

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Uso de aditivos como alternativas para mejorar la eficiencia en la inseminación
artificial de porcinos: Revisión de Literatura

Estudiante

Kevin Jossue Jimenez Chinchilla

Asesores

Rogel Castillo, M.Sc.

John Jairo Hincapie, D.Sc.

Honduras, junio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Capítulo 1 Ciclo estral de la cerda.....	13
Proestro.....	14
Estro.....	14
Detección del estro	15
Metaestro	16
Diestro.....	17
Acción de la FSH en el ciclo reproductivo	18
Acción de la LH en el ciclo reproductivo.....	18
Tasa Ovulatoria	19
Capítulo 2 Uso de Cafeína en IA porcina.....	20
Capítulo 3 Uso de plasma seminal en proceso de conservación de semen porcino	25
Espermatozoides, semen y plasma seminal	30
Capítulo 4 Utilización de Prostaglandina F ₂ α exógena en IA porcina	32
Capítulo 5 Factores que afectan la calidad seminal.....	37
Edad	37

Nutrición	38
Condición Corporal	39
Ritmo de colección.....	39
Volumen.....	39
pH.....	40
Motilidad espermática.....	40
Tamaño Testicular.....	41
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	44

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Intervalo destete-celo, estro-ovulación y duración del estro después del destete en cerdas primíparas y multíparas (expresado en horas).	15
Cuadro 2 Motilidad (%) de células espermáticas con o sin adición de cafeína (diluyente BTS).	21
Cuadro 3 Comparación de medias en motilidad (%) de las células espermáticas del cerdo de acuerdo al tratamiento utilizado.	22
Cuadro 4 Efecto de catéteres de inseminación con cafeína y Ca^{2+} en la fertiildad y prolificidad en cerdas de reemplazo.	22
Cuadro 5 Porcentaje de preñez obtenido de acuerdo a la categoría (número de partos) de las cerdas (multíparas, primeriza), al utilizar plasma seminal con semen congelado.	27
Cuadro 6 Tamaño de camada entre cerdas multíparas y primerizas con infusión de plasma seminal o solución salina antes y después de la inseminación artificial.	28
Cuadro 7 Diferentes concentraciones de plasma seminal y porcentaje de espermatozoides con acrosoma intacto, membrana plasmática intacta, vivos con actividad mitocondrial intacta, porcentaje de espermatozoides móviles totales, móviles progresivos y móviles progresivos rápidos a los 30 y 150 minutos post descongelación.	29
Cuadro 8 Concentraciones de dosis seminales en diferentes tipos de aditivos en IA.	33
Cuadro 9 Porcentaje de cerdas que resultan positivas al diagnóstico de gestación 24 días post inseminación con y sin aditivos en dosis seminal.	34

Cuadro 10	Número de cerdas paridas y tasa de partos en grupo control, prostaglandina $F_2\alpha$, D-L Cloprostenol y D Cloprostenol.	34
Cuadro 11	Porcentaje de preñez obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$).	35
Cuadro 12	Porcentaje de parición obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $F_2\alpha$	35
Cuadro 13	Tamaño de camada (lechones nacidos vivos y nacidos totales por parto) obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $F_2\alpha$	36
Cuadro 14	Influencia de la edad del verraco en la calidad del semen y dosis por eyaculado.....	38
Cuadro 15	Características seminales de reproductores porcinos.	41

Índice de Figuras

Figura 1 Fases y etapas del ciclo estral de la cerda.....	13
Figura 2 Ovulación y momento óptimo para realizar la inseminación artificial.	16
Figura 3 Período crítico durante el ciclo reproductivo de la cerda.....	17
Figura 4 Relación entre estrógeno, progesterona y $PGF_2\alpha$ durante el ciclo estral de 21 días en cerdas. .	19
Figura 5 Esquema molecular de la cafeína.	20
Figura 6 Comparación de medias de motilidad (%) de células espermáticas del cerdo, según tratamiento y a diferentes tiempos.	24
Figura 7 Efecto post centrifugación y lavado a espermatozoides de semen porcino.	26
Figura 8 Principales daños incluidos por el proceso de crio preservación en los espermatozoides del verraco.	31

Resumen

La Inseminación artificial (IA) es una técnica destinada a mejorar los parámetros reproductivos dentro de las camadas de lechones, así como a tener mayor eficiencia de los recursos (semen) al momento de llevar a cabo el proceso. El objetivo de esta investigación fue hacer una revisión exhaustiva en diferentes medios de información sobre distintas alternativas y tratamientos viables, que pueden llegar a significar mejores rendimientos reproductivos en las camadas porcinas. Se investigó el efecto de tres tratamientos en la IA: cafeína, plasma seminal y hormonas (Prostaglandina $F_2\alpha$) en la eficiencia reproductiva. El tratamiento de añadir cafeína al semen congelado, generalmente se realiza en cada inseminación, administrando dosis no mayor al 0.9% del total de semen, posteriormente a los 28-30 días, se procede a un ultrasonido, para determinar el porcentaje de fertilidad en la cerda. Para el segundo tratamiento, antes de realizar la IA, se le coloca vía intrauterina al animal en promedio 25 mL de plasma seminal, el cual beneficiará en proveer ciertos cambios fisiológicos para el establecimiento de un entorno uterino adecuado para la implantación de los embriones. El tercer tratamiento consiste en la aplicación de $PGF_2\alpha$, la cual se realiza en el momento de la inseminación artificial mezclándola en la dosis a una concentración de 5 mg antes de precalentar ésta a 35 °C para su uso inmediato y así evitar un choque térmico que comprometería la viabilidad de los espermatozoides de la dosis seminal. Se concluye que la adición de cafeína, plasma seminal y $PGF_2\alpha$ ayudan en la motilidad de los espermatozoides, porcentaje de preñez y tamaño de camada.

