básicos del ultrasonido. *Investigación En Discapacidad*, 1, 25-34.
- Whitlock, B. K., & Maxwell, H. S. (2008). Pregnancy-associated glycoproteins and pregnancy wastage in cattle. *Theriogenology*, 70(3), 550-559.
- Yáñez, U., Becerra, J. J., Herradón, P. G., Peña, A. I., & Quintela, L. A. (2022). Ecografía Doppler y su aplicación en reproducción bovina: revisión. *ITEA: Información Técnica Económica Agraria*, 118(1), 82.