



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en veterinaria

Fisiología y endocrinología del celo, la ovulación y el
primer tercio de gestación en la cerda

The physiology and endocrinology of estrus,
ovulation and the first third of gestation in the sow

Autor/es

Julia Sanz Moreno

Director/es

María Victoria Falceto Recio

Ana María Garrido Leiva

Facultad de Veterinaria

2024

1 ÍNDICE

2	RESUMEN	1
3	ABSTRACT	1
4	INTRODUCCIÓN	2
5	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	5
6	METODOLOGÍA.....	6
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
7.1	FISIOLOGIA Y ENDOCRINOLOGÍA REPRODUCTIVA	7
7.1.1	CICLO SEXUAL	7
7.1.2	CELO	9
7.1.3	FECUNDACIÓN.....	9
7.1.4	PRIMER TERCIO DE LA GESTACIÓN.....	10
7.2	FACTORES EXTERNOS IMPLICADOS EN LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DURANTE EL CELO, LA OVULACIÓN, FECUNDACIÓN Y EL PRIMER TERCIO DE LA GESTACIÓN	12
7.2.1	ALIMENTACIÓN.....	12
7.2.2	CONDICIONES AMBIENTALES	14
7.2.3	ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA	17
7.3	CONDICIONES DE MANEJO EMPLEADAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA	18
7.3.1	SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS	18
7.3.2	ESTRATEGIAS PARA COMPENSAR LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA.....	20
7.3.3	MÉTODOS DE DETECCIÓN DEL CELO	21
7.3.4	TRATAMIENTOS FARMACOLÓGICOS.....	22
7.3.4.1	MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN DEL CELO	22
7.3.4.2	METODOS DE INDUCCIÓN DE LA OVULACIÓN	23
7.3.4.3	METODOS DE MANTENIMIENTO DE LA GESTACIÓN	24
7.4	FALLO REPRODUCTIVO	25
8	CONCLUSIONES	27

9	VALORACIÓN PERSONAL	29
10	BIBLIOGRAFÍA.....	29

2 RESUMEN

El sector porcino constituye una parte importante en la economía española, sometiéndose a un constante desarrollo para mantener y fortalecer su posición en el mercado nacional e internacional. La cerda doméstica es una hembra poliéstrica continua que, en condiciones favorables, presenta ciclos reproductivos durante todo el año. Además, en las últimas décadas, gracias a la selección genética se han desarrollado líneas genéticas de reproductoras altamente productivas, caracterizadas por poseer índices de fertilidad y prolificidad muy altas.

El ciclo sexual está regulado por el eje hipotalámico-hipofisario-ovárico, que funciona gracias a la retroalimentación positiva y negativa endocrina. Conociendo su funcionamiento, se han planteado protocolos hormonales que pretenden sincronizar los ciclos sexuales de las reproductoras, permitiendo agruparlas en bandas de cubrición y parto para aumentar su eficiencia reproductiva y facilitar la labor a los operarios. Aparte del componente hormonal, existen numerosos factores que influyen en los resultados reproductivos, como la nutrición, las condiciones ambientales y la estacionalidad reproductiva. Mediante correctas prácticas de manejo se puede potenciar la productividad de las cerdas, además de mejorar su bienestar. Cuando el proceso productivo falla en estas fases de celo, ovulación y primer tercio de la gestación, la cerda puede no quedar preñada, y en caso de que quede, puede sufrir pérdidas embrionarias, manifestándose en la granja en forma de repeticiones del celo y si la falla de gestación se acompaña de infección observaremos descargas vulvares previas al siguiente celo. Por ello, es esencial el estudio y la aplicación de condiciones adecuadas para cada estado reproductivo, esto nos ayudará a alcanzar la máxima rentabilidad y un adecuado ritmo reproductivo en la granja, obteniendo así suficientes ovocitos de calidad durante el desarrollo folicular. Así como, a aumentar la supervivencia embrionaria y obtener camadas numerosas y homogéneas, durante la fecundación y el primer mes de la gestación.

3 ABSTRACT

The swine industry is a fundamental pillar of the Spanish economy, undergoing constant development to maintain and strengthen its position in both the national and international markets. The domestic sow is a polyestrous continuous animal that, under favorable conditions, exhibits reproductive cycles throughout the year. Moreover, in recent decades, genetic selection has led to the development of highly productive genetic lines of breeding sows characterized by significantly superior fertility and prolificacy rates.

The sexual cycle is regulated by the hypothalamus-pituitary gland-ovary axis, which functions through positive and negative endocrine feedback. Understanding its operation has led to the development of numerous hormonal protocols that can synchronize the sexual cycles of breeding sows, allowing them to be grouped into batches, increasing their reproductive efficiency, and facilitating the work to operators. Besides hormones, there are numerous factors that influence reproductive performance, such as nutrition, environmental conditions, and reproductive seasonality. Thanks to the implementation of correct management practices, the productivity of sows can be enhanced, and their welfare improved. When the production process fails during the phases of estrus, ovulation, and the first third of gestation, the sow may not become pregnant. If she does, she may suffer embryonic losses, which manifest on the farm as repeat estrus cycles and, in the presence of infection (endometritis), vulvar discharges prior to the next estrus cycle. Therefore, it is essential to study and apply appropriate conditions for each reproductive stage. This will help us achieve maximum profitability and an adequate reproductive rhythm on the farm, thereby obtaining sufficient quality oocytes during follicular development. Additionally, it will increase embryonic survival and result in homogeneous litters during fertilization and the first month of gestation.

4 INTRODUCCIÓN

El sector porcino constituye un pilar fundamental en la economía española, alcanzando un 39 % del valor de la producción total ganadera y generando más de 400.000 puestos de trabajo (Interporc, 2021; Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación, 2024). Según los datos recopilados en mayo de 2023 por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, hay censados en España un total de 33.858.512 cerdos, de los cuales, un 8,04 % (2.724.962) son cerdas reproductoras y un 0,09 % (31.435) son verracos (Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, 2023). Durante los últimos 40 años, se ha duplicado el censo de estos animales, principalmente de lechones, convirtiendo España en el tercer país con mayor censo a nivel mundial y el primero en Europa, seguido de Alemania. A pesar del incremento de la población porcina, el número de granjas se ha visto disminuido. Esto se debe al aumento de la productividad de las hembras, que disponen de índices de fertilidad y prolificidad más altos, permitiendo que el mismo número de reproductoras produzca un mayor número de lechones a lo largo de su vida útil (Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, 2023; Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas y Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, 2021) (*Figura 1*).

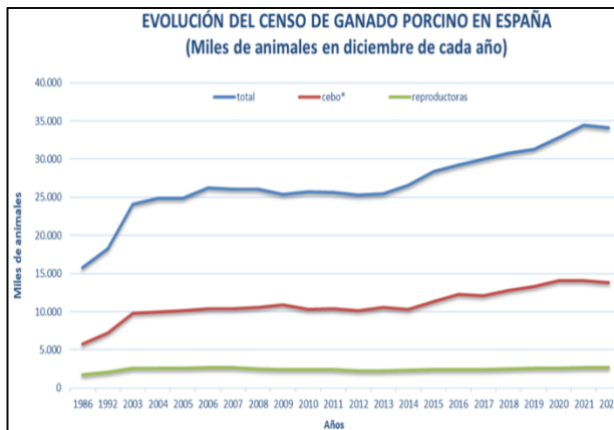


Figura 1: Gráfico que representa el censo de lechones, de reproductoras y de ganado porcino total en España desde 1986 hasta 2022 (Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas y Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, 2021)

La pubertad en la cerda aparece a los 6- 7, meses una vez que se ha alcanzado un peso corporal y engrasamiento adecuados. Tras la aparición de la madurez sexual en la cerda, el objetivo es optimizar su rendimiento reproductivo alcanzando una media de 2,2 partos al año y manteniendo unas tasas de fertilidad y prolificidad adecuadas hasta el final de su vida útil (séptimo parto) (Falceto y Bascuas, 2005; Falceto, 2015).

La cerda se caracteriza por tener un aparato reproductor de gran tamaño compuesto por una parte copuladora (vulva, vestíbulo y vagina), una parte tubular (cérvix, útero y oviductos) y las gónadas (u ovarios). Observando desde el exterior hacia el interior, en primer lugar, se encuentra la vulva. Se trata de un órgano muy vascularizado que funciona como un excelente indicador del celo ya que durante los días fértiles aumenta de tamaño adquiriendo un color más rojizo y un aspecto edematoso (*Figura 2*) (Xu et al., 2023). Se exterioriza como dos labios en forma de gota en cuya parte inferior aloja al clítoris. A continuación, se encuentra la vagina, a través de la cual se realiza la copulación o la inseminación artificial y el parto. Se trata de un conducto muscular de unos 30- 40 cm que aloja en la parte caudo- ventral el meato urinario (*Figura 3*).

La vagina desemboca en el cérvix, que actúa como barrera física entre la vagina y el útero, quién además presenta una función inmune (presencia de IgA) y secretora (moco cervical). Esta “barrera” se compone de un conjunto de pliegues y tuberosidades que forman los anillos cervicales de tejido conectivo, muscular y glandular que se encuentran cerrados a modo de cremallera a lo largo de todo el ciclo sexual excepto durante el estro, permitiendo el paso de los espermatozoides a través del canal y favoreciendo que la fecundación se lleve a cabo durante esta etapa (*Figura 4*). El cérvix comunica por la parte craneal con el útero, lugar donde se va a producir la implantación de los embriones y el desarrollo de la gestación hasta el parto. El útero es un órgano bicornue compuesto por tres capas tisulares: endometrio (mucosa), miometrio (muscular) y perimetrio (serosa) (Ngula, 2016). Presenta un cuerpo uterino corto y dos cuernos

largos y tortuosos que conectan con los oviductos. A lo largo del ciclo reproductivo, el útero manifiesta una serie de cambios influenciados por las hormonas reproductivas que favorecerán la llegada de los espermatozoides al ovocito mediante contracciones y prepararán la pared uterina para la implantación del embrión. Posteriormente al cuerno uterino, se encuentra el oviducto, un conducto estrecho compuesto por tres partes el istmo, la ampolla y el infundíbulo (Carrión y Medel, 2002). Este último, envuelve al ovario formando una bolsa ovárica encargada de recoger el ovocito liberado durante la ovulación, que, mediante movimientos peristálticos y movimientos ciliares avanzará hasta la ampolla donde se producirá la fecundación en caso de que haya espermatozoides. Finalmente, el embrión o el ovocito sin fecundar atraviesan el istmo y la unión uterotubárica (lugar reservorio de espermatozoides tras la cubrición) hasta el útero.



Figura 2: Vulva edematizada y rojiza durante el estro (Trujillo y Becerril, 2021).



Figura 3: Orificio externo de la uretra, situado en la vagina (Falceto, 2015).



Figura 4: Cérvix cortado longitudinalmente exponiendo las tuberosidades en forma de cremallera (Falceto, 2015).

En cuanto a los ovarios, presentan dos funciones principales, la producción de gametos femeninos (ovocitos) y la síntesis de hormonas reproductivas (estrógenos y progesterona). En función de la fase del ciclo reproductivo en la que se encuentre, los ovarios presentarán un aspecto u otro, pudiendo observar estructuras como los folículos en desarrollo (*Figura 5 a*), los cuerpos lúteos formados tras la ovulación (*Figura 5 b*) y los cuerpos albicans (restos de la involución del cuerpo lúteo) (*Figura 5 c*) (Gil Corbalán et al., 2009; Quiles y Hevia, 2012).

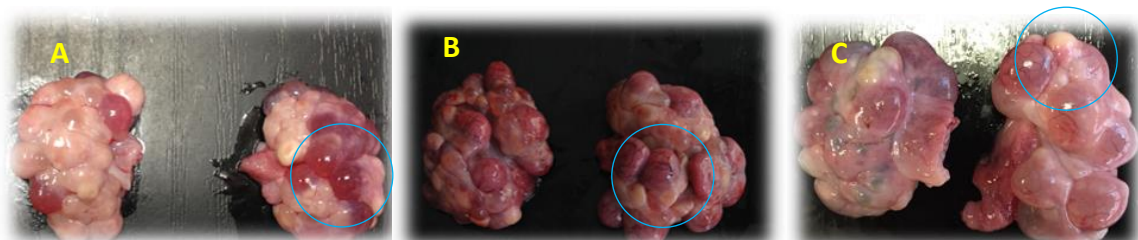


Figura 5: A, ovario con folículos en crecimiento; B, ovario con cuerpos lúteos; C, ovario con cuerpos *albicans* (Magapor, 2020)

El ciclo reproductivo de la cerda no solo está regulado por las hormonas reproductivas, sino que el hipotálamo, con la información que recibe del entorno exterior, el estado metabólico y

endocrino del animal puede modificar el ciclo sexual e incluso detenerlo (Fuentes Cintra et al., 2006). Mediante la aplicación de prácticas de manejo adecuadas, se puede conseguir mantener buenos parámetros reproductivos, pudiendo llegar a potenciarlos, como es el caso de la técnica “flushing” ampliamente utilizada. Se ha observado que el aporte extra de energía en la dieta favorece la tasa ovulatoria y la calidad del ovocito, obteniendo camadas más grandes y homogéneas.

Además, en la actualidad se dispone de numerosas investigaciones en las que se analizan las condiciones ideales para la cerda en cada estado reproductivo, comparando distintas estrategias e identificando la más eficiente. En base a estos estudios se pueden asignar dietas específicas que permitan mantener una buena condición corporal y resultados reproductivos, así como condiciones de temperatura y humedad adaptadas que reduzcan el riesgo de la aparición de estrés térmico, y finalmente, el diseño de terapias hormonales que permitan reducir los días no productivos y disminuir los efectos negativos de factores como la estacionalidad reproductiva (Ngula, 2016; Mallmann, Arend, et al., 2020; Vidal, 2020).