Palabras Clave: Fertilidad, preñez, viabilidad

Abstract

Artificial insemination (AI) is a technique designed to improve the reproductive parameters within the litters of piglets, as well as to have greater efficiency of resources (semen) at the time of carrying out the process. The objective of this research was to carry out an exhaustive review in different information media about different alternatives and viable treatments, which may lead to better reproductive performance in pig litters. The effect of three treatments on AI was evaluated: caffeine, seminal plasma and hormones (Prostaglandin $F_2\alpha$) on reproductive efficiency. The treatment of adding caffeine to frozen semen is generally carried out at each insemination, administering doses no greater than 0.9% of the total semen, after 28-30 days, an ultrasound is carried out to determine the percentage of fertility in the sow. For the second treatment, before performing the AI, an average 25 mL of seminal plasma is placed intrauterine in the animal, which will benefit in providing certain physiological changes for the establishment of a suitable uterine environment for the implantation of the embryos. The third treatment consists of the application of $PGF_2\alpha$, which is carried out at the time of artificial insemination, mixing it in the dose at a concentration of 5 mg before preheating it to 35 °C for immediate use and thus avoiding a heat shock that it would compromise the viability of the sperm from the seminal dose. It is concluded that the addition of caffeine, seminal plasma and $PGF_2\alpha$ help in sperm motility, pregnancy percentage and litter size.

Key Words: Fertility, pregnancy, viability

Introducción

Uno de los grandes avances que ha desarrollado la producción porcina, es la presencia de una mejor genética, la cual ha sido posible alcanzar mediante la implementación de la técnica de la inseminación artificial (IA), la cual en la actualidad, ha tenido una gran difusión, provocando en gran medida un cambio de mentalidad en los porcicultores, sustituyendo a la monta natural, puesto que ofrece ventajas económicas y reproductivas (García Vázquez et al. 2016). El uso de IA en porcicultura no es algo reciente, desde mucho tiempo atrás se empezó a utilizar en países desarrollados de todo el mundo, como una alternativa en los sistemas de producción pecuaria, teniendo como objetivo mejorar el manejo reproductivo en las camadas de cerdos. La IA es una biotecnología de la reproducción de primera generación que consiste en la introducción del semen en los órganos genitales de la hembra sin la intervención del macho, facilitando la fecundación y producción de una cría. El desarrollo de la IA en cerdas ha tenido grandes avances a lo largo de la historia, iniciando en Rusia al inicio del siglo XX, para luego difundirse a otros países (Pan et al. 2008). La IA en cerdas permite proveer de material genético de excelente calidad a la granja para mejorar los parámetros productivos y reproductivos, su contribución ha logrado la máxima utilización del potencial genético de reproductores con alto valor y ha sido un instrumento fundamental en la prevención y lucha contra las enfermedades porcinas (Varela Prieto 2014). La creciente demanda de carne porcina ha significado el desarrollo de cada uno de los factores que se lleva a cabo en la producción, lo que ha permitido el progreso de razas especializadas en la producción de carne, convirtiéndose la IA en una actividad sumamente importante para las granjas en busca de mayor rentabilidad económica. Con la adquisición de semen se puede establecer diversidad genética en las explotaciones y optimizar los sistemas de cruzamiento (Alba Romero 2013). Para mejorar los procedimientos de un programa de inseminación artificial, se deben considerar aspectos como el manejo,

la sanidad, la alimentación, además de la obtención y conservación del semen eyaculado (Beyli et al. 2012).

Un aspecto de manejo que tiene su impacto directamente en la calidad del semen es la selección apropiada de los verracos donadores. La motilidad espermática es una variable que refleja la vitalidad del eyaculado en función de la cantidad de células en movimiento. Verracos que contienen semen con espermatozoides dañados o anormales, generan gran cantidad de sustancias oxidantes, las cuales dañan al eyaculado. Existen diferentes tratamientos, entre ellos el uso de hormonas, que hacen posible una mejor eficiencia de la IA. Por otro lado, es posible incrementar el movimiento de las células espermáticas con la adición de estimulantes como la cafeína, al momento de diluir el semen, mejorando de esta manera la capacitación, y posteriormente, la fecundación. La cafeína puede resultar de utilidad práctica para mejorar la conservación del semen de cerdo refrigerado o congelado, mejorando su vigor motriz, esto porque permite actuar como activador de las células espermáticas (Contreras Martínez 2009).

El mejoramiento de la capacidad fecundante de un espermatozoide con el uso de catéteres con cafeína se ha ensayado en cerdas multíparas a lo largo de mucho tiempo atrás en periodos críticos de producción, puesto que la capacidad fecundante del espermatozoide se ha logrado mejorar por medio de uso efectivo de catéteres con cafeína. Por otra parte, agregando este compuesto en semen congelado ha dado resultados favorables. La cafeína disminuye el reflujo y la respuesta inmune uterina en la cerda. El semen puede ser dividido en dos partes, un componente celular, los espermatozoides y una parte fluida, el plasma seminal (Yamaguchi et al. 2013).

(Mercado de la Peña et al. 2011), definieron al plasma seminal (PS) como una secreción compleja compuesta por iones inorgánicos, azúcares, sales orgánicas, lípidos, enzimas, prostaglandinas, proteínas y varios factores producidos por los testículos, epidídimos y glándulas accesorias del macho. La

Prostaglandina ($\text{PGF}_2\alpha$) se percibe en una mejora sustancial en el porcentaje de fertilidad y en la tasa de partos, así como con el D-L Cloprostenol (debido a la similitud en la acción que tienen el L Cloprostenol y la $\text{PGF}_2\alpha$). Esto es debido a sus efectos más específicos en las estructuras uterinas involucradas en el transporte pasivo de los espermatozoides. Se trata de un aspecto interesante porque, a pesar de suponer un gasto añadido por la inclusión de un aditivo, al reducir el número de inseminaciones se obtiene un retorno económico evidente (Aguarón 2016).

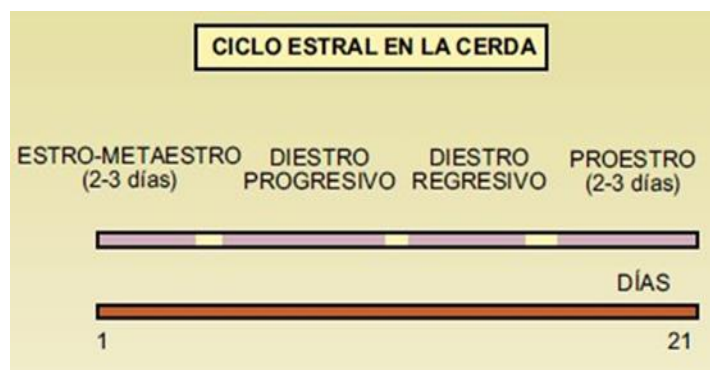
Capítulo 1

Ciclo estral de la cerda

El ciclo estral es un proceso biológico y fisiológico, comprendido entre dos celos consecutivos, que tiene como finalidad preparar las condiciones adecuadas para que tenga lugar la monta, la fertilización, la nidación y el desarrollo embrionario. La cerda es poliéstrica no estacional con ciclos sexuales que se repiten a intervalos de 21 días como media (18- 24 días); y que solo se ven interrumpidos durante la gestación, la lactación (al menos en los primeros 30 días de esta) o ante determinadas alteraciones endocrinas (Figura 1). El mecanismo que regula el ciclo sexual, determinando su duración y fisiología, está gobernado por el sistema nervioso y por el endocrino (Quiles y Hevia 2018). De todas maneras, presenta tendencia a la estacionalidad reproductiva, observándose la máxima actividad entre el periodo de abril a diciembre; y la más baja entre enero y marzo, correspondiendo a la segunda mitad del verano y el principio del otoño, esta diferencia reproductiva se debe al fotoperiodo (alternancia diaria de luz/oscuridad) y las altas temperaturas (Rodríguez Estévez 2010).

Figura 1

Fases y etapas del ciclo estral de la cerda.



Nota. Tomado de Falceto et al. (2004)

Tras la organización del coágulo en el punto de ovulación (cuerpo rubrum) durante el metaestro, comienza la producción de progesterona en los cuerpos lúteos del diestro progresivo. Si la cerda no queda gestante, disminuye la progesterona durante el diestro regresivo tras el efecto luteolítico de las prostaglandinas, comenzando de nuevo el reclutamiento folicular y la cerda de nuevo volverá a salir en celo (Falceto 2015).

Proestro

La duración de la fase del proestro es de 2 a 3 días, se caracteriza por el crecimiento folicular. En algunas hembras, esta fase se puede alargar excesivamente hasta por 5 o 7 días. Entre 10 y 20 folículos crecen rápidamente, al tiempo que hay un descenso en el número de folículos más pequeños. Durante esta etapa, la progesterona desciende a su nivel más bajo. El nivel de estrógenos aumenta a causa del crecimiento folicular, lo cual provoca el incremento del tamaño e hiperemia de la vulva. La concentración máxima de estrógenos se logra al final del proestro o bien al principio del estro, manifestándose de esta forma los síntomas de celo. Estos cambios de la vulva se pueden apreciar entre 2 y 6 días antes del celo y son más evidentes en la hembra primeriza (Fuentes Cintra et al. 2006). Los cambios en el comportamiento son graduales. La cerda se muestra alerta, busca al verraco y está atenta a los movimientos de la explotación. Puede adoptar una actitud de macho y trompear e intentar montar a otras hembras. Atrae al verraco, pero no lo acepta (Valencia y Heredia de Huerta 2013).

Estro

El mismo dura de 2 a 3 días, existiendo inflamación vulvar, pueden presentarse secreciones mucosas en la comisura de la vulva, la hembra gruñe con frecuencia, come poco y se muestra inquieta, se puede mostrar agresiva y lo más característico es el reflejo de inmovilidad o de quietud, el cual es aprovechado para la monta o inseminación artificial (Fuentes Cintra et al. 2006). El intervalo destete a

primera ovulación depende de manera importante del estado nutricional de la cerda (energía), de las altas temperaturas, condición corporal y del número de partos entre otros. Estos factores parecen afectar el desarrollo folicular al destete. Por ejemplo, la cerda de primer parto tiene folículos de menor tamaño (2.5 mm al destete y 7 mm a la ovulación) comparado con la cerda múltipara (3.3 mm y 8 mm respectivamente). Este fenómeno parece estar relacionado con el balance energético y además puede prolongar el intervalo destete-ovulación, por casi una semana más comparado con cerdas múltiparas (Cuadro 1) (van den Brand et al. 2000).

Cuadro 1

Intervalo destete-celo, estro-ovulación y duración del estro después del destete en cerdas primíparas y múltiparas (expresado en horas).

Intervalo	Primíparas	Múltiparas
Destete-estro	112.3 ± 2.6	115.2 ± 26.4
Estro-ovulación	37.3 ± 1.7	37 ± 2.1
Duración del estro	46.3 ± 2.2	56 ± 7.9

Nota. Tomado Madej et al. (2005)

Los folículos presentan un reticulado vascular fino en la superficie y pueden existir hemorragias intra foliculares. Entre 26 y 40 horas de haber comenzado el celo debe ocurrir la ovulación, es la fase más importante del ciclo estral porque es el momento en que se realiza el apareamiento (Espinosa 2012). El inicio del celo es el que marca el momento de la ovulación y es de máxima importancia en programas de inseminación artificial (IA). La ovulación sucede hacia los 2/3 del celo y los programas de IA basan su éxito en detectar no el celo sino el inicio del mismo y la duración promedio (Jiménez Escobar 2011).

Detección del estro

La detección del estro es de suma importancia ya que a partir de ello se estimará el momento de ovulación (Figura 2), tomando en cuenta que hay fases del ciclo estral donde se cambia la actitud o

conducta de la cerda (monta a otras cerdas) y la vulva se edematiza y enrojece, pero no se deja montar (proestro), diferenciándose del estro donde acepta al macho y permite la monta (Fuentes Cintra et al. 2006). La hembra está normalmente en celo dos días y medio. Durante este período, y en ausencia de un macho, al presionar sobre su región lumbar permanece inmóvil. Una adecuada detección del celo debería identificar a todas las hembras en celo (primerizas, hembras destetadas y repetidoras) de manera temprana en su celo (PIC 2011).

Figura 2

Ovulación y momento óptimo para realizar la inseminación artificial.



Nota. Tomado de Caiza (2009)

Metaestro

Tiene una duración de 7 días, momento en que se organiza el cuerpo lúteo y comienza la producción de progesterona (Fuentes Cintra et al. 2006). Después de la ovulación viene el proceso de luteinización, conocido como la etapa del cuerpo hemorrágico. Este proceso sucede a la par del angiogénesis apoyada por varios factores de crecimiento endotelial vascular. El cuerpo lúteo (CL) alcanza su funcionalidad máxima hacia el día 7 del ciclo estral (350 – 450 mg de peso) y los niveles de progesterona

se correlacionan con el número de cuerpos lúteos. El desarrollo del cuerpo lúteo depende en gran medida del estatus nutricional de la cerda, se da por el pico de LH y es independiente de la secreción tónica de LH, es decir que el CL no necesita de soporte gonadotrópico durante los primeros 10 días. En la segunda etapa de la fase luteal, los CL dependen ahora si de las LH, lo cual tiene un patrón de pulsatilidad de baja frecuencia y mayor amplitud (Jiménez Escobar 2011).