En el presente trabajo se va a realizar una revisión bibliográfica acerca de los procesos fisiológicos y endocrinos que ocurren durante el ciclo reproductivo de la cerda, especialmente durante el celo, y en el primer trimestre de gestación. Además, se pretende estudiar las posibles alteraciones que se pueden producir a causa del fallo de manejo (alimentación, temperatura, prácticas de sincronización de los celos, de inseminación artificial, entre otros), de la utilización de tratamientos farmacológicos y terapias hormonales, de la estacionalidad, entre otros. Todos estos factores que repercuten sobre la cerda, pueden determinar si se consiguen unas tasas de fertilidad y prolificidad adecuadas, por lo que analizar qué circunstancias son favorables y desfavorables, resulta de especial interés para alcanzar la eficiencia reproductiva esperada; según la genética de la cerda.

5 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El sector porcino es uno de los principales pilares en la industria agroalimentaria española. Se trata de un sector altamente competitivo que se encuentra en constante desarrollo y crecimiento con el objetivo de mejorar la producción reduciendo costes y sin alterar la calidad ni el bienestar animal. En la actualidad, se dispone de líneas genéticas hiperprolíficas muy rentables y eficientes económicamente, sin embargo, existen numerosos factores que pueden resultar perjudiciales, llegando a reducir su fertilidad, como la estacionalidad reproductiva, las condiciones ambientales (estrés térmico), o la nutrición inapropiada. Por ello, es necesario el estudio de las

prácticas de manejo que favorezcan el bienestar y el estado productivo de las reproductoras, permitiendo mejorar la rentabilidad y aumentar los beneficios.

En este trabajo se plantean los siguientes objetivos:

1. Revisar la bibliografía existente acerca de la fisiología y endocrinología del celo, la ovulación y el primer tercio de gestación de la cerda.
2. Analizar los factores externos que pueden favorecer o perjudicar los resultados reproductivos de las reproductoras.
3. Conocer qué condiciones de manejo se utilizan para mejorar los índices productivos y aumentar la eficiencia reproductiva en la actualidad
4. Descubrir el fallo reproductivo y sus consecuencias, cuando ocurre en el primer tercio de la gestación.

6 METODOLOGÍA

En el presente trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica centrada en el estudio de las características fisiológicas y endocrinas del ciclo reproductivo de la cerda, concretamente el celo, la fecundación y el primer tercio de la gestación, y de los factores externos implicados en su eficiencia. Para ello se ha efectuado una búsqueda en inglés y español a través de las bases de datos *Web of science*, *Scopus*, *PubMed*, *Google Scholar* y *ScienceDirect* que han permitido el acceso a artículos y libros asegurando su validez científica. Además, se han consultado libros cedidos por las tutoras, páginas webs divulgativas especializadas en el sector como *3tres3.com* y *porcicultura.com*, y revistas electrónicas como *Redvet* y *Anaporc*.

Para realizar la búsqueda se ha hecho uso de las siguientes palabras clave: *sow*, *swine*, *fertility*, *oestrus*, *follicular development*, *fertilization* y *embryonal development*. Con el objetivo de realizar una búsqueda más eficiente, se hizo uso de los conectores booleanos “AND”, “OR” y “NOT”, permitiendo especificar la información solicitada. Tras una primera recopilación de datos, se decidió acotar la búsqueda desde 2016 hasta la actualidad para poder disponer de información más actualizada y poder compararla con la bibliografía descrita anteriormente.

Finalmente, los recursos bibliográficos que se han empleado para la realización de este trabajo se han recopilado y organizado mediante el gestor de referencias Mendeley Reference Manager, a través del cual se han generado las citas y la bibliografía en el estilo APA.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 FISIOLOGIA Y ENDOCRINOLOGÍA REPRODUCTIVA

7.1.1 CICLO SEXUAL

El ciclo sexual es un proceso biológico que engloba todos los cambios fisiológicos, morfológicos y comportamentales que preparan a la cerda para la fecundación y el desarrollo embrionario (Quiles y Hevia, 2012). La cerda comienza su primer celo durante la pubertad influenciada por factores como la selección genética y la alimentación, éste es regulado por el sistema nervioso y el endocrino. A partir del comienzo de la actividad reproductiva de la hembra, va a presentar ciclos sexuales cada 21 días aproximadamente (Bahamonde, 2010 a), en los que se diferencian dos etapas, la fase folicular de 5 a 7 días (proestro y estro) y la fase luteal de 13 a 15 días (metaestro y diestro) (Figura 6) (Vidal, 2020).

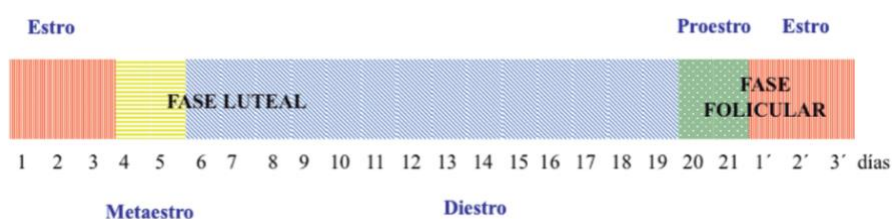


Figura 6: Representación gráfica de las fases del ciclo estral en la cerda, fase luteal (metaestro y diestro) y fase folicular (proestro y estro) (Quiles y Hevia, 2012).

PROESTRO

El proestro es el periodo de tiempo en el que se produce el crecimiento y la selección de los folículos destinados a la ovulación. Tiene una duración media de 2 a 3 días (Jiménez, 2021), aunque en el caso de las cerdas nulíparas este tiempo puede ser mayor (Carrión Moran, 2023). Con el proestro, tras reducirse los niveles plasmáticos de progesterona comienza la fase folicular, cesando su acción inhibitoria sobre el eje hipotalámico-hipofisario-ovárico (H-H-O). Seguidamente, la frecuencia de secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) por parte del hipotálamo aumenta, estimulando la liberación de FSH y LH de la adenohipófisis y se produce el desarrollo folicular (Ngula, 2016). En esta fase se seleccionarán entre 10 y 20 folículos dominantes (Jiménez, 2021) que aumentan de tamaño (7- 10 mm) formando el folículo terciario, que presenta más receptores de la hormona LH en las células de granulosa (Knox, 2019). El crecimiento folicular viene acompañado de un aumento de la producción de estrógenos (principalmente 17- beta estradiol) que van a provocar una serie de cambios morfológicos y comportamentales que prepararán a la cerda para el celo (Bahamonde, 2010 c; Quiles y Hevia, 2012).

ESTRO

También conocido como el celo, el estro es la fase del ciclo sexual en la que se produce la maduración de los folículos y la ovulación. Tiene una duración de 2 a 3 días, aunque en nulíparas tiende a ser más breve (Bahamonde, 2010 c). Entre el final del proestro y el inicio del estro, el aumento de estrógenos en sangre (60- 90 pg/ml) (Quiles y Hevia, 2012), provoca una retroalimentación negativa en el eje hipotalámico-hipofisario, reduciendo la liberación de FSH. Esta reducción va a detener la selección de nuevos folículos en crecimiento. Por el contrario, el continuo aumento de estrógenos retroalimenta positivamente el eje H-H-O, estimulando la secreción de LH. Esta hormona va a participar en la maduración de los folículos preovulatorios hasta que se alcanza el pico máximo de su concentración, desencadenando la ruptura de la pared folicular y la ovulación (Bahamonde, 2010 a; Quiles y Hevia, 2012; González et al., 2023; Quiles y Hevia, 2012). Las altas concentraciones de estrógenos producen cambios físicos y comportamentales en la cerda que permiten identificar la presencia del celo (Bahamonde, 2010 c; Quiles y Hevia, 2012; Ngula, 2016; Jimenez, 2021).

METAESTRO Y DIESTRO

El metaestro da comienzo a la fase luteal, caracterizada por el predominio de la progesterona sérica y la reducción de la concentración de estrógenos. Tiene una duración de 4 a 5 días durante los cuales se produce la formación del cuerpo hemorrágico o *rubrum* impulsada por la hormona LH (Ngula, 2016). Una vez se ha producido la ovulación, el folículo se colapsa y se llena de sangre. Mientras tanto, las células de la granulosa proliferan y se luteinizan comenzando la secreción de progesterona (P4) y dando lugar al cuerpo lúteo (Fuentes Cintra et al., 2006). Posteriormente, comienza el diestro progresivo, la etapa más larga del ciclo. Los cuerpos lúteos continúan secretando progesterona alcanzando su máximo (25- 30 ng/ ml (Quiles y Hevia, 2012) 8 o 9 días después de la ovulación (González et al., 2023). Esta hormona es la encargada de preparar el endometrio del útero para la correcta implantación del embrión asegurando su nutrición y supervivencia. Además, realiza una retroalimentación negativa sobre el hipotálamo, que reduce la frecuencia de la liberación de FSH y LH, y de esta forma se ve detenido el crecimiento folicular (Ngula, 2016; Vidal, 2020). En torno a los días 12- 16 del ciclo, si no se ha producido la fecundación, las prostaglandinas F2 α endometriales se dirigen a través de la vena uterina y la arteria ovárica al ovario para desencadenar la luteólisis (Gil Corbalán et al., 2009; Quiles y Hevia, 2012). La regresión del cuerpo lúteo implica la reducción de la concentración de progesterona, por lo tanto, el efecto inhibitorio sobre el hipotálamo desaparece retomándose la liberación de gonadotropinas y el desarrollo folicular.

A diferencia de otras especies como la vaca, en la que se presentan varias ondas de crecimiento folicular, en la cerda se produce un crecimiento continuo del folículo seleccionado hasta la ovulación (Vidal, 2020). Este desarrollo comienza al inicio de la fase luteal, donde se produce un aumento del número de folículos antrales de tamaño pequeño (1- 2mm) y mediano (3- 6 mm) fomentado por la secreción peri- ovulatoria de FSH (Guthrie y Cooper, 1996). Posteriormente, entre los días 5 y 7 del ciclo sexual (diestro progresivo) se manifiesta la atresia folicular, reduciendo dichas poblaciones hasta el 50 %, presentando un equilibrio entre folículos en crecimiento y atrésicos (Guthrie et al., 1995), como resultado de la acción inhibitoria sobre la liberación de gonadotropinas que produce la progesterona segregada por el cuerpo lúteo (Falceto, 2015). El día 12, se produce el reconocimiento de la gestación, en caso de que la cerda no quede gestante, se liberan prostaglandinas produciendo la regresión del cuerpo lúteo y comenzando el diestro regresivo. En torno al día 14, la concentración de progesterona ya ha disminuido y se produce el reclutamiento folicular (mayores de 4 mm), preparándose para el proestro y la ovulación. En ausencia de patología, el ciclo sexual se repite continuamente cada 21 días aproximadamente, deteniéndose únicamente durante la gestación y la lactación (Fuentes Cintra et al., 2006).

7.1.2 CELO

En la cerda, se denomina primer día del ciclo sexual al primer día de celo. La duración del celo en cerdas adultas puede variar entre 48 y 72 horas, sin embargo, en el inicio de la pubertad tiende a durar menos (24 horas) (Ngula, 2016). Se pueden observar tres periodos, en el primero (8 a 10 horas), la reproductora se deja montar por el resto de los cerdos, pero no presenta el reflejo de inmovilidad completo cuando se oprime el lomo, en el segundo, aproximadamente durante 40 horas, está presente el reflejo de inmovilidad completo, por lo que se deja montar por el macho y manipular por los operarios. Por último, pasado este tiempo, la cerda vuelve a rechazar las manipulaciones del operario a pesar de seguir aceptando al macho (Bahamonde, 2010 c). La ovulación sucede de manera espontánea durante el último tercio del celo, lo que convierte el segundo periodo en el momento idóneo para realizar la inseminación y obtener los mejores índices reproductivos.

7.1.3 FECUNDACIÓN

Una vez producida la ovulación, los ovocitos son captados por el oviducto alcanzando tras 30- 45 minutos el lugar donde se va a producir la fecundación, la unión istmo- ampolla (Quiles y Hevia, 2012). Tienen una vida fértil de 8 a 10 horas por lo que resulta de especial importancia realizar una correcta detección del celo y estimación del momento de la ovulación para obtener los máximos índices de prolificidad tras la inseminación. En el caso del espermatozoide, su vida útil

asciende de 34 a 72 horas, sin embargo, antes de realizar la fecundación debe llegar hasta el oviducto y pasar por un proceso de capacitación para poder fecundar al ovocito. Por ello, lo recomendable para obtener una mayor eficiencia reproductiva es realizar las inseminaciones previamente al momento de la ovulación (Ngula, 2016).

Una vez que el semen se ha depositado en el canal cervical, mediante las contracciones del miometrio uterino (favorecidas por la presencia de prostaglandinas presentes en el líquido seminal), los espermatozoides ascienden hasta el oviducto en menos de una hora (Rath et al., 2016). En el istmo tras la unión útero-tubárica, se “almacena” el reducido porcentaje de espermatozoides que ha conseguido alcanzar el oviducto formando un reservorio (Tienthai et al., 2004). A lo largo del oviducto se va a producir la capacitación del espermatozoide, donde se observarán: alteraciones en su membrana, aumento de su motilidad y la activación de las enzimas acrosómicas como la acrosina y la hialuronidasa (Betancourt et al., 1985) que le permitirán atravesar la membrana pelúcida del ovocito (Tienthai et al., 2004; Rodríguez-Martínez, 2007).

Entre 10 y 12 horas después de la inseminación, de 10 a 100 espermatozoides capacitados consiguen llegar a la unión istmo- ampolla impulsados por las células ciliadas de la superficie del oviducto y el líquido intraluminal (Bahamonde, 2010 d; Ngula, 2016). Solo un espermatozoide penetra en cada ovocito, fusionando sus respectivas membranas y formando el cigoto. Para evitar la penetración poliespermática, el ovocito sufre la “reacción cortical” en la que se liberan enzimas que alteran la estructura de la zona pelúcida volviéndola impermeable y asegurando una fecundación adecuada (Betancourt et al., 1985; Funahashi et al., 2000). Tras dos divisiones meióticas realizadas en los siguientes 2 o 3 días después de la ovulación, el cigoto está formado por 4 células y migra hacia el útero para poder continuar su desarrollo embrionario y dar comienzo a la gestación (Gil Corbalán et al., 2009).