Diestro

Dura alrededor de 9 días y se produce progesterona y si no ocurre la gestación al final comienza la regresión del cuerpo lúteo, disminuyendo el nivel en progesterona circulante en sangre, comenzando la maduración de nuevos folículos y con ello el inicio de un nuevo ciclo. El mecanismo que regula el ciclo sexual determinando la duración y el fisiologismo de sus fases se sustenta por el equilibrio del Sistema Nervioso Central (SNC) y el sistema endocrino. Las formas en que estas funciones pueden manifestarse estarán muy influidas por las condiciones existentes entorno a estas (Espinosa 2012). Una vez que las cerdas llegan a la pubertad entre los 5 y los 7 meses de edad, el ciclo estral comienza de una manera regular con una duración promedio de 18-24 días (Figura 3).

Figura 3

Período crítico durante el ciclo reproductivo de la cerda.



Nota. Tomado de Healthy (2008)

Los ciclos estrales se ven interrumpidos o no están presentes en las cerdas pre púberes, lactantes y con anestro patológico. El ciclo estral se ha dividido para su estudio en una fase folicular de 5-7 días (proestro y estro) y una fase luteal de 13-15 días (metaestro y diestro). Durante el estro se presenta la ovulación que varía entre 15-30 folículos, dependiendo de la nutrición, edad y otros factores. Los estímulos que provienen del medio son captados por los órganos de los sentidos y viajan por vía nerviosa hasta el hipotálamo. Este actúa como moderador de las excitaciones recibidas a través de las sustancias especiales. Estos llegan hasta la hipófisis por la vía sanguínea y la estimulan para que elabore las hormonas gonadotrópicas, llegando dichas hormonas hasta los ovarios (Esbenshade 2006).

Acción de la FSH en el ciclo reproductivo

La hormona folículo estimulante (FSH) producida por la hipófisis a nivel del ovario estimula el crecimiento y desarrollo de los folículos y de esta forma la producción de los estrógenos que son los responsables de las manifestaciones cíclicas del celo (Evans y O'Doherty 2001).

Acción de la LH en el ciclo reproductivo.

La LH en conjunto con la FSH participa en la estructura de la membrana folicular para llevar a cabo la ovulación, además es la hormona que después de la ovulación estimula la formación del cuerpo lúteo. La LH regula la función del cuerpo lúteo y este produce la progesterona, esta hormona es la encargada del mantenimiento de la gestación, pero si no ocurre la fecundación el cuerpo lúteo involuciona hasta quedar como un punto en la superficie del ovario, reiniciándose un nuevo ciclo estral (Esbenshade 2006).

Todos estos fenómenos están controlados por la acción hipotalámica que actúa como centro de la actividad sexual, a través del sistema endocrino mediante un mecanismo de retroalimentación denominado feed-back. Cuando la titulación de estas hormonas es alta en sangre entonces se activa a nivel del hipotálamo la liberación de los factores que cesan la producción de éstas, activándose la de otras,

quiere decir que, una vez que los estrógenos se elevan en su máximo nivel esta tasa estrogénica en sangre, es la que actúa en el hipotálamo para que cese su producción y entonces comience la producción de la progesterona por parte del cuerpo lúteo (Syntex 2005).

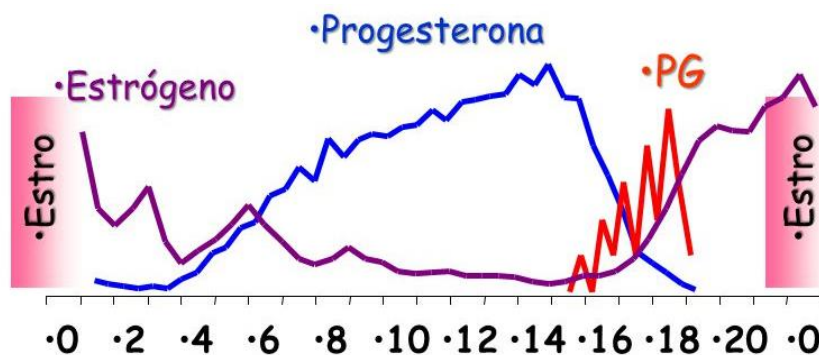
Tasa Ovulatoria

La tasa de la ovulación depende del número de folículos reclutados y de la selección folicular. Así mismo depende de la raza, época del año, edad y nutrición. Los reportes de tasa de ovulación son muy variados, pero generalmente se reportan entre 10-20 ovulaciones. La tasa ovulatoria en cerdas primerizas puede ser de 12-14, mientras que la cerda múltipara puede ser mucho mayor: 18-20 (Knox 2005). La FSH tiene mucho que ver en la tasa de la ovulación.

Se ha demostrado que las cerdas con mayor tasa ovulatoria, tienen niveles más elevados de FSH en la fase luteal tardía asociando estos cambios a una mayor cantidad de folículos reclutados (Figura 4), las cerdas que se tratan con FSH incrementan el número de folículos reclutados, pero no la tasa ovulatoria, debido a la falta de LH, por esta razón los tratamientos con FSH y un poco de LH proveen mejores resultados e incrementan la tasa de ovulación (Guthrie 2005).

Figura 4

Relación entre estrógeno, progesterona y $PGF_{2\alpha}$ durante el ciclo estral de 21 días en cerdas.



Nota. Tomado de Madej et al. (2005)

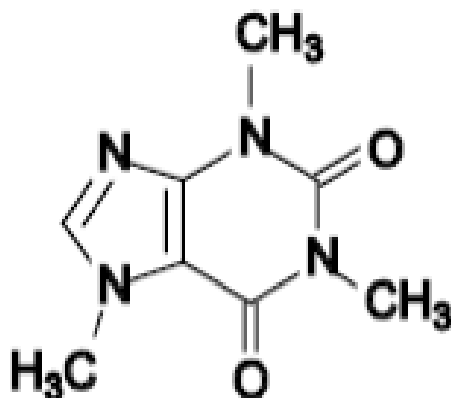
Capítulo 2

Uso de Cafeína en IA porcina

La cafeína es el compuesto más representativo del grupo de los alcaloides que conforman las metilxantinas, que también incluye los compuestos teofilina y teobromina, con estructura química similar (Figura 5). Su fórmula química es $C_8H_{10}N_4O_2$, su nombre sistemático es 1, 3, 7- trimetilxantina o 3,7-dihidro-1,3, 7-trimetil-1H-purina-2,6-diona (Calle Aznar 2011).