7.1.4 PRIMER TERCIO DE LA GESTACIÓN

Tras la ovulación, se forma el cuerpo lúteo encargado de secretar progesterona (hormona clave para el mantenimiento de la gestación). Entre el día 12 y 16 del ciclo la pared del útero segrega prostaglandinas produciendo la regresión del cuerpo lúteo, cesando la liberación de progesterona y reiniciando al ciclo para preparar la siguiente ovulación (Gil Corbalán et al., 2009; Quiles y Hevia, 2012). Sin embargo, cuando se produce la fecundación, en torno al día 10 de gestación, los embriones secretan estrógenos que desvían la liberación de las prostaglandinas a la luz uterina evitando que lleguen al ovario a través de la red vascular y por consiguiente la luteólisis (*Figura 7*) (MSD Animal Health, 2017).

Si se ha hecho una buena detección del celo e inseminación (idealmente, 10 o 12 horas antes de la ovulación), se estima que la tasa de fecundación es del 90 % de los ovocitos (MSD Animal Health, 2017). No obstante, por razones de manejo, calidad del semen o patología este índice puede reducirse mucho, teniendo como consecuencia la reabsorción de los embriones, ya que, se necesitan al menos 4 embriones para evitar la luteólisis y poder continuar la gestación (Bahamonde, 2010 a). Además, se ha observado que durante el primer tercio de la gestación se produce el mayor porcentaje de abortos con una muerte embrionaria del 30-40 %, impulsada por numerosos factores como nutrición deficiente o desequilibrada, altas temperaturas o procesos infecciosos, entre otros; convirtiendo esta etapa en un periodo clave de manejo para obtener buenos índices reproductivos (Fuentes Cintra et al., 2006).

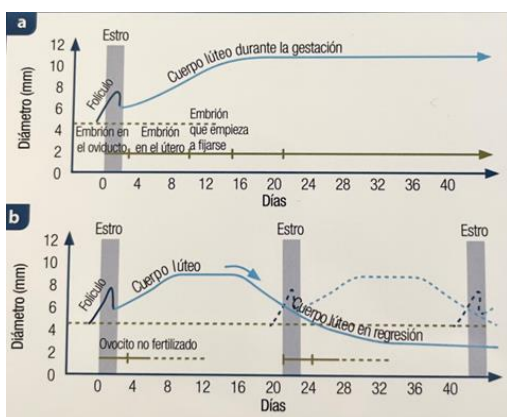


Figura 7: Variación hormonal de la progesterona durante el establecimiento de la gestación tras la ovulación (A) y a lo largo ciclo estral (B). Se observa la regresión del cuerpo lúteo en la gráfica B gracias a la acción de las prostaglandinas (disminución de la P4). En el caso de una fecundación exitosa, las prostaglandinas no llegan al ovario, y el cuerpo lúteo se mantiene a lo largo de la gestación (A) (Falceto, 2015).

En torno al día 7 de gestación los embriones se encuentran en estadio de blastocisto desplazándose hacia el cuerno uterino y se desprenden de su zona pelúcida (MSD Animal Health, 2017). Finalmente, entre los días 12 y 15 de gestación aproximadamente, se produce la elongación e implantación del blastocisto eclosionado en la pared del útero (González et al., 2023). Durante todo este proceso es esencial la presencia de la progesterona, ya que es la encargada de estimular la secreción de nutrientes por las glándulas endometriales para poder nutrir al embrión, inhibe las contracciones del miometrio y prepara el endometrio para la favorecer la implantación embrionaria (Ngula, 2016). Tras la selección del sitio de implantación, las células de la superficie del blastocisto (trofoblasto) se adhieren a las células del endometrio y proliferan formando las vellosidades coriónicas y comenzando el proceso de placentación. Dichas vellosidades establecen conexiones vasculares que van a permitir el suministro de nutrientes, oxígeno, y la expulsión de desechos entre el feto y la madre (Sanchis et al., 2012). En este proceso participan numerosas moléculas como las integrinas (procedentes tanto del embrión como del endometrio) que favorecen la adhesión y migración celular (Williamson et al., 2008) y las citoquinas, implicadas en la vascularización y regulación de los tejidos placentarios y en la regulación del sistema inmune (Giai et al., 2022). Junto a la acción de los estrógenos liberados por los trofoblastos (regula las integrinas y participa en la proliferación del endometrio)

y la progesterona, se terminará formando una placenta epiteliocorial, difusa, no invasiva capaz de nutrir y proteger al feto (sin paso de anticuerpos a los lechones) (Williamson et al., 2008).

7.2 FACTORES EXTERNOS IMPLICADOS EN LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DURANTE EL CELO, LA OVULACIÓN, FECUNDACIÓN Y EL PRIMER TERCIO DE LA GESTACIÓN

7.2.1 ALIMENTACIÓN

La alimentación es un factor estrechamente ligado al desarrollo reproductivo en la cerda y determinante de su éxito. El sector porcino tiene como objetivo la aplicación de dietas equilibradas que permitan optimizar al máximo la capacidad reproductiva de las cerdas manteniendo unos costes razonables. Para ello se han estudiado los requerimientos nutricionales de cada etapa reproductiva, elaborando estrategias nutricionales adecuadas para aumentar los índices de fertilidad y prolificidad, reduciendo los días no productivos (intervalos destete-estro cortos y pubertad precoz) (Almeida et al., 2020; Gianluppi et al., 2020).

Durante la lactación la cerda sufre una pérdida de condición corporal debido a la alta demanda metabólica que supone la producción de leche (presenta un desequilibrio energético negativo), por lo que se requiere adaptar su nutrición para recuperar las reservas perdidas. Este suceso repercute especialmente en primíparas, las cuales todavía deben dedicar parte de la energía consumida a su propio crecimiento. Además, se ha confirmado la importancia que tienen sus reservas energéticas para obtener buenos resultados, relacionando el espesor de la grasa dorsal (EGD) durante la lactación, con un buen desarrollo folicular en el siguiente celo. Se puede observar en la *Figura 8* que, en las primíparas, mayor EGD implica mayor tamaño folicular, obteniendo folículos de hasta 2 mm más de tamaño en las cerdas con un EGD alto, ≥ 18.0 mm, frente a las que tienen un EGD bajo, ≤ 13.5 mm (Pearodwong et al., 2020).

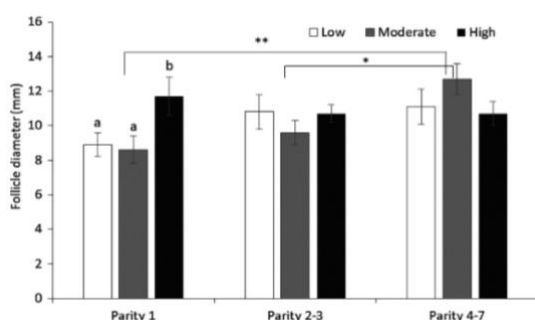


Figura 8: Relación existente entre el EGD (bajo (low), ≤ 13.5 mm, moderado (moderate), 14.0–17.5 mm y alto (high), ≥ 18.0 mm) durante la lactación y el diámetro folicular (Pearodwong et al., 2020).

Durante la lactancia es importante ofrecer a las reproductoras una dieta rica en energía (idealmente *ad libitum*), que evite el consumo de sus reservas corporales y permita la llegada al destete en buena condición corporal para obtener buenos resultados en el siguiente celo (Murcia et al., 2021). Se ha demostrado la relación positiva que existe entre la cantidad de

energía aportada en la dieta con la calidad folicular y la tasa de ovulación, haciendo hincapié en la fuente de energía que se utiliza (Ngula, 2016). Uno de los componentes de elección como fuente de energía en las dietas de cerdas lactantes o que se preparan para el celo es el almidón. El almidón es un hidrato de carbono soluble presente en numerosos alimentos como la cebada, el trigo el maíz y el sorgo. La elección del hidrato de carbono sobre la grasa animal o vegetal como fuente de energía resulta beneficiosa reproductivamente, ya que favorece la secreción de GnRH en el hipotálamo gracias a su aporte energético (buen estado metabólico y condición corporal) y fomenta la foliculogénesis gracias a su acción insulino-estimulante (Silva et al., 2017; Knox, 2023). El crecimiento folicular no solo está regulado por gonadotropinas, sino que se desarrolla a partir de la sinergia de numerosas sustancias como el factor de crecimiento IGF- 1 y la insulina (estimuladas por la dieta). Ambas hormonas actúan sobre las células de granulosa favoreciendo la proliferación celular y el crecimiento del folículo (Han et al., 2020). Además, incrementan la acción de las gonadotropinas potenciando sus receptores presentes en el folículo (Lucy, 2008). En las cerdas sometidas a una restricción alimentaria o que presentan una condición corporal deficiente durante el destete, se ha observado una reducción de la frecuencia de secreción de GnRH además de una disminución de la concentración de IGF- 1 e insulina plasmática, lo que puede derivar en intervalos destete-estro más largos y menor tasa de ovulación (Falceto et al., 2004; Knox, 2023). Aprovechando el efecto positivo que produce un aumento de la energía proporcionada con la dieta, se han desarrollado estrategias como el *flushing*, en la que se aumenta la cantidad de ingesta o la cantidad del aporte energético de la dieta durante un periodo corto de tiempo previo a la inseminación. Como resultado se observa, principalmente en primíparas, un aumento de la concentración de LH, IGF- 1 e insulina en sangre, incrementando la tasa de ovulación (Mallmann et al., 2020 b).

La dieta durante el primer mes de gestación ha sido objeto de debate, existiendo numerosos estudios y autores que afirman que un incremento de energía en la ingesta desencadena un aumento de la muerte embrionaria (Mallmann et al., 2020 a). En dichas revisiones, se relaciona un aumento del aporte energético con una disminución de la concentración de progesterona en la circulación sistémica (incrementa el flujo sanguíneo a través del hígado y aumenta la metabolización de la progesterona), derivando en mayor muerte embrionaria por déficit de progesterona (Prime & Symonds, 1993; Langendijk, 2021). Sin embargo, estudios más actuales, demuestran que las nuevas líneas genéticas de cerdas hiperprolíficas no desarrollan este efecto negativo sobre el desarrollo embrionario, incluso puede resultar positivo (Carrión-López et al., 2022). Como se observa en la *figura 9*, la administración de mayor cantidad de alimento durante el primer tercio de la gestación (3.750 kg/ día vs. 2,5 y 3,125 kg/ día), resulta en camadas más

grandes, con más lechones nacidos vivos y menos nacidos muertos, ya que favorece la restauración de las reservas energéticas pérdidas durante el catabolismo lactacional (especialmente en primíparas) (Carrión-López et al., 2022). Además, se ha observado que las reproductoras con una mayor ingesta (superior a la dieta de mantenimiento, > 1,8 Kg/ día (Mallmannn al., 2020a) durante la gestación temprana presentan aumento en la concentración de IGF- 1 e insulina, fomentando el desarrollo del cuerpo lúteo y por consiguiente mayor síntesis de progesterona, favoreciendo así, la supervivencia embrionaria (Langendijk, 2021). Esta contradicción en los resultados obtenidos en investigaciones recientes frente investigaciones pasadas se puede asociar a una evolución genética en las reproductoras utilizadas y a la mejora en las prácticas de manejo. Es por ello que nos encontramos frente a un constante estudio acerca de planes nutricionales, de inseminación y mejoras ambientales que permitan alcanzar una mayor eficiencia reproductiva. A pesar de estas nuevas evidencias que desmienten la importancia de la restricción alimentaria al inicio de la gestación, se requiere un mayor estudio del tema debido a la ausencia de una estrategia alimentaria ideal (Leal et al., 2019).

	Nivel de alimentación			
	I	II	III	
Tamaño de muestra, camadas totales	38	37	39	Figura 9: Comparación de los parámetros reproductivos obtenidos tras la administración de distinta cantidad de alimento a tres grupos de reproductoras durante el primer tercio de la gestación. El grupo I (2,5 kg/ día), el II (3.125 kg/ día) y el III (3.750 kg/ día). Tabla traducida de Carrión-López et al. (2022).
Tamaño de camada				
Nacidos totales	15.21	15.39	16.00	
Nacidos vivos	14.57	14.59	15.05	
Nacidos muertos	0.67	0.84	0.40	
Momificados	0.28	0.08	0.07	
Lechones vivos tras 72 h	13.99	13.37	13.60	
Peso de la camada				
Peso total de nacidos (kg)	22.92	22.46	22.14	
Peso medio de lechón nacido vivo (kg)	1.53	1.50	1.47	
Variación de peso entre camadas (%)	19.92	21.70	21.77	

7.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales en las que se encuentra la cerda son un factor clave que repercute de forma directa sobre la eficiencia reproductiva. Además, el ambiente, también puede influir de forma indirecta disminuyendo su bienestar, generando estrés y un aumento de especies reactivas de oxígeno (“ROS”), radicales libres generados por el estrés oxidativo, reduciendo la ingesta o facilitando la presencia de infecciones que finalmente desembocaran en una reducción de su capacidad reproductiva (Carrion, 2023).

La temperatura, especialmente en España donde disponemos de un clima bastante caluroso durante el verano, es un agente muy controlado dentro de las explotaciones porcinas. El cerdo es un animal homeotermo capaz de regular metabólicamente su temperatura mediante mecanismos de producción (metabolización de grasas) y de eliminación o reducción

(disminución de la ingesta) de calor (Zhao y Kim, 2020). Sin embargo, se trata de una especie especialmente susceptible a sufrir estrés térmico debido a la carencia de suficientes glándulas sudoríparas y por su alta deposición grasa corporal (Lothong et al., 2022). Se ha observado en numerosos estudios la repercusión que tiene la temperatura ambiente sobre la cerda reproductora (más de 25 °C, temperatura crítica superior y menos de 18 °C, temperatura crítica inferior) pudiendo influir negativamente sobre sus índices reproductivos (Gourdine et al., 2021). Evidenciando así la importancia del estudio y la identificación de los momentos de mayor riesgo de estrés térmico en la cerda y de las condiciones que pueden aumentar o disminuir las temperaturas críticas en cada explotación como el material del suelo, la velocidad del aire (reduce la sensación térmica), la humedad y la condición corporal de las reproductoras (Bahamonde, 2010 b; Gourdine et al., 2021).

Las condiciones de confort térmico para la cerda son de 18 a 20 °C con una humedad ambiental entre 60 % y 90 % y una velocidad de aire de 0,20 m/s (Falceto et al., 2004; Lothong et al., 2022). El momento en el que la reproductora presenta un mayor riesgo de sufrir estrés térmico es la lactación, ya que se encuentra en un ambiente más cálido adaptado a los lechones y además desprenden una mayor cantidad de calor por el gasto de energía generado durante la producción de leche (Zhao y Kim, 2020). La lactación es un periodo clave para la obtención de intervalos destete-estro cortos y el correcto desarrollo folicular. En caso de sufrir estrés térmico, la cerda puede limitar su ingesta, reduciendo las concentraciones de insulina, glucosa y factores de crecimiento (IGF-1) (Williams et al., 2013). Además, el estrés genera malestar, impulsando la liberación de ACTH (hormona adenocorticotrópica), que afectará negativamente a nivel hipotalámico-hipofisiario sobre la liberación de gonadotropinas. Debido a la reducción tanto de los metabolitos como de las hormonas FSH y LH se va a limitar el crecimiento folicular resultando en tasas de ovulación muy bajas e incluso en la aparición de anestro, aumentando el intervalo destete-estro y en el caso de las nulíparas, retrasando la pubertad (Falceto et al., 2004).

En cuanto a la gestación, no está claro si el estrés térmico durante el primer tercio gestacional repercute sobre el desarrollo fetal y el peso del lechón, pero sí que se ha observado una reducción en la proliferación y receptividad endometrial sobre el embrión. Este defecto dificulta la implantación embrionaria reduciendo la prolificidad (Adur et al., 2022; Lian et al., 2022). A medida que avanza la gestación, la cerda se vuelve más susceptible a sufrir estrés térmico por el aumento de su tasa metabólica y los mecanismos de regulación de calor (aumento de la respiración por minuto, vasodilatación, cambios de comportamiento y de postura) y por ello se pueden volver insuficientes (McConn et al., 2021). Como resultado se puede producir una insuficiencia placentaria acompañada de una reducción de la concentración de progesterona en

sangre. Ambas circunstancias dificultan el desarrollo fetal, obteniendo camadas más pequeñas y heterogéneas (Zhao et al., 2020).

Existen numerosos estudios que investigan los efectos negativos del estrés térmico, evidenciando que los resultados productivos de las cerdas gestantes y lactantes durante los meses de verano (junio- agosto) son menores que en los meses más fríos, obteniendo camadas menos homogéneas, más pequeñas, y mayor muerte embrionaria (Zhao y Kim, 2020). Hembras lactantes expuestas a temperaturas superiores a 27 °C durante los meses de julio, agosto y septiembre presentan intervalos destete-estro (derivado del estrés térmico) frente a cerdas expuestas a temperaturas más bajas (*Figura 10*) (Lida et al., 2021), y en las cerdas inseminadas durante dichos meses se observan tasas de parto inferiores a las inseminadas durante los meses de abril y noviembre con temperaturas más bajas (Liu et al., 2022). En otras investigaciones se ha realizado un seguimiento del crecimiento folicular tras la lactación en cerdas que sufren estrés térmico, evidenciando un menor tamaño de los folículos frente a las cerdas control en un ambiente termoneutral. Estos resultados, observados en la *figura 11*, reflejan el efecto negativo que hace un exceso de temperatura sobre el desarrollo folicular, disminuyendo su tamaño y calidad (Cabezón et al., 2017).

Variable	n	WSI, d	
		Sows exposed to <27 °C	Sows exposed to ≥27 °C
Köppen climate classifications ³			
Cfb ⁴	47	6.24 (0.13)	7.00 (0.17)
Csb ⁴	41	6.77 (0.15)	7.57 (0.20)
Cfa ⁴	27	6.23 (0.16)	6.98 (0.22)
Csa ⁴	17	6.59 (0.22)	7.50 (0.30)
BSk ⁴	10	6.22 (0.27)	6.83 (0.35)
Herd size, sows ⁵			
80–315	35	6.61 (0.16)	7.46 (0.21)
316–577	36	6.43 (0.15)	7.05 (0.20)
578–1,016	35	6.43 (0.15)	7.20 (0.21)
1,017–3,678	36	6.25 (0.15)	7.08 (0.20)

Figura 10: Número de días de intervalo destete-salida en celo que presentan reproductoras provenientes de distintos climas y tamaños de lotes, sometidas a temperaturas mayores y menores a 27 grados (Lida et al., 2021).

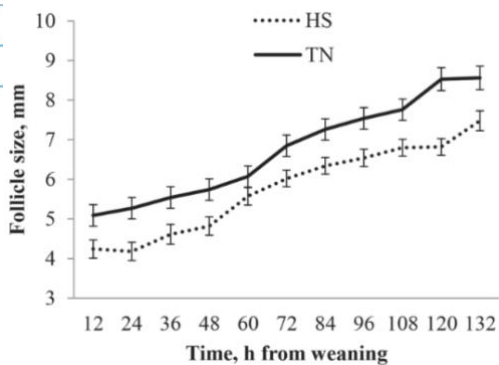


Figura 11: Crecimiento folicular durante las 132 horas posteriores al destete en cerdas con estrés térmico y en termo neutras (Cabezón et al., 2017).

Las condiciones de temperatura ambiental no solo van a repercutir sobre la capacidad reproductiva de la cerda, sino que junto a otras variables como la humedad y la composición del aire van a favorecer la proliferación y dispersión de numerosos patógenos que ponen en riesgo la salud de las reproductoras (Carrion, 2023). Los componentes más comunes que se pueden encontrar en las explotaciones son el polvo (importante vector de microorganismos y endotoxinas), el amoniaco (gas producido a partir de la orina y las heces), dióxido de carbono y

ácido sulfhídrico (fermentación de las heces) (Pedersen et al., 2005). Estos componentes pueden irritar las vías respiratorias, los ojos y la piel debilitando el sistema inmune y fomentando la infección con bacterias como estreptococos hemolíticos (Lühken et al., 2019 b). Con el objetivo de mantener un buen estado sanitario en la explotación es necesario implantar sistemas de ventilación para reducir los niveles de humedad, temperatura, concentración de gases irritantes y polvo que ofrecen las condiciones ideales de proliferación de patógenos. Además, se deben realizar buenas prácticas de higiene (retirar los desechos evitando la producción de gases y polvo) y hacer un estudio de los distintos tipos de suelo en función de su conductividad del calor (relacionado con el estrés térmico) e higiene (suelos o emparrillados de hormigón se asocian a mayor concentración de polvo en comparación con los slats de plástico) (Bahamonde, 2010 b; Lühken et al., 2019 a).

7.2.3 ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA

La cerda doméstica se ha seleccionado genéticamente obteniendo líneas hiperprolíficas muy eficientes, sin embargo, siguen presentando vestigios de la estacionalidad reproductiva heredada de su ancestro el jabalí (Falceto et al., 2004). Ésta se encuentra influenciada por el fotoperiodo y la temperatura durante los meses de verano y principios de otoño, se puede observar un retraso en la pubertad, aumento del intervalo destete-estro, mayor número de retornos al estro, una disminución de la tasa de partos o una disminución de la prolificidad, pudiendo llegar en algunos casos a la detención del ciclo reproductivo (De Rensis et al., 2017; Arend, 2021). En la *figura 12* se observan los resultados obtenidos por Liu et al. (2022), tras realizar una comparación entre el número de repeticiones de celo sufridos por dos poblaciones cubiertas en primavera y verano respectivamente. A los 30 días de la inseminación, casi un 5 % de las reproductoras cubiertas en verano repitieron el celo, frente al 3 % de las cubiertas en primavera, reflejando el efecto de la estacionalidad reproductiva. Como se ha comentado previamente, está demostrada la repercusión negativa que presenta el estrés térmico sobre la reproducción, incidiendo especialmente durante los meses de verano en el hemisferio norte. En el caso del fotoperiodo, su influencia se relaciona con la disminución de la producción de melatonina durante estos meses (Arend et al., 2019; Kuhl et al., 2023). La melatonina es una hormona con capacidad antioxidante segregada por la glándula pineal durante las horas nocturnas. En otras especies como los pequeños rumiantes y el jabalí, que sí presentan estacionalidad reproductiva, la melatonina actúa sobre el hipotálamo regulando la secreción de GnRH. En la cerda doméstica no está confirmado el mecanismo mediante el cual regula el ciclo sexual, sin embargo, se han encontrado receptores de esta hormona en las células de granulosa

del folículo y en el ovocito, sugiriendo la hipótesis de que actúe directamente sobre el desarrollo folicular y embrionario (Arend y Knox, 2021).

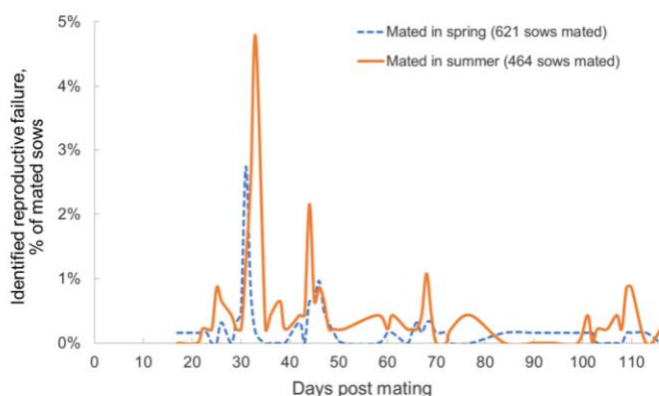


Figura 12: Porcentaje de repeticiones de celo (fallo reproductivo), que se producen en función de la época del año en la que se ha realizado la cubrición (línea azul cubiertas en primavera y línea naranja en verano) (Liu et al., 2022).

7.3 CONDICIONES DE MANEJO EMPLEADAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA

7.3.1 SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS

Para mantener una buena condición corporal y capacidad productiva, se administran dietas adaptadas a los requerimientos energéticos de las reproductoras. Por otro lado, se ha observado que mediante la adición de suplementos en la dieta se puede potenciar la acción o reducir el efecto negativo que ejercen algunas sustancias sobre el desarrollo folicular o embrionario, permitiendo alcanzar mejores parámetros reproductivos (Lugarà et al., 2022). Sustancias como la homocisteína, es un aminoácido derivado de la metionina, presente en las proteínas de los alimentos, se ha observado que puede presentar efectos perjudiciales sobre el desarrollo embrionario (inhibe la proliferación celular y produce alteraciones neurodegenerativas y cardiovasculares) y la placentación, resultando en camadas más pequeñas y con menor peso en el parto, cuando se encuentra una alta concentración de esta sustancia en la alimentación, en numerosas especies, incluida la porcina. El organismo dispone de dos formas de eliminación: mediante su metabolización o reconvirtiéndola en metionina, ambas vías son dependientes de la vitamina B6, B2, B12 y el ácido fólico (Gaiday et al., 2018; Bruun et al., 2024). Estas sustancias se encuentran disponibles de forma natural en la alimentación de las reproductoras, sin embargo, en algunos casos no se realiza correctamente su absorción o resulta insuficiente (el contenido de la vitamina en el alimento no es su disponibilidad real), por lo que por lo que es beneficiosa una suplementación en la dieta principalmente durante la gestación. En la actualidad, uno de los principales suplementos usados en la dieta de las reproductoras es el ácido fólico (vitamina B9). Se han demostrado su importancia y beneficios sobre la supervivencia y el desarrollo embrionario, por su función antioxidante (metilación de la homocisteína) y por su

participación en la síntesis celular (regulación mitocondrial, síntesis de proteínas y ADN) (Quisirumbay Gaibor, 2019), convirtiéndolo en uno de los suplementos de elección especialmente en cerdas hiperprolíficas que tienen camadas más grandes, y por tanto, mayor muerte embrionaria o menor peso de los lechones en el momento del parto y en cerdas nulíparas con índices de prolificidad más bajos (Bruun et al., 2024).

Durante el estro, la gestación y la lactación debido a la alta tasa metabólica y actividad mitocondrial se produce un exceso de “ROS”. La acumulación de estos radicales libres induce a la aparición de estrés oxidativo, conocido por sus efectos perjudiciales sobre el desarrollo folicular (ovocitos de mala calidad), la fecundación y la supervivencia embrionaria y fetal (Dalto et al., 2016; Li et al., 2022). Mediante la suplementación alimentaria de antioxidantes como las vitaminas C y E o minerales como el selenio, se consigue la neutralización de estas moléculas evitando su repercusión negativa sobre la reproductora durante el periodo peri-ovulatorio y la gestación temprana (Dalto et al., 2015). En el caso del selenio, para realizar su función antioxidante actúa como cofactor de una enzima denominada glutatión peroxidasa. Además, numerosos estudios evidencian los beneficios del uso de selenio orgánico (selenometionina, puede almacenarse en el organismo) frente al inorgánico (selenita, riesgo de toxicidad), ya que presenta una mayor capacidad de absorción intestinal y placentaria aportando protección antioxidante tanto a la reproductora como a los fetos (riesgo de sufrir estrés oxidativo durante el parto) (Surai y Fisinin, 2016; Falk et al., 2020; Mou et al., 2020). Otra vitamina de interés gracias a su capacidad antioxidante es la vitamina A. Además de su potencial redox, esta vitamina liposoluble, estimula el sistema inmunitario y es esencial durante todos los procesos reproductivos, desde el desarrollo folicular (favorece la proliferación de las células de granulosa) hasta la formación de los órganos del feto. Sin embargo, para aprovechar todo su potencial aumentando su efectividad, es aconsejable su administración inyectada principalmente durante el pre-celo y celo y el primer mes de gestación, ya que se han visto mejoras sustanciales en el número de lechones nacidos vivos respecto su suplementación vía oral (Whaley et al., 2000; Lindemann et al., 2008; Shastak y Pelletier, 2023).