Figura 5

Esquema molecular de la cafeína.



Nota. Tomado de Contreras Martínez (2009)

Según Tejerina Ampudia (2007), posteriormente a la descongelación del semen de verraco, la muestra se mezcla con diluyentes como Beltsville Thawing Solution (BTS) o MR-A Thaw[®] hasta alcanzar la concentración deseada, logrado este procedimiento, se efectúa la adición de 10 mM (mili Moles) de cafeína (esta actúa aumentando el mecanismo de energía mitocondrial, resultando en un aumento de la motilidad), luego la muestra se introduce en un baño termostático a 32.5 °C durante 10 minutos, el proceso llega al final, con un procedimiento de incubación a 37 °C durante aproximadamente 6 minutos. Los comportamientos de fertilidad en la cerda mejoran la suplementación de cafeína (Cuadro 2), el efecto

positivo en la prolificidad ocasiona un aumento en el tamaño de la camada, debido a que la motilidad del esperma mejora cuando las células espermáticas entran en contacto dentro de las 6 horas siguientes a la inseminación, reforzado por una regulación a la baja de la respuesta inflamatoria del útero después de la inseminación permitiendo que más espermatozoides alcancen el sitio de fertilización. El aumento en la motilidad de las células espermáticas puede estimular el transporte de esperma a través del tracto reproductivo hasta el reservorio de esperma, esto puede también reducir el volumen de la dosis de inseminación perdido por reflujo (Yamaguchi et al. 2013).

Cuadro 2

Motilidad (%) de células espermáticas con o sin adición de cafeína (diluyente BTS).

Edad del semen en días	Sin cafeína	Con cafeína	Diferencia
1 a 2	64	78	14
3 a 4	53	72	19
5 a 6	37	62	25
7 a 8	23	48	25

Nota. Tomado de Levis (2000)

La motilidad de los espermatozoides es evaluada debido a que está correlacionada con la fertilidad, cuando la motilidad es menor al 60%, el semen deberá rechazarse debido a que la fertilidad se ve afectada. Los tratamientos de aplicación de cafeína al semen incrementaron notoriamente la motilidad de este; este resultado se observó en el tratamiento a las 0 h y a las 48 h (Cuadro 3).

Este resultado coincide con lo reportado por Reed y Curnock (1990), quienes evaluaron tres diluyentes para la conservación de semen de cerdo con y sin adición de cafeína; los resultados mostraron un incremento significativo en motilidad de los espermatozoides en los tres diluyentes con la adición de cafeína, permaneciendo las diferencias en motilidad en todos los períodos estudiados, como ocurrió en el estudio de Contreras Martínez (2009). Este efecto se debe a que la cafeína inhibe a la enzima fosfodiesterasa permitiendo la acumulación de nucleótidos cíclicos, especialmente del Adenosín

monofosfato cíclico (AMPC) intracelular, provocando un aumento de la actividad flagelar (O'Flaherty et al. 1997).

Cuadro 3

Comparación de medias en motilidad (%) de las células espermáticas del cerdo de acuerdo con el tratamiento utilizado.

Tratamiento	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h	84 h	96 h
Con Cafeína	56	52	49	47	41	36	33
Cafeína 48 horas	---	---	44	50	47	44	39
Sin Cafeína	59	43	41	36	34	27	24

Nota. Tomado de Contreras Martínez (2009)

Según Contreras Martínez (2009) el incremento significativo de la motilidad espermática que produce la cafeína debiera reflejarse en un incremento de la fertilidad para justificar su incorporación en los activadores espermáticos (Cuadro 4).

Cuadro 4

Efecto de catéteres de inseminación con cafeína y Ca^{2+} en la fertilidad y prolificidad en cerdas de reemplazo.

Grupo	Número de animales	Número de partos	% Fertilidad	Nacidos Totales y promedio	Nacidos vivos totales y promedio
Control	135	121	88.62 ± 6.72	1426	1328
				11.85 ± 1.15	10.88 ± 1.10
Cafeína y Ca^{2+}	135	129	95.23 ± 5.25	1583	1426
				12.36 ± 1.16	11.15 ± 1.01

Nota. Los resultados son expresados como medias ± error estándar.

Nota. Tomado de García et al. (2016)

Se encontró que el catéter con cafeína y Ca^{2+} aumentó significativamente ($P \leq 0.05$) el porcentaje de fertilidad (95.33 ± 5.25) con respecto al control (88.62 ± 6.72), en las otras variables no hubo diferencias estadísticamente significativas. Los resultados de fertilidad mejoraron en las cerdas de reemplazo con el

uso del catéter de cafeína y Ca^{2+} ; este aumento se le atribuye a la mejora de motilidad en el espermatozoide, por lo que le da más oportunidad de llegar al sitio de fertilización. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Yamaguchi et al. (2013), donde se ve la mejora de este parámetro. En este estudio por haber sido realizado con hembras de reemplazo que tienen su primer contacto con semen y el útero aún no está preparado inmunológicamente para saber la respuesta a la inseminación, estos resultados son alentadores y un preliminar a futuros ensayos que refuercen estos hallazgos (García et al. 2016).

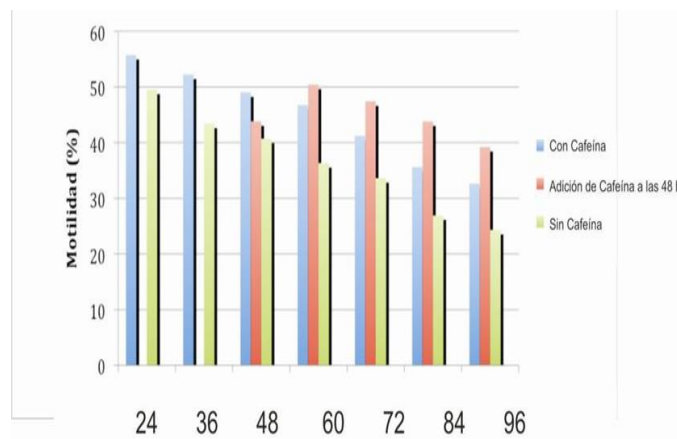
Teniendo en cuenta que el espermatozoide porcino, requiere de la presencia de un acrosoma intacto, luego de la capacitación para completar el proceso de fertilización, la cafeína puede ser utilizada, como agente capacitante, solo a bajas concentraciones (10 mM por dosis seminal), considerando, como inductores óptimos de la capacitación de espermatozoides porcinos (O'Flaherty et al. 1997).