La suplementación extra de nutrientes como los carbohidratos, aumentando el aporte de energía de las dietas, es una estrategia utilizada para compensar los efectos perjudiciales de factores como el estrés térmico y la estacionalidad reproductiva. Plush et al. (2019), mediante la adición de un 5 % más de dextrosa en la dieta durante el periodo destete-salida en celo (ya que estimula la concentración de insulina e IGF- 1), consiguieron aumentar 0,4 lechones nacidos vivos por reproductora compensando los efectos de la estacionalidad. También, se pueden obtener notables beneficios con la suplementación de aminoácidos como la arginina, que actúa

eficazmente como estimulante de IGF- 1 y favorece el desarrollo folicular y la calidad de los ovocitos (Han et al., 2020). Además, sus metabolitos (óxido nítrico y poliamidas) participan en los procesos de angiogénesis, promoviendo la placentación y el desarrollo embrionario. Al favorecer la vascularización de la placenta, se mejora la transmisión de nutrientes y oxígeno al embrión resultando en mayor supervivencia embrionaria y camadas más grandes (Palencia et al., 2018; Luise et al., 2020). En la *figura 13* se muestran los resultados obtenidos en un estudio realizado por Luise et al. (2020) tras la suplementación de un 0,25 % más de arginina durante la gestación, se observa que la suplementación ha producido beneficios en el total de lechones nacidos vivos, aunque también, en los nacidos muertos frente a los resultados obtenidos de la población de cerdas control.

	CON	ARG
Total de nacidos vivos	12.58	13.40
Nacidos muertos	0.76	0.96
Nacidos totales	13.39	14.43
Momificados	1.37	1.56
Lechones muertos día 0-día 3	1.07	0.84
Lechones muertos día 0-día 27	1.64	1.53
Destetados	10.97	11.45
Nacidos muertos/ nacidos totales (%)	5.73	6.75
Momificados/ nacidos totales(%)	9.35	9.82
Lechones muertos día 0-día 3/ totales (%)	8.32	6.84
Lechones muertos día 0-día 27/ totales (%)	13.05	12.41

Figura13: Resultados reproductivos obtenidos tras la suplementación de un 0,25 % más de arginina en la dieta, en comparación con los obtenidos por el grupo control (sin suplementación). Tabla traducida de Luise et al., (2020).

7.3.2 ESTRATEGIAS PARA COMPENSAR LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA

En la actualidad, con el objetivo de reducir los efectos de la estacionalidad reproductiva se aplican estrategias como el uso de sistemas de ventilación y refrigeración que mantengan a las reproductoras en su temperatura de confort (18-20 °C), la adaptación a dietas más energéticas cuando las cerdas no quieren comer o la adición de suplementos alimenticios que permitan compensar la disminución de los parámetros reproductivos durante el verano (Peltoniemi y Virolainen, 2006; Plush et al., 2019). En el caso de las hembras nulíparas y primíparas (mayor incidencia de la estacionalidad respecto a las múltiparas cíclicas), para evitar que se retrase la pubertad, y que el intervalo destete-salida en celo se prolongue, se puede hacer uso de tratamientos hormonales como las gonadotropinas (400 UI de eCG y 200 UI hCG combinadas) para estimular el desarrollo folicular e inducir la salida al celo (Arend y Knox, 2021; De Rensis et al., 2017).

Se ha observado que realizando estas modificaciones de manejo durante los meses de fotoperiodo decreciente (verano y comienzos de otoño), la eficiencia reproductiva mejora, pero no tanto como cuando se aplican durante el fotoperiodo creciente (invierno y primavera). Este hecho demuestra que a pesar de que la infertilidad estacional sea multifactorial, su causa

determinante es el fotoperiodo (Chokoe y Siebrits, 2009; Plush et al., 2019). Por ello también se han comenzado a utilizar otras estrategias como programas de iluminación y la suplementación de melatonina durante los meses de fotoperiodo largo en los que la síntesis de esta hormona es más baja (menos horas de oscuridad) (Arend y Knox, 2021; Peltoniemi y Virolainen, 2006). Mediante tratamientos de melatonina oral se ha conseguido incentivar el desarrollo folicular y aumentar la supervivencia embrionaria (80,9 % con suplementación de 5 mg vs. 72,6 % sin suplementación) (Arend y Knox, 2021). Aunque se ha evidenciado su potencial, se requiere un mayor estudio de su repercusión, pudiendo causar un desequilibrio en la cantidad de radicales libres mínima necesaria debido a su capacidad antioxidante, impidiendo la correcta función folicular (Arend et al., 2019).

7.3.3 MÉTODOS DE DETECCIÓN DEL CELO

La correcta detección del celo es esencial para realizar en el momento adecuado la inseminación y que la cubrición sea exitosa. Una identificación errónea podría suponer desde una disminución del tamaño de la camada hasta la repetición del celo de la reproductora, resultando en mayores costes reproductivos (Sharifuzzaman et al., 2024). Es importante que el personal que realice la tarea tenga suficientes conocimientos y experiencia que le permitan identificar las características físicas y de comportamiento típicas del celo (Song et al., 2024). Para ello, generalmente se va a utilizar un verraco entero de más de un año (macho recela) que presente alta libido (alta secreción de feromonas) y se va a pasear frente a un grupo reducido de reproductoras colocadas individualmente en jaulas que permitan recibir estímulos táctiles, olfativos y auditivos durante la interacción (*Figura 14*).

En las cerdas vamos a observar la vulva edematizada e inflamada, encontrándose inquietas y en estado de alerta. Cuando el macho pasa frente a ellas, si están en celo, adoptan postura de lordosis, con las orejas erguidas (*Figura 15*), olfatean y emiten gruñidos, además presentarán reflejo de inmovilización (Kemp et al., 2005; Falceto et al., 2017). Se recomienda que el encuentro se realice dos veces al día durante aproximadamente 15 minutos, permitiendo que la reproductora interactúe con el macho. La respuesta es diferente en ausencia de estímulos del macho (solo el 50 % desarrollan el reflejo con el operario), mientras que cuando se produce una interacción con el macho, el reflejo de inmovilidad lo presentarán el 100 % de las cerdas en celo, quedándose quietas y permitiendo que el operario se suba ejerciendo presión sobre la región de la grupa (*Figura 16*) (Quiles y Hevia, 2012).



Figura 14: Macho recela realizando un procedimiento de detección del celo. Pasea frente a las cerdas, interactuando auditiva, olfativa y visualmente (Quiles y Hevia, 2012).



Figura 15: Procedimiento de detección del celo, la reproductora está pendiente del verraco, alerta con las orejas erguidas (Falceto et al., 2017).



Figura 16: Operaria comprobando si la cerda presenta reflejo de inmovilización. La cerda se queda inmóvil, evidenciando que se encuentra en celo (Falceto et al., 2017).

7.3.4 TRATAMIENTOS FARMACOLÓGICOS

7.3.4.1 MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN DEL CELO

Mediante el uso de tratamientos hormonales se puede sincronizar la salida en celo de las reproductoras permitiendo su agrupación en bandas y permitiendo una gestión del trabajo más eficiente y sencilla para los operarios. Las hormonas de elección son los progestágenos, concretamente el altrenogest (Pallás, 2022). Se trata de un análogo sintético de la progesterona de administración oral. Se utiliza una dosis de 20 mg/ día y en cuanto a la longitud del tratamiento, va a depender de si se conoce el momento del ciclo sexual en el que se encuentra la cerda. En caso de que se desconozca, se debe suministrar durante 18 días seguidos para evitar la posible presencia de progesterona endógena cuando se termina el tratamiento. Finalmente, el celo aparecerá entre 4 y 6 días después de tomar la última dosis (Quiles y Hevia, 2012; Pallás, 2022). Para potenciar el efecto y asegurar la salida en celo, se puede combinar el uso de altrenogest con gonadotropinas.

En un estudio en el que se realizó la administración de 500 UI de hCG (hormona coriónica humana) 72 horas después de inyectar intramuscularmente 800 UI de eCG (gonadotropina coriónica equina), en un grupo de cerdas que tras 15 días post- destete todavía no habían salido en celo. Se obtuvo un 86,4 % de eficacia tras 96 horas de su administración, a diferencia del grupo control (ausencia de tratamiento hormonal) que obtuvo únicamente un 25 % evidenciando la efectividad del uso de gonadotropinas exógenas (Kadirvel et al., 2017). Además, en otra investigación, tras la administración de 400 UI de eCG y 200 UI hCG 4 días antes del destete y seguidamente una dosis extra de 750 UI hCG, se observó un aumento del desarrollo

folicular, incluso durante la lactación. Las reproductoras tratadas presentaron intervalos destete-salida en celo más cortos (1,1 días vs. 5,1), presencia de folículos de tamaño más grande antes de realizar el destete y celos más largos que las del grupo control (De Rensis et al., 2003). En cuanto a la comparación entre distintos protocolos en los que se diferencia la dosis administración de gonadotropinas tras el destete, se plantearon 2 grupos de reproductoras multíparas. El grupo 1 fue tratado con 400 UI de eCG y 200 UI hCG y el grupo 2 con 300 UI de eCG y 150 UI hCG. En investigación se observó que reduciendo la dosis de gonadotropinas se podía alcanzar el celo eficazmente (el porcentaje de cerdas en celo con menor dosis en este estudio realizado en la India fue ligeramente mayor, aunque sin diferencias significativas entre ellos 80 % vs. 87,5 % y $p > 0,05$), permitiendo hacer uso de menos dosis y disminuir los gastos económicos (Singh et al., 2023). Se requiere más investigación sobre la utilización de dosis más bajas de gonadotropinas (ausencia de comercialización de esta combinación de hormonas en Europa).

7.3.4.2 METODOS DE INDUCCIÓN DE LA OVULACIÓN

Mediante la aplicación de inseminaciones artificiales a tiempo fijo (IATF), se consigue la “sincronización” de los partos, permitiendo una mejor gestión, optimizando la labor de los trabajadores y una menor variación de edad y peso entre los lechones nacidos. Es necesario conocer el momento de la ovulación para poder realizar la cubrición 24 horas antes, para ello, lo ideal es su inducción mediante tratamientos hormonales. Además, la implantación de estas estrategias permite la realización de una única inseminación, reduciendo tiempo de trabajo, mano de obra y costes económicos (Knox et al., 2018; Rodrigues et al., 2020; Suárez-Usbeck et al., 2021). Las hormonas de elección son hCG, pLH (LH porcina) y los análogos de la GnRH, capaces de inducir la ovulación aproximadamente 38–40 horas después de su administración (Knox, 2015; De Rensis y Kirkwood, 2016).

Con el objetivo de comparar dos protocolos de inducción de la ovulación, se formaron 3 grupos de reproductoras tratadas durante 14 días con altrenogest. Al grupo 1 se le administró 600 UI de eCG, 24 horas después de terminar el tratamiento de progestágenos; 80 horas después, recibieron 5 mg de pLH y tras 36 horas, se realizó la inseminación artificial. Al grupo 2 se le administró 2 ml de triptorelina; 6 días después de terminar el altrenogest y tras 24 horas, se inseminaron. Finalmente, el grupo tres actuó como grupo control sin recibir tratamiento, una vez aparecieron los signos del celo fueron inseminadas una vez y tras 24 horas se volvieron a inseminar. En lo que a sincronización de partos se refiere, el grupo 1 obtuvo los mejores resultados, además produjo lechones hasta 80 gramos más pesados. El grupo control obtuvo el mayor porcentaje de lechones de bajo peso (26 % vs. 14 % y 17 %) y los partos duraron hasta un

día y medio más, sin embargo, tuvo una tasa de partos 14 % superior a los grupos con tratamiento (Rodrigues et al., 2020). Se ha observado que mediante el uso de análogos de GnRH como triptorelina y la buserelina para tratamientos de sincronización de la ovulación, se consiguen camadas de mayor peso gracias al desarrollo de ovocitos y cuerpos lúteos de mayor calidad e intervalos entre partos más cortos permitiendo una mejor gestión del trabajo en la granja. Como efecto negativo pueden reducir un poco la prolificidad produciendo camadas de menor tamaño (Martinat-Botté et al., 2010; Rodrigues et al., 2020; Vidal, 2020), aunque otros autores no han encontrado estas diferencias (Falceto et al., 2023; Suárez-Usbeck et al., 2021).

7.3.4.3 *MÉTODOS DE MANTENIMIENTO DE LA GESTACIÓN*

Como ya hemos comentado previamente, la progesterona es una hormona fundamental para el mantenimiento de la gestación ya que inhibe el crecimiento folicular impidiendo la salida de la cerda en celo y prepara el útero para recibir el embrión y fomentar su crecimiento. Por ello, se pueden utilizar progestágenos durante la gestación, como tratamiento para favorecer el desarrollo embrionario y retrasar el momento del parto (Pallás, 2022).

La tasa de ovulación que ofrecen las nuevas líneas genéticas prácticamente ha duplicado a las obtenida un par de décadas atrás, por el contrario, el número de lechones nacidos no ha aumentado en la misma proporción, evidenciando el alto porcentaje de pérdida embrionaria y fetal que todavía existe (Muro et al., 2022). Para ello, se utilizan múltiples estrategias como los tratamientos hormonales para reducir la mortalidad embrionaria especialmente durante los momentos de más riesgo como el periodo de perimplantación embrionaria. Recientemente, se han demostrado los efectos positivos de la administración de altrenogest en las reproductoras a partir del día 6 de gestación, obteniendo un aumento de lechones nacidos vivos y de mayor peso gracias a la estimulación de la secreción de nutrientes y factores de crecimiento en el lumen uterino (Muro et al., 2020, 2021). Muro et al. (2022) demostraron que tras la administración de 20 mg/día de altrenogest entre los días 6 y 12 tras la cubrición, se producía un aumento de 0,8 lechones nacidos vivos por reproductora y un 21 % menos de lechones de menos de 800 g de peso vivo al nacer, señalando también, el incremento en la concentración de IGF- 1 en el día 13 y un mayor peso placentario respecto a las no tratadas (Figura 17). Sin embargo, existe controversia con respecto a la aplicación de progestágenos antes del cuarto día de gestación, ya que puede producir un descenso temprano de los embriones al útero, encontrando un espacio todavía “hostil”, el cual no está preparado para la implantación y la nutrición del embrión. Como resultado, se puede observar un descenso de la supervivencia embrionaria o una disminución del peso de los lechones en el momento del parto (Mao y Foxcroft, 1998; Soede et al., 2012).

Variable	CON ¹	ALT ²
Número de hembras	163	138
Número de parto	3.4 ± 0.2	3.2 ± 0.2
Intervalo destete-estro	4.3 ± 0.1	4.3 ± 0.1
Tasa de partos (%)	94.3 ± 2.61	93.2 ± 2.62
Total de lechones nacidos	16.6 ± 0.36	17.3 ± 0.37
Nacidos vivos	14.8 ± 0.34	15.6 ± 0.36
Nacidos muertos (%)	7.6 ± 0.58	5.9 ± 0.56
Momificados (%)	2.4 ± 0.39	3.2 ± 0.40
Peso de placenta (kg)	3.8 ± 0.15	4.2 ± 0.15
Peso total de la camada (kg)	20.7 ± 0.45	21.3 ± 0.46
Peso medio tras el parto (kg)	1.288 ± 0.02	1.293 ± 0.02
Lechones nacidos con <800 g (%)	8.0 ± 0.60	6.6 ± 0.56

Figura 17: Los resultados obtenidos tras la administración de 20 mg/día durante los días 6 y 12 de gestación, comparados con los obtenidos en el grupo control. Tabla traducida de Muro et al., (2022).

7.4 FALLO REPRODUCTIVO

El fallo reproductivo en la cerda puede ser resultado de esterilidad (imposibilidad de reproducirse), infertilidad (dificultad para reproducirse) y subfertilidad (puede reproducirse, pero por debajo de capacidad reproductiva) (Falceto et al., 2005) y se manifiesta principalmente con anestro (ausencia de celo), repeticiones del celo tras la cubrición (incidencia media de 10 %) y en abortos. Como resultado, se observará un aumento de los días no productivos y un incremento de la tasa de reposición en la granja (Vargas et al., 2009; Osotsi et al., 2024).

La disminución de la fertilidad se debe a diversas causas como los factores externos comentados previamente: la alimentación deficiente (mala condición corporal), condiciones ambientales y calidad del aire inadecuadas (estrés térmico), la estacionalidad reproductiva y el momento de la inseminación (idealmente 12 horas antes de la ovulación) (Ngula, 2016). También puede deberse a una patología en el aparato reproductor: en el ovario (quistes ováricos), fallo en la ovulación y en el mantenimiento de la gestación (bajos niveles de progesterona); en el oviducto, fallo en la fecundación; y en el útero, dificultad en la implantación y supervivencia embrionaria.(Falceto et al., 2005).

Otra causa relacionada con el fallo reproductivo es la presencia de infecciones y secreciones vaginales (síndrome de la “cerda sucia”), de origen vaginal (vaginitis) o uterina (endometritis) (Osotsi et al., 2024). La patología puede aparecer tras el parto o tras la inseminación. En el primer caso, se observa una alteración en el color de las secreciones y un aumento de cantidad o duración indicando una posible infección, que no si se cura podría producir un fallo reproductivo en el siguiente celo. Las cerdas reproductoras con varios partos previos (más de 3 o 4 partos), son más susceptibles de desarrollar endometritis debido a la disminución de protección inmunitaria sufrida con la edad.

El síndrome de la “cerda sucia” también aparece tras la cubrición de las reproductoras. Durante la inseminación, el operario puede contaminar el catéter de inseminación y la muestra seminal con patógenos provenientes del ambiente, las heces e incluso de sus propias manos, generando

una infección uterina. Las cerdas presentarán inflamación de la mucosa uterina (*figura 18*) y secreción vaginal de aspecto purulento (*figura 19*) o hemorrágico.

La realización de inseminaciones tardías (tras la ovulación) no solo reduce la tasa de fecundación, sino que aumenta la posibilidad de infecciones debido al aumento de progesterona circulante la cual tiene efecto inmunosupresor que favorece la implantación de los embriones, pero aumenta el riesgo de colonización bacteriana (Falceto et al., 2005; Grahofer et al., 2020; Osotsi et al., 2024). Estas circunstancias dificultarán la fecundación y el mantenimiento de la gestación, resultando en reabsorción embrionaria y en repeticiones del celo.



Figura 18: Útero con abundante contenido purulento y endometrio hiperémico (Falceto et al., 2005).



Figura 19: Presencia de descarga vaginal purulenta y costras en la superficie vulvar (Grahofer et al., 2020).

Las repeticiones del celo tras la cubrición es un fenómeno que tiene una mayor incidencia en las hembras primíparas, además, las cerdas que ya han repetido el celo con anterioridad son susceptibles de volver a hacerlo en el mismo o los siguientes ciclos reproductivos, siendo recomendable su vigilancia (Koketsu et al., 2017). En función de los días que tarda en aparecer el siguiente celo se considera regular o irregular.

La repetición del celo regular sucede entre 18 y 24 o 36 y 48 días tras la cubrición y se puede deber a la presencia de ovocitos y semen de mala calidad, error en el momento de la inseminación con respecto a la ovulación, fallo en la fecundación o muerte embrionaria temprana (Tummaruk et al., 2010).

En caso de repetición del celo irregular, puede ser temprano (11- 17 días post-cubrición), que normalmente están asociados a una mala detección del celo o a la presencia de quistes ováricos (quiste folicular y cuerpo lúteo quístico) y son producidos por un desequilibrio hormonal (estrés, administración de hormonas sexuales a cerdas cíclicas, desincronización en la liberación de FSH y LH impidiendo la ovulación). También, se denomina repetición del celo irregular cuando se produce entre los 25 y 38 primeros días de gestación o cuando aparece tras los 48 días, es decir, retorno irregular tardío, ambos asociados a la muerte y absorción embrionaria o fetal (aborto). (Falceto et al., 2005; Vargas et al., 2009).

8 CONCLUSIONES

1-El desarrollo folicular, la ovulación, la fecundación, la implantación y el desarrollo embrionario son procesos endocrino-dependientes. Sin embargo, son influenciados por factores como la nutrición, las condiciones ambientales y la estacionalidad reproductiva.

2-La alimentación es un factor determinante de la eficiencia reproductiva. La administración de dietas ricas en energía, idealmente aportada a través de nutrientes insulino-estimulantes como los hidratos de carbono, se relaciona con tasas de ovulación más altas y mayor calidad folicular y supervivencia embrionaria. En cambio, la aplicación de dietas deficientes resulta en un intervalo destete-salida al celo más largo y de menor prolificidad.

3-La aplicación del *flushing* y la suplementación alimentaria puede potenciar la capacidad productiva de las cerdas, estimulando la secreción de insulina e IGF-1 y reduciendo los efectos perjudiciales producidos por la acumulación de sustancias como la homocisteína y los radicales libres

4-La cerda es un animal muy susceptible de sufrir estrés térmico, condición que influye negativamente sobre su eficiencia reproductiva. La estacionalidad reproductiva, manifestada principalmente en las cerdas nulíparas y primíparas, coincide con el fotoperiodo de días cortos durante los meses de verano y otoño en los que hay menor secreción de melatonina, observándose retrasos en la pubertad, un aumento de repeticiones de celo y una reducción de la prolificidad.

5-El control de la temperatura y la aplicación de sistemas de ventilación e iluminación, pueden compensar el estrés térmico, el estrés oxidativo y los efectos negativos de la estacionalidad reproductiva.

6-La aplicación de protocolos de sincronización del celo han permitido la agrupación de las reproductoras en bandas de cubriciones, optimizando la carga de trabajo y aumentando su eficiencia reproductiva. El uso de gonadotropinas induce la salida en celo en las épocas de anestro estival reduciendo el fallo reproductivo. La utilización de análogos de la GnRH para inducir la ovulación permite la realización de una única inseminación por cada cerda, con una reducción de costes y mejor organización del trabajo.

7-El fallo reproductivo en la cerda se manifiesta principalmente en forma de anestro, repeticiones del celo y abortos, resultando en un aumento de los días no productivos, incremento de la tasa de reposición y de los costes en la granja. Existen numerosas causas que impiden alcanzar el éxito reproductivo como la presencia de infecciones y desequilibrios

hormonales, por ello es esencial mantener un buen control sanitario de las reproductoras y aplicar buenas prácticas de manejo.

CONCLUSIONS

1-Follicular development, ovulation, fertilization, implantation, and embryonic development are endocrine-dependent processes. However, they are influenced by factors such as nutrition, environmental conditions, and reproductive seasonality.

2-Nutrition is a determining factor in reproductive efficiency. The administration of energy-rich diets, ideally provided through insulin-stimulating nutrients like carbohydrates, is associated with higher ovulation rates, better follicular quality, and higher embryonic survival. Conversely, the application of deficient diets results in a longer weaning-to-estrus interval and lower prolificacy.

3-The application of flushing and dietary supplementation can enhance the productive capacity of sows by stimulating the secretion of insulin and IGF-1 and reducing the harmful effects caused by the accumulation of substances like homocysteine and free radicals.

4-The sow is an animal very susceptible to heat stress, a condition that negatively affects its reproductive efficiency. Reproductive seasonality, manifested mainly in gilts and primiparous sows, coincides with the short-day photoperiod during the summer and autumn months when there is lower melatonin secretion, leading to delays in puberty, an increase in return to estrus, and a reduction in prolificacy.

5-Controlling temperature and applying ventilation and lighting systems can compensate for heat stress, oxidative stress, and the negative effects of reproductive seasonality.

6-The application of estrus synchronization protocols has allowed the grouping of breeders in batches, optimizing the workload and increasing their reproductive efficiency. The use of gonadotropins induces estrus during periods of summer anestrus, reducing reproductive failure. The use of GnRH analogs to induce ovulation allows for a single insemination per sow, reducing costs and better organizing the work.

7-Reproductive failure in sows is mainly manifested in the form of anestrus, returns to estrus, and abortions, resulting in an increase of non-productive days, replacement rate, and farm costs. There are numerous causes that prevent achieving reproductive success, such as infections and hormonal imbalances. Therefore, it is essential to maintain good health control of breeders and apply good management practices.

9 VALORACIÓN PERSONAL

La realización de este trabajo de fin de Grado podría describirse como una experiencia muy enriquecedora tanto a nivel académico como personal. Ha sido muy interesante poder profundizar más acerca de esta rama de la veterinaria sobre la que apenas se estudia durante la carrera universitaria en comparación a otras especies como el perro y el gato. Además, gracias a la búsqueda de novedades y bibliografía actual, he podido actualizar mis conocimientos en esta especialidad; permitiéndome formar una base de conocimientos amplia y sólida sobre el tema. Tras la realización de esta revisión, he sentido mucha satisfacción de haber conseguido llevar a cabo esta labor de investigación y entendimiento de la materia por mí misma, utilizando las herramientas aprendidas durante los últimos 5 años de Grado de Veterinaria. A nivel personal, he aprendido a administrar mi tiempo, logrando equilibrar y compaginar otras responsabilidades como el trabajo y a manejar la frustración, adquiriendo la habilidad de ser paciente a la hora de buscar información ya que no siempre se encuentran las ideas importantes a la primera.

Por último, agradecer a mis tutoras, Mariví Falceto y Ana María Garrido, por ofrecerme la oportunidad de hacer este proyecto e invitarme a conocer más en profundidad el mundo del porcino. A pesar de que hasta ahora nunca había prestado demasiada atención a esta especie, esta revisión me ha parecido muy interesante y sorprendente dándome ganas de seguir aprendiendo más en mi futuro profesional.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Adur, M. K., Seibert, J. T., Romoser, M. R., Bidne, K. L., Baumgard, L. H., Keating, A. F., Ross, J. W. (2022). Porcine endometrial heat shock proteins are differentially influenced by pregnancy status, heat stress, and altrenogest supplementation during the peri-implantation period. *Journal of Animal Science*, 100 (7), 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skac129>
- Almeida, L. M. de, Bassi, L. S., Santos, M. C. dos, Orlando, U. A. D., Gonçalves, M. A. D., Maiorka, A., Scandolera, A. J. (2020). Feeding level and diet type during the wean-to-estrus interval on the reproductive performance of sows. *Ciência Rural*, 50 (12), 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200069>
- Arend, L. S. (2021). Atualidades nos efeitos do fotoperíodo em leitoas de reposição e os impactos na performance reprodutiva. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 45 (4), 286–295. Disponible en: <https://doi.org/10.21451/1809-3000.rbra2021.037>
- Arend, L. S., Knox, R. V. (2021). Fertility responses of melatonin-treated gilts before and during the follicular and early luteal phases when there are different temperatures and lighting conditions in