En la Figura 6, se observó que el efecto de la cafeína sobre la motilidad del semen permanece hasta los 96 h que duró el estudio Contreras Martínez (2009).

Una dificultad en el manejo de semen para la IA en porcinos es precisamente el control de la conservación de las células espermáticas, ya que hay que considerar la composición del plasma seminal. Es posible incrementar el movimiento de las células espermáticas con la adición de estimulantes como la cafeína, al momento de diluir el semen, mejorando la capacitación, y consecuentemente, la fecundación. La cafeína puede resultar de utilidad práctica para mejorar la conservación del semen de cerdo refrigerado o congelado, mejorando su vigor motriz, al actuar como activador de las células espermáticas (Yamaguchi et al. 2013).

Figura 6

Comparación de medias de motilidad (%) de células espermáticas del cerdo, según tratamiento y a diferentes tiempos.



Nota. Tomado de Contreras Martínez (2009)

Capítulo 3

Uso de plasma seminal en proceso de conservación de semen porcino

El plasma seminal es un fluido complejo, formado principalmente por compuestos inorgánicos y orgánicos, entre los que se encuentran aminoácidos, ácidos grasos, iones inorgánicos, ácido cítrico, carbohidratos, sales orgánicas, prostaglandinas y proteínas de bajo y alto peso molecular, actúa como regulador no solo de los procesos espermáticos, sino también a nivel de la fecundación y del tracto genital de la hembra (Barrios et al. 2005). Sirve como vehículo de transporte y soporte metabólico para los espermatozoides durante su travesía por el tracto genital de la hembra (Graaf et al. 2008). Los espermatozoides congelados poseen una menor probabilidad de fertilizar, debido en parte a un porcentaje menor de motilidad progresiva después del congelamiento y el descongelamiento, el semen de cerdo es muy susceptible a dichos procedimientos, en especial los de choque frío. El plasma seminal adicionado al semen descongelado revierte este fenómeno (Barrios et al. 2000).

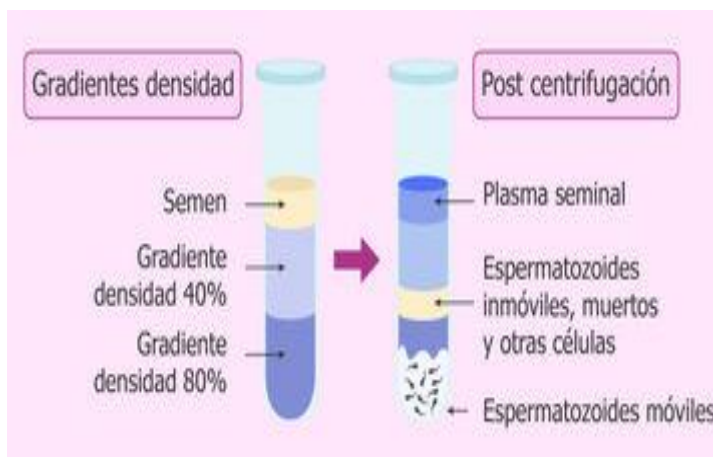
Durante el proceso de crio preservación, aproximadamente un 50% de las células espermáticas pierden su viabilidad, lo cual ha sido relacionado con el choque térmico, la producción de cristales intracelulares de hielo, el estrés oxidativo y/o la crio capacitación, condiciones que favorecen la pérdida de la motilidad, de la integridad de la membrana celular, así como, la capacidad fecundante del espermatozoide (Barbas y Mascarenhas 2009).

El semen se recolecta con el eyaculado del verraco, después se procede con el proceso de centrifugación a 3,800 rpm durante 15 minutos. De esta forma, los espermatozoides con mayor densidad se depositan en el fondo, mientras que los de menor densidad (inmóviles) y el plasma seminal se quedan en la parte media-superior (Figura 7). El plasma seminal centrifugado se debe de congelar a una temperatura -20 °C a una velocidad de (1 °C / min). Previo a la inseminación, se debe de descongelar en

un baño maría a una temperatura de 37 °C, suministrando una dosis pre y post inseminación (Hernández et al. 2007).

Figura 7

Efecto post centrifugación y lavado a espermatozoides de semen porcino.



Nota. Tomado de Camargo et al. (2021)

Al plasma seminal se le ha atribuido un efecto protector e incluso la capacidad de revertir el daño ocasionado en la célula espermática durante el proceso de crio preservación, es considerado como un estabilizador de la membrana plasmática que le brinda mayor resistencia al choque frío e incluso revertir el estado de capacitación y reacción acrosomal prematura que ocurre durante el proceso (García Vázquez et al. 2016), con lo que logra aumentar el porcentaje de viabilidad (motilidad, integridad de membrana, y del acrosoma) de los espermatozoides (Pech Sansores et al. 2011).

Se observa una mejora en el porcentaje de preñez cuando se realiza una infusión de plasma seminal en las cerdas múltiparas (Cuadro 5). Las diferencias encontradas fueron significativas para el porcentaje de preñez ($P \leq 0.05$), cuando se realiza la infusión con plasma seminal en cerdas múltiparas y primerizas. También se observaron diferencias significativas cuando se realizó infusión con plasma seminal en cerdas múltiparas comparado con infusión con solución salina en cerdas primerizas. El no

haberse encontrado diferencias entre los porcentajes de preñez de cerdas multíparas pudo deberse al tamaño de la muestra que se utilizó (Mejía Sánchez 2006).

Cuadro 5

Porcentaje de preñez obtenido de acuerdo con la categoría (número de partos) de las cerdas (multíparas, primeriza), al utilizar plasma seminal con semen congelado.

Tratamiento	Edad	% Preñez
Plasma Seminal	Múltipara	90.9 ^{a§}
Plasma Seminal	Primeriza	40 ^b
Solución Salina	Múltipara	75 ^{ac}
Solución Salina	Primeriza	57 ^{bc}

Nota. §Valores con letras diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Nota. Tomado de Mejía Sánchez (2006)

Los resultados de porcentaje de preñez en cerdas multíparas del presente estudio son similares a los resultados obtenidos por Lalama Proaño (2001), donde se obtuvo un incremento en fertilidad de 6% en cerdas multíparas inseminadas con semen fresco y con plasma seminal sintético.