- the housing area. *Animal Reproduction Science*, 230, 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ANIREPROSCI.2021.106769>
- Arend, L. S., Knox, R. V, Greiner, L. L., Graham, A. B., Connor, J. F. (2019). Effects of feeding melatonin during proestrus and early gestation to gilts and parity 1 sows to minimize effects of seasonal infertility¹. *Journal of Animal Science*, 97 (11), 4635–4646. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skz307>
 - Bahamonde, F. J. (2010 a). Ciclo estral de la cerda I. *Aprendiendo Sobre Porcino*. Disponible en: <https://francisco47.wordpress.com/2010/11/08/ciclo-estral-de-la-cerda/>
 - Bahamonde, F. J. (2010 b). Temperatura crítica superior e inferior. *Aprendiendo Sobre Porcino*. Disponible en: <https://francisco47.wordpress.com/2010/04/29/temperatura-critica-superior-e-inferior/>
 - Bahamonde, F. J. (2010 c). Ciclo estral de la cerda II: Signos de celo en la cerda. *Aprendiendo Sobre Porcino*. Disponible en: <https://francisco47.wordpress.com/2010/11/17/ciclo-estral-de-la-cerda-ii-signos-de-celo-en-la-cerda/>
 - Bahamonde, F. J. (2010 d). Momento de inseminación en la cerda. *Aprendiendo Sobre Porcino*. Disponible en: <https://francisco47.wordpress.com/2010/11/18/momento-de-inseminacion-en-la-cerda/>
 - Betancourt, M., Rodríguez, E., Serrano, H. (1985). El uso de anticuerpos monoclonales para estudiar las funciones de la zona pelúcida de óvulos de mamíferos. *Salud Pública de México*, 27 (3), 203–212. Disponible en: <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/496/484>
 - Bruun, T. S., Lyderik, K. K., Dall, J., Strathe, A. V. (2024). Effect of feeding sows a combination of extra vitamin B2, vitamin B6, vitamin B12, and folic acid during the first 45 days of gestation on piglet birthweight. *Livestock Science*, 282, 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105434>
 - Cabezón, F. A., Stewart, K. R., Schinckel, A. P., Richert, B. T. (2017). Effects of betaine and heat stress on lactation and postweaning reproductive performance of sows. *The Professional Animal Scientist*, 33 (2), 241–253. Disponible en: <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01571>
 - Carrión, D., Medel, P. (2002). Interacción nutrición reproducción en ganado porcino. *XVII Curso de Especialización FEDNA*, 27-70 Disponible en: <https://www.ciap.org.ar/sitio/archivos/interaccion%20nutricion%20reproduccion%20en%20ganado%20porcino.pdf>
 - Carrión-López, M. J., Madrid, J., Martínez, S., Hernández, F., Orengo, J. (2022). Effects of the feeding level in early gestation on body reserves and the productive and reproductive performance of primiparous and multiparous sows. *Research in Veterinary Science*, 148, 42–51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2022.05.002>

- Carrion, P. K. (2023). Parámetros reproductivos de mayor importancia en ganadería porcina. *Universidad Técnica de Babahoyo*. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14103>
- Chokoe, T., Siebrits, F. (2009). Effects of season and regulated photoperiod on the reproductive performance of sows. *South African Journal of Animal Science*, 39 (1), 45-54. Disponible en: <https://doi.org/10.4314/sajas.v39i1.43545>
- Dalto, D. B., Audet, I., Lapointe, J., Matte, J. J. (2016). The importance of pyridoxine for the impact of the dietary selenium sources on redox balance, embryo development, and reproductive performance in gilts. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 34, 79–89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.01.001>
- Dalto, D. B., Roy, M., Audet, I., Palin, M.-F., Guay, F., Lapointe, J., Matte, J. J. (2015). Interaction between vitamin B6 and source of selenium on the response of the selenium-dependent glutathione peroxidase system to oxidative stress induced by oestrus in pubertal pig. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 32, 21–29. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.05.002>
- De Rensis, F., Benedetti, S., Silva, P., Kirkwood, R. N. (2003). Fertility of sows following artificial insemination at a gonadotrophin-induced estrus coincident with weaning. *Animal Reproduction Science*, 76 (3–4), 245–250. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(02\)00245-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00245-2)
- De Rensis, F., Kirkwood, R. N. (2016). Control of estrus and ovulation: Fertility to timed insemination of gilts and sows. *Theriogenology*, 86 (6), 1460–1466. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.089>
- De Rensis, F., Ziecik, A. J., Kirkwood, R. N. (2017). Seasonal infertility in gilts and sows: Aetiology, clinical implications and treatments. *Theriogenology*, 96, 111–117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.004>
- Falceto, M. V., Bascuas, J. A., Ciudad, M. J., De Alba, C., Ubeda, J. L. (2004). Anestro como causa de esterilidad en la cerda. *Porcinos*, 33–52. <https://www.avparagon.com/docs/reproduccion/r-041230-5.pdf>
- Falceto, M. V. y Bascuas Asta, J. A. (2005). Retraso en la pubertad y anestro postdestete en la cerda. *Avances En Tecnología Porcina*, 2(6), 32–46. Disponible en: <https://avparagon.com/docs/reproduccion/ponencias/17.pdf>
- Falceto, M. V., Ciudad, M. J., Nuño, M. (2005). Fallo reproductivo en la cerda. *MG Mundo Ganadero*, 16 (179), 32–36. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_2005_179_32_36.pdf
- Falceto, M. V., Lafoz, L., Bonastre, C., Suárez, A., Mitjana Nerin, O. (2015). Fisiopatología del anestro en la cerda. *ReproPig*, 1–11. Disponible en: http://academiadeporcino-msdanimalhealth.com/Repropig2/assets/resources/Fisiopatologia_anestro_cerda.pdf

- Falceto, M. V. (2015). *Fisiopatología ovárica en la cerda*. Servet- Grupo Asís Biomedica S.L.
- Falceto, M. V., Bonastre Rafales, C., Mitjana Nerin, O. (2017). Manejo reproductivo de la cerda hiperprolífica. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, (202), 8-10. Disponible en: https://zagan.unizar.es/record/60973/files/texto_completo.pdf
- Falceto, M. V., Mateu, A., Tejedor, M. T., Lafuente, A., Sistac, J., Abizanda, T., Ubierno, A., Bonastre, C., Laborda, A., Reyero, D., Garrido, A. M., Merdy, O., Mitjana, O. (2023). Single fixed- time post-cervical insemination in hyperprolific sows with triptorelin: reproductive performance. 14th *European Symposium of Porcine Health Management*.
- Falk, M., Bernhoft, A., Reinoso-Maset, E., Salbu, B., Lebed, P., Framstad, T., Fuhrmann, H., Oropeza-Moe, M. (2020). Beneficial antioxidant status of piglets from sows fed selenomethionine compared with piglets from sows fed sodium selenite. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 58, 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JTEMB.2019.126439>
- Fuentes, M., Pérez, L., Suárez, Y., Soca, M. (2006). Características reproductivas de la cerda. Influencia de algunos factores ambientales y nutricionales. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7 (1), 1–36. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612648012>
- Funahashi, H., Ekwall, H., Rodriguez-Martinez, H. (2000). Zona reaction in porcine oocytes fertilized in vivo and in vitro as seen with scanning electron microscopy 1. *Biology of reproduction*, 63, 1437–1442. Disponible en: <http://www.biolreprod.org>
- Gaiday, A. N., Tussupkaliyev, A. B., Bermagambetova, S. K., Zhumagulova, S. S., Sarsembayeva, L. K., Dossimbetova, M. B., Daribay, Z. Z. (2018). Effect of homocysteine on pregnancy: A systematic review. *Chemico-Biological Interactions*, 293, 70–76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.07.021>
- Gai, L., Williamson, D., Vélez, C., Clauzure, M., Clauzure, M., Vélez, C., Vélez, C., Clauzure, M. (2022). Expresión de citoquinas durante la gestación porcina. *Ciencia Veterinaria*, 24 (2), 1–20. Disponible en: <https://doi.org/10.19137/cienvet202224205>
- Gianluppi, R. D. F., Lucca, M. S., Mellagi, A. P. G., Bernardi, M. L., Orlando, U. A. D., Ulguim, R. R., Bortolozzo, F. P. (2020). Effects of different amounts and type of diet during weaning-to-estrus interval on reproductive performance of primiparous and multiparous sows. *Animal*, 14 (9), 1906–1915. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S175173112000049X>
- Gil, M. A., Cuello, C., Parrilla, I. (2009). Fisiología del tracto genital de la cerda y el verraco. *Anaporc: Revista de La Asociación de Porcinocultura Científica*, 6 (55), 24–31. Disponible en: <https://www.archivo-anaporc.com/2009/02/24/fisiolog%C3%ADa-del-tracto-genital-de-la-cerda-y-el-verraco/>
- Grahofer, A., Björkman, S., Peltoniemi, O. (2020). Diagnosis of endometritis and cystitis in sows: use of biomarkers. *Journal of Animal Science*, 98, 107–116. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa144>

- González, J., Solís, A., Saavedra, R., Cedeño, H., Mudarra, R. (2023). comparación de diferentes protocolos de sincronización para inseminación artificial a tiempo fijo en cerdas nulíparas: resultados preliminares. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 6 (1), 107–114. Disponible en: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n1.a4520>
- Gourdine, J.-L., Rauw, W. M., Gilbert, H., Pouillet, N. (2021). The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.770480>
- Guthrie, H. D., Grimes, R. W., Cooper, B. S., Hammond, J. M. (1995). Follicular atresia in pigs: measurement and physiology. *Journal of Animal Science*, 73 (9), 2834–2844. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/1995.7392834x>
- Guthrie, H. D., Cooper, B. S. (1996). Follicular Atresia, Follicular Fluid Hormones, and Circulating Hormones During the Midluteal Phase of the Estrous Cycle in Pigs1. *Biology of Reproduction*, 55 (3), 543–547. Disponible en: <https://doi.org/10.1095/biolreprod55.3.543>
- Han, T., Björkman, S., Soede, N. M., Oliviero, C., Peltoniemi, O. A. T. (2020). IGF-1 concentration patterns and their relationship with follicle development after weaning in young sows fed different pre-mating diets. *Animal*, 14 (7), 1493–1501. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S1751731120000063>
- Iida, R., Piñeiro, C., Koketsu, Y. (2021). Timing and temperature thresholds of heat stress effects on fertility performance of different parity sows in Spanish herds. *Journal of Animal Science*, 99 (7), 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skab173>
- Interporc. (2021). Interporc: El sector porcino genera el 2,3% del empleo en España. *3tres3*. Disponible en: https://www.3tres3.com/noticias_empresa/interporc-el-sector-porcino-genera-el-2-3-del-empleo-en-espana_46517/
- Jimenez C., K. J. (2021). *Uso de aditivos como alternativas para mejorar la eficiencia en la inseminación artificial de porcinos: Revisión de Literatura*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7095>
- Kadirvel, G., Bujarbaruah, K. M., Kumar, S., Ngachan, S. V. (2017). Oestrus synchronization with fixed-time artificial insemination in smallholder pig production systems in north-east India: Success rate and benefits. *South African Journal of Animal Science*, 47 (2), 140-145. Disponible en: <https://doi.org/10.4314/sajas.v47i2.5>
- Kemp, B., Soede, N. M., Langendijk, P. (2005). Effects of boar contact and housing conditions on estrus expression in sows. *Theriogenology*, 63 (2), 643–656. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.09.038>
- Knox, R. V. (2015). Recent advancements in the hormonal stimulation of ovulation in swine. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 6, 309-320. Disponible en: <https://doi.org/10.2147/VMRR.S68960>

- Knox, R. V., Stewart, K. R., Flowers, W. L., Swanson, M. E., Webel, S. K., Kraeling, R. R. (2018). Design and biological effects of a vaginally administered gel containing the GnRH agonist, triptorelin, for synchronizing ovulation in swine. *Theriogenology*, 112, 44–52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.08.021>
- Knox, R. V. (2019). Physiology and endocrinology symposium: Factors influencing follicle development in gilts and sows and management strategies used to regulate growth for control of estrus and ovulation. *Journal of Animal Science*, 97 (4), 1433–1445. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skz036>
- Knox, R. V. (2023). Follicle development in pigs: State of the art. *Molecular Reproduction and Development*, 90 (7), 480–490. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mrd.23576>
- Koketsu, Y., Tani, S., Iida, R. (2017). Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*, 3 (1), 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0049-7>
- Kuhl, R., Dias, C. H. F. Z., Alberton, G. C., Granzotto, F., Vicentin, J. H., Santos, A. L. dos. (2023). Thermal comfort and photoperiod on the productive performance of sows and piglets. *Ciência Rural*, 53 (5), 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210894>
- Langendijk, P. (2021). Latest Advances in Sow Nutrition during Early Gestation. *Animals*, 11 (6), 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani11061720>
- Leal, D. F., Muro, B. B. D., Nichi, M., Almond, G. W., Viana, C. H. C., Vioti, G., Carnevale, R. F., Garbossa, C. A. P. (2019). Effects of post-insemination energy content of feed on embryonic survival in pigs: A systematic review. *Animal Reproduction Science*, 205, 70–77. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.04.005>
- Li, Q., Yang, S., Chen, F., Guan, W., Zhang, S. (2022). Nutritional strategies to alleviate oxidative stress in sows. *Animal Nutrition*, 9, 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.006>
- Lian, W., Gao, D., Huang, C., Zhong, Q., Hua, R., Lei, M. (2022). Heat stress impairs maternal endometrial integrity and results in embryo implantation failure by regulating transport-related gene expression in tongcheng pigs. *Biomolecules*, 12 (3), 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/biom12030388>
- Lindemann, M. D., Brendemuhl, J. H., Chiba, L. I., Darroch, C. S., Dove, C. R., Estienne, M. J., Harper, A. F. (2008). A regional evaluation of injections of high levels of vitamin A on reproductive performance of sows^{1,2}. *Journal of Animal Science*, 86 (2), 333–338. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0153>
- Liu, F., Zhao, W., Le, H. H., Cottrell, J. J., Green, M. P., Leury, B. J., Dunshea, F. R., Bell, A. W. (2022). Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? *Animal*, 16, 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100349>

- Lothong, M., Anurud, K., Semsirmboon, S., Poonyachoti, S., Thammachareon, S. (2022). The seasonal effect on the performance of pigs reared in a backyard pig farm in Thailand: retrospective study. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 47 (4), 328–339. Disponible en: <https://doi.org/10.14710/jitaa.47.4.328-339>
- Lucy, M. (2008). Functional differences in the growth hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: implications for post-partum nutrition and reproduction. *Reproduction in Domestic Animals*, 43 (2), 31–39. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01140.x>
- Lugarà, R., Grześkowiak, Ł., Zentek, J., Meese, S., Kreuzer, M., Giller, K. (2022). A High-Energy Diet and Spirulina Supplementation during Pre-Gestation, Gestation, and Lactation do Not Affect the Reproductive and Lactational Performance of Primiparous Sows. *Animals*, 12 (9), 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani12091171>
- Lühken, E., Nicolaisen, T., Risch, B., Volkmann, N., Schnier, S., Schulz, J., Kemper, N. (2019 a). Comparison of two free-farrowing systems and a conventional farrowing crate system with special regard to air hygiene. *Agriculture*, 9 (1), 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agriculture9010012>
- Lühken, E., Nicolaisen, T., Stracke, J., Schulz, J., Kemper, N. (2019 b). Microbiological air quality in free-farrowing housing systems for sows. *Veterinary and Animal Science*, 8, 1-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100065>
- Luise, D., Bertocchi, M., Bosi, P., Correa, F., Spinelli, E., Trevisi, P. (2020). Contribution of L-Arginine supplementation during gestation on sow productive performance and on sow microbial faecal profile. *Italian Journal of Animal Science*, 19 (1), 330–340. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743210>
- Magapor. (2020, 24 de julio). *Anatomía y fisiología de la cerda*. Magapor. Disponible en: <https://magapor.com/actualidad-tecnica/anatomia-y-fisiologia-de-la-cerda/>
- Mallmann, A. L., Oliveira, G. S., Ulguim, R. R., Mellagi, A. P. G., Bernardi, M. L., Orlando, U. A. D., Gonçalves, M. A. D., Cogo, R. J., Bortolozzo, F. P. (2020 a). Impact of feed intake in early gestation on maternal growth and litter size according to body reserves at weaning of young parity sows. *Journal of Animal Science*, 98 (3), 1-32. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa075>
- Mallmann, A. L., Arend, L. S., Oliveira, G. S., Mellagi, A. P. G., Ulguim, R. R., Bernardi, M. L., Bortolozzo, F. P., Knox, R. V. (2020 b). Effects of flush feeding strategy before breeding on reproductive performance of modern replacement gilts: impacts on ovulation rate and litter traits. *Journal of Animal Science*, 98 (6), 1-36. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa186>
- Mao, J., Foxcroft, G. R. (1998). Progesterone therapy during early pregnancy and embryonal survival in primiparous weaned sows. *Journal of Animal Science*, 76(7), 1922- 1928. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/1998.7671922x>

- Martinat-Botté, F., Venturi, E., Guillouet, P., Driancourt, M. A., Terqui, M. (2010). Induction and synchronization of ovulations of nulliparous and multiparous sows with an injection of gonadotropin-releasing hormone agonist. *Theriogenology*, 73 (3), 332–342. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.09.017>
- McConn, B. R., Gaskill, B. N., Schinckel, A. P., Green-Miller, A. R., Lay, D. C., Johnson, J. S. (2021). Thermoregulatory and physiological responses of nonpregnant, mid-gestation, and late-gestation sows exposed to incrementally increasing dry bulb temperature. *Journal of Animal Science*, 99(7), 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skab181>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España. (2024). *Porcino*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/porcino/>
- Mou, D., Ding, D., Yan, H., Qin, B., Dong, Y., Li, Z., Che, L., Fang, Z., Xu, S., Lin, Y., Zhuo, Y., Li, J., Huang, C., Zou, Y., Li, L., Briens, M., Wu, D., Feng, B. (2020). Maternal supplementation of organic selenium during gestation improves sows and offspring antioxidant capacity and inflammatory status and promotes embryo survival. *Food & Function*, 11 (9), 7748–7761. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0FO00832J>
- MSD Animal Health. (2017). *Compendium de reproducción animal. Especie porcina*. Servet- Grupo Asís Biomedica S.L. (11th ed.).
- Murcia, V. N., Savio, M., Cora Jofré, F., Beneitez, A. H. (2021). Principios básicos de nutrición porcina. *Boletín de Divulgación Técnica*, 121, 1–15. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/183923>
- Muro, B. B. D., Carnevale, R. F., Leal, D. F., Torres, M. A., Mendonça, M. V., Nakasone, D. H., Martinez, C. H. G., Ravagnani, G. M., Monteiro, M. S., Poor, A. P., Martins, S. M. M. K., Viau, P., Oliveira, C. A., Pulz, L. H., Strefezzi, R. F., Almond, G. W., Andrade, A. F. C. (2020). Supplemental progesterone during early pregnancy exerts divergent responses on embryonic characteristics in sows and gilts. *Animal*, 14 (6), 1234–1240. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S1751731119002982>
- Muro, B. B. D., Leal, D. F., Carnevale, R. F., Torres, M. A., Mendonça, M. V., Nakasone, D. H., Martinez, C. H. G., Ravagnani, G. M., Monteiro, M. S., Poor, A. P., Martins, S. M. M. K., Viau, P., Oliveira, C. A. de, Castro, R. V. G. de, Bessi, B. W., Bressan, F. F., Pulz, L. H., Strefezzi, R. F., Almond, G. W., Andrade, A. F. C. de. (2021). Altrenogest during early pregnancy modulates uterine glandular epithelium and endometrial growth factor expression at the time implantation in pigs. *Animal Reproduction*, 18 (1), 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1984-3143-ar2020-0431>
- Muro, B. B. D., Oliveira, A. C. R., Carnevale, R. F., Leal, D. F., Monteiro, M. S., Poor, A. P., Pereira, F. A., de Souza, L. J., Ferreira, J. B., Almond, G. W., Garbossa, C. A. P. (2022). Altrenogest

- Supplementation during Early Pregnancy Improves Reproductive Outcome in Pigs. *Animals*, 12(14), 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani12141801>
- Ngula, J. (2016). Desarrollo de nuevas estrategias de manejo de la inseminación artificial para el control de la infertilidad estacional en el ganado porcino. *Universidad de León*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50037&info=resumen&idioma=ENG>
 - Osotsi, J. M., Balogh, P., Novotnine-Danko, G. (2024). Characterization of removal reasons for nurse sows and the associated removal due to their extended lactation length in hyperprolific farrow-wean herds. *Animals*, 14 (11), 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani14111607>
 - Palencia, J. Y. P., Lemes, M. A. G., Garbossa, C. A. P., Abreu, M. L. T., Pereira, L. J., Zangeronimo, M. G. (2018). Arginine for gestating sows and foetal development: A systematic review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102 (1), 204–213. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jpn.12679>
 - Pallás, R. (2022). Principales aplicaciones del altrenogest en la producción porcina moderna. *Repropig*, 12, 1–9. Disponible en: <http://academiadeporcino-msdanimalhealth.com/Repropig12/index.html>
 - Pearodwong, P., Tretipskul, C., Panyathong, R., Tummaruk, P. (2020). Factors influencing pre-ovulatory follicle diameter and weaning-to-ovulation interval in spontaneously ovulating sows in tropical environment. *Reproduction in Domestic Animals*, 55 (12), 1756–1763. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/rda.13836>
 - Pedersen, B. K., Donham, K. J., Escobet, J., Pedersen, B. K., Zimmerman, R. (2005). Calidad del aire. *3tres3*. Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/calidad-del-aire_1359/
 - Peltoniemi, O. A. T., Virolainen, J. V. (2006). Seasonality of reproduction in gilts and sows. *Society of Reproduction and Fertility Supplement*, 62, 205–218. PMID: 16866319 Disponible en: <http://hdl.handle.net/10138/228724>
 - Plush, K., Glencorse, D., Alexopoulos, J., Tritton, S., Kirkwood, R., D’Souza, D. (2019). Effect of dextrose supplementation in the pre-ovulatory sow diet to reduce seasonal influences on litter birth weight variation. *Animals*, 9 (12), 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani9121009>
 - Prime, G. R., Symonds, H. W. (1993). Influence of plane of nutrition on portal blood flow and the metabolic clearance rate of progesterone in ovariectomized gilts. *The Journal of Agricultural Science*, 121 (3), 389–397. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0021859600085580>
 - Quiles, A., Hevia, M. L. (2012). *Control del ciclo sexual, celo y ovulación en la cerda*. 27(272), 46-54. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322656755_control_del_ciclo_sexual_celo_y_ovulacion_en_la_cerda
 - Quisirumbay Gaibor, J. R. (2019). Ácido fólico: requerimientos e importancia en cerdas y lechones. *Siembra*, 6 (1), 24–31. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i1.1526>

- Rath, D., Knorr, C., Taylor, U. (2016). Communication requested: Boar semen transport through the uterus and possible consequences for insemination. *Theriogenology*, 85 (1), 94–104. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.016>
- Rodriguez-Martinez, H. (2007). Role of the oviduct in sperm capacitation. *Theriogenology*, 68 (1), 138–146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.03.018>
- Rodrigues, L., Amezcua, R., Cassar, G., O’Sullivan, T. L., Friendship, R. (2020). Comparison of Single, Fixed-Time Artificial Insemination in Gilts Using Two Different Protocols to Synchronize Ovulation. *Animals*, 10(2), 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani10020306>
- Rolando, J., Gaibor1, Q. (2019). Ácido fólico: requerimientos e importancia en cerdas y lechones. *Siembra*, 6 (1), 24-31. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6997221&info=resumen&idioma=SPA>
- Sanchis, G., Cristofolini, A., Chanique, A. Merkis, C. (2012). Patrón de glicosilación glandular y vascular de la placenta porcina. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13 (3), 1–15. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63623410007>
- Sharifuzzaman, M., Mun, H.-S., Ampode, K. M. B., Lagua, E. B., Park, H.-R., Kim, Y.-H., Hasan, M. K., Yang, C.-J. (2024). Technological Tools and Artificial Intelligence in Estrus Detection of Sows—A Comprehensive Review. *Animals*, 14 (3), 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani14030471>
- Shastak, Y., Pelletier, W. (2023). Review: Vitamin A supply in swine production: Current science and practical considerations. *Applied Animal Science*, 39 (5), 289–305. Disponible en: <https://doi.org/10.15232/AAS.2023-02409>
- Silva, M. C., Muñoz, L., Kiefer, C., Ramis Vidal, G., Alencar, S. A. S., Cambra-Bort, J. M. (2017). Dietas insulina-estimulantes para las hembras porcinas. *Archivos de Zootecnia*, 66 (256), 1–7. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553571020>
- Singh, M., Mollier, R. T., Patton, R. N., Ponener, N., Katiyar, R., Kalita, H., Mishra, V. K. (2023). Development of a new protocol for estrus induction and synchronization in multiparous weaned sows. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 93 (12), 1190–1192. Disponible en: <https://doi.org/10.56093/ijans.v93i12.129969>
- Soede, N., Bouwman, E., van der Laan, I., Hazeleger, W., Jourquin, J., Langendijk, P., Kemp, B. (2012). Progestagen supplementation during early pregnancy does not improve embryo survival in pigs. *Reproduction in Domestic Animals*, 47 (5), 835–841. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01977.x>
- Song, S., Kang, T., Lim, K., Kim, K., Yi, H. (2024). Sow posture analysis and estrus prediction using closed-circuit television cameras. *IEEE Access*, 12, 17460–17466. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3357237>

- Suárez-Usbeck, A., Mitjana, O., Tejedor, M. T., Bonastre, C., Sistac, J., Ubiergo, A., Falceto, M. V. (2021). Single fixed-time post-cervical insemination in gilts with buserelin. *Animals*, 11 (6), 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani11061567>
- Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística (2023). *Estadística de ganado porcino. Resultados*. 1–8. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/ganaderia/encuestas-ganaderas/>
- Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. (2021). *El sector de la carne de cerdo en cifras: Principales indicadores económicos*. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicossectorporcino2022_tcm30-564427.pdf
- Surai, P. F., Fisinin, V. I. (2016). Selenium in sow nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 18–30. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.006>
- Tienthai, P., Johannisson, A., Rodriguez-Martinez, H. (2004). Sperm capacitation in the porcine oviduct. *Animal Reproduction Science*, 80 (1–2), 131–146. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(03\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00134-9)
- Trujillo, M. E., Becerril, J. (2021). *Reproducción de los animales domésticos*, 14. Disponible en: <https://reproduccionanimalesdomesticos.fmvz.unam.mx/libro/capitulo14/aspectos-reproductivos-de-la-cerda.html>
- Tummaruk, P., Tantasuparuk, W., Techakumphu, M., Kunavongkrit, A. (2010). Influence of repeat-service and weaning-to-first-service interval on farrowing proportion of gilts and sows. *Preventive Veterinary Medicine*, 96, 194–200. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.06.003>
- Vargas, A. J., Bernardi, M. L., Paranhos, T. F., Gonçalves, M. A. D., Bortolozzo, F. P., Wentz, I. (2009). Reproductive performance of swine females re-serviced after return to estrus or abortion. *Animal Reproduction Science*, 11 (3), 305–310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.06.006>
- Vidal, D. M. (2020). Sincronización y ovulación en la especie porcina. *Universidad de Lérida*. Disponible en: <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/699dec75-5478-4318-b64d-ff3e73458160/content>
- Whaley, S. L., Hedgpeth, V. S., Farin, C. E., Martus, N. S., Jayes, F. C., Britt, J. H. (2000). Influence of vitamin A injection before mating on oocyte development, follicular hormones, and ovulation in gilts fed high-energy diets. *Journal of Animal Science*, 78 (6), 1598–1607. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/2000.7861598x>

- Williams, A. M., Safranski, T. J., Spiers, D. E., Eichen, P. A., Coate, E. A., Lucy, M. C. (2013). Effects of a controlled heat stress during late gestation, lactation, and after weaning on thermoregulation, metabolism, and reproduction of primiparous sows. *Journal of Animal Science*, 91 (6), 2700–2714. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6055>
- Williamson, D. M., Yafu, G., Riesco, O., Koncurat, M. A. (2008). Progesterona estrógenos y expresión de integrinas en la gestación temprana porcina. *Ciencia Veterinaria*, 10 (1), 13–23. Disponible en: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/veterinaria/article/view/1923>
- Xu, Z., Sullivan, R., Zhou, J., Bromfield, C., Lim, T. T., Safranski, T. J., Yan, Z. (2023). Detecting sow vulva size change around estrus using machine vision technology. *Smart Agricultural Technology*, 3, 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2022.100090>
- Zhao, W., Liu, F., Bell, A. W., Le, H. H., Cottrell, J. J., Leury, B. J., Green, M. P., Dunshea, F. R. (2020). Controlled elevated temperatures during early-mid gestation cause placental insufficiency and implications for fetal growth in pregnant pigs. *Scientific Reports*, 10 (1), 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77647-1>
- Zhao, Y., Kim, S. W. (2020). Oxidative stress status and reproductive performance of sows during gestation and lactation under different thermal environments. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33 (5), 722–731. Disponible en: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0334>