El efecto protector que ejerce el plasma seminal en el espermatozoide es atribuido a la composición y concentración de sus componentes, como lo son proteínas, enzimas antioxidantes o algún componente orgánico o inorgánico capaz de modular las funciones espermáticas (Mercado de la Peña et al. 2011). Actúa como un medio de transporte para los espermatozoides a través del tracto reproductivo de la hembra y del macho, regula la osmolaridad del eyaculado a través de los componentes inorgánicos, es fuente de energía por los azúcares que contiene, brinda protección buffer contra los cambios de pH, protege a los espermatozoides de los efectos deletéreos de las especies reactivas del oxígeno a través de las enzimas antioxidantes, regula la respuesta inmune del tracto reproductivo de la hembra (Graaf et al. 2008).

Según Soede et al. (2006), el estrés durante el estro y los primeros días de preñez reduce la eficiencia reproductiva en la cerda. En el presente estudio el cambio de unidad productiva probablemente causa un estrés en la cerda siendo este uno de los principales factores que posiblemente incidieron en los bajos índice de tamaño de camada (Cuadro 6).

Cuadro 6

Tamaño de camada entre cerdas multíparas y primerizas con infusión de plasma seminal o solución salina antes y después de la inseminación artificial.

Tratamiento	Edad	Tamaño de Camada
Plasma Seminal	Multípara	7.57 ^{a§}
Plasma Seminal	Primeriza	4.60 ^b
Solución Salina	Multípara	7.20 ^a
Solución Salina	Primeriza	6.33 ^{ab}

Nota. §Valores con letras diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

Nota. Tomado de Mejía Sánchez (2006)

No existen diferencias entre las cerdas multíparas de ambos tratamientos ($P > 0.05$). De igual manera, las diferencias encontradas entre cerdas primerizas de los dos tratamientos no fueron significativas ($P > 0.05$) (Mejía Sánchez 2006).

De forma general, los diluyentes que incluyen el 75% y el 100% de plasma seminal en su composición son los que peores características tanto pre-congelación como post-descongelación presentaron. El diluyente con un 50% de plasma seminal es el que más valores intermedios presentó para las variables estudiadas, siendo un punto de inflexión con respecto a los peores y los mejores tratamientos. Los diluyentes con un 25% y un 10% de plasma seminal no fueron significativamente diferentes del control ($P > 0.05$) salvo para el porcentaje de EAN (Cuadro 7). Pero se observó como en el control disminuían significativamente todas las variables estudiadas entre tiempos de incubación (30 y

150 minutos). En cambio, en el diluyente con un 25% de plasma seminal las variables se mantuvieron sin diferencias entre tiempos de incubación, por lo que posiblemente la inclusión del plasma seminal en el diluyente pudiera ejercer un efecto protector a lo largo del tiempo tras la descongelación de los espermatozoides (Mercado de la Peña et al. 2011).

Cuadro 7

Diferentes concentraciones de plasma seminal y porcentaje de espermatozoides con acrosoma intacto, membrana plasmática intacta, vivos con actividad mitocondrial intacta, porcentaje de espermatozoides móviles totales, móviles progresivos y móviles progresivos rápidos a los 30 y 150 minutos post descongelación.

Variable	Tiempo (Min)	0 % Plasma	10 % Plasma	25 % Plasma	50 % Plasma	75 % Plasma	100 % Plasma	Error Estándar
EAN	30	61.3 ^{a†}	62.3 ^{a†}	61.3 ^{a†}	48 ^{b†}	41.7 ^{bc}	36.3 ^c	5.48
EAN	150	52.5 ^a	43 ^b	43 ^b	35 ^{bcd}	34 ^d	31.3 ^d	3.99
EMPI	30	60.5 ^{a†}	58.6 ^{ab}	56.1 ^{ab}	49.9 ^{bc}	43 ^c	45.9 ^c	3.74
EMPI	150	54.2 ^a	52 ^a	55.8 ^a	44.3 ^b	42.9 ^b	43.5 ^b	3.17
EVAMI	30	59.9 ^{a†}	56.4 ^{ab}	54.6 ^{ab}	51.3 ^{bct}	46 ^{bct}	44.5 ^c	3.98
EVAMI	150	52.2 ^a	53.4 ^a	55.2 ^a	45.6 ^{bc}	40.5 ^c	40.6 ^c	3.52
EMT	30	67 ^{a†}	59.7 ^a	62.5 ^a	47.2 ^b	27.3 ^c	22.2 ^c	4.9
EMT	150	55.5 ^a	52.7 ^{ab}	55.7 ^a	43.9 ^b	25.8 ^c	16.5 ^c	5.34
EMP	30	54.9 ^{a†}	49.8 ^a	49.1 ^a	32.3 ^b	16.6 ^c	11 ^{ct}	3.58
EMP	150	42.5 ^a	41.8 ^a	45.7 ^a	30.4 ^b	15.9 ^c	7.7 ^c	4.53
EMPR	30	49.9 ^{a†}	47.4 ^{a†}	45.1 ^a	26.8 ^b	12.7 ^c	8.1 ^{ct}	3.67
EMP	150	36.7 ^a	36.6 ^a	41.6 ^a	24.4 ^b	11.8 ^c	4.6 ^c	4.46

Nota. † Diferencias significativas entre el tiempo 30 y 150 min

Nota. Letras diferentes entre tratamientos, implica diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Nota. EAN: espermatozoides con acrosoma normal; EMPI: espermatozoides con membrana plasmática intacta; EVAMI: espermatozoides vivos con actividad mitocondrial intacta; EMT: espermatozoides móviles totales; EMP: espermatozoides móviles progresivos; EMPR: espermatozoides móviles progresivos rápidos.

Nota. Tomado de Mercado de la Peña et al. (2011)

Espermatozoides, semen y plasma seminal

El mecanismo encargado de la formación, almacenamiento y posterior expulsión de los espermatozoides se denomina espermatogénesis. Es la suma de las divisiones mitóticas y meióticas de células espermáticas precursoras que ocurren dentro del túbulo seminífero del parénquima testicular (Cruz Solís 2014). El espermatozoide, para poder ser fecundante tiene que: Poseer una óptima movilidad que le permita penetrar el canal cervical, ascender a las partes altas del tracto reproductivo femenino, sufrir la capacitación y la reacción acrosómica, atravesar la zona pelúcida del ovocito, sufrir la recondensación nuclear (Guzmán et al. 2007).

El plasma seminal de los animales de eyaculación de tipo uterino (porcinos y equinos) se caracteriza por un elevado contenido electrolítico, escasa capacidad tampón, gran riqueza en azúcares y elevada dotación enzimática, circunstancias que justifican el comportamiento de dicho material en cuando a su capacidad fecundante, tiempo de conservación in vitro, posibilidades de dilución (Camacho y Morejón 2000).

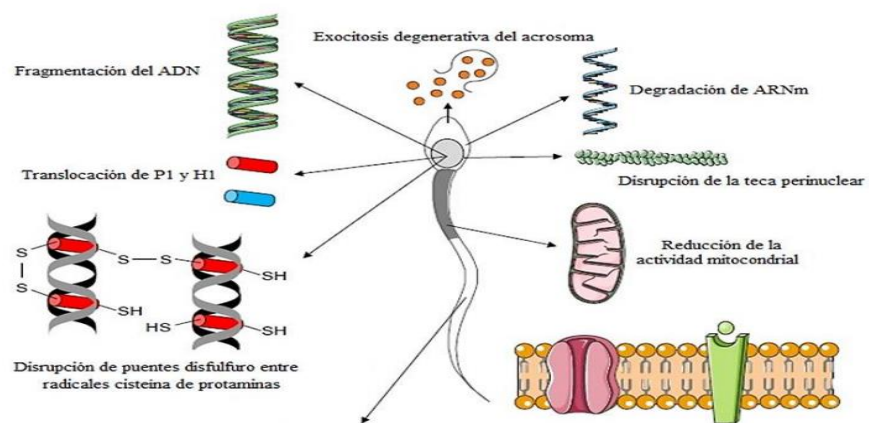
El período de espermatogénesis dura 34 días y una vez formado el espermatozoide y liberado en el túbulo seminífero, inicia el recorrido del epidídimo, proceso que le toma aproximadamente otros 10 días y durante el cual sufre una serie de cambios en su maduración que le confieren su capacidad fecundante (Garner y Háñez 2000).

La optimización de la crio preservación de esperma de verraco se ha realizado en las últimas dos décadas, los protocolos de congelación-descongelación impactan negativamente en la función y supervivencia de los espermatozoides, lo que también subyace a una reducción adicional en el rendimiento reproductivo (Yeste et al. 2015). La Figura 8 y las siguientes subsecciones están destinadas a

resumir las principales lesiones criogénicas resultantes de los procedimientos de congelación-descongelación.

Figura 8

Principales daños incluidos por el proceso de crio preservación en los espermatozoides del verraco.



Nota. Tomado de Yeste (2017)

Capítulo 4

Utilización de Prostaglandina $F_2\alpha$ exógena en IA porcina

Son hormonas derivadas del ácido araquidónico, la más importante para el mantenimiento de la ciclicidad sexual es la prostaglandina $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$). Su principal fuente de producción es el endometrio, a través de la prostaglandina endoperóxido H sintetasa. La incorporación de la $PGF_2\alpha$ se realiza en el momento de la inseminación artificial, inyectándola en la dosis antes de precalentar ésta a 35 °C para su uso inmediato y así evitar un choque térmico que comprometería la viabilidad de los espermatozoides de la dosis seminal (Contreras Solis 2009).

Las prostaglandinas están involucradas en el control de numerosos procesos en la gestación de las cerdas y participan en operaciones como: La regulación de la vida útil del cuerpo lúteo, el crecimiento y la diferenciación de las células endometriales, el flujo sanguíneo uterino, la permeabilidad vascular, el espaciamiento de los embriones en el útero y la implantación, la musculatura lisa del útero. La prostaglandina mejora el transporte pasivo, induce las contracciones a nivel uterino, esto amplifica el transporte activo por aumento de la movilidad natural de células de espermatozoides ante dichas contracciones de la musculatura lisa del tracto genital de la cerda (Stefanczyk-Krzymowska et al. 2005).

Hay que aclarar que el uso de aditivos en general y de prostaglandinas en particular en las dosis de semen de verraco se ha de observar como un “arma” a disposición del técnico para optimizar e incrementar la productividad de una explotación y en ningún caso como una forma de enmascarar un mal manejo, unas malas condiciones higiénico-sanitarias o, en definitiva, una mala gestión reproductiva de los animales: mala detección de celo, uso de semen viejo, inexperiencia del cubridor y mala técnica de inseminación (Aguarón 2016).

En el Cuadro 8 se han utilizado prostaglandina natural ($\text{PGF}_2\alpha$) y un análogo sintético, el cloprostenol y dentro de ésta última opción, comprobando las diferencias entre el uso de la mezcla racémica de D-L cloprostenol (isómeros dextrógiro y levógiro) frente al uso del isómero D (dextrógiro) exclusivamente.

Cuadro 8

Concentraciones de dosis seminales en diferentes tipos de aditivos en IA.

Grupo	Aditivo utilizado	Dosis aditivo / Dosis seminal	Número Cerdas inseminadas
GCON	Ninguno	-----	180
$\text{PGF}_2\alpha$	Prostaglandina $\text{F}_2\alpha$	5 mg	180
GDLC	D-L Cloprostenol	35 mg	180
GD-C	D Cloprostenol	37,5 mg	180

Nota. Tomado de Aguarón (2016)

La inseminación se realizó con dosis seminales a una concentración mínima de 3 millones de espermatozoides por mL, conservadas a 15 °C, durante un periodo comprendido que osciló entre 24-72 horas y precalentadas en baño maría a 35 °C. El tipo de inseminación utilizada fue cervical, con material desechable de un solo uso y realizada en presencia del macho. Se utilizaron verracos de raza Pietrain de 2 años de edad, con calidad seminal contrastada, sanos y cuyo ritmo de extracción oscila en 2 veces por semana (Aguarón 2016).

Se percibe una mejora sustancial en el porcentaje de fertilidad y en la tasa de partos con el uso de la $\text{PGF}_2\alpha$ (Cuadro 9 y 10), por sus efectos más específicos en las estructuras uterinas involucradas en el transporte pasivo de los espermatozoides sobre el tracto de la hembra (Aguarón 2016).

Cuadro 9

Porcentaje de cerdas que resultan positivas al diagnóstico de gestación 24 días post inseminación con y sin aditivos en dosis seminal.

Grupo	Número cerdas inseminadas	Cerdas con DG (+) a 24 días	% Fertilidad
GCON	180	156	86.67
PGF ₂ α	180	164	91.11
GDLC	180	169	93.89
GD-C	180	159	88.33

Nota. Tomado de Aguarón (2016)

Cuadro 10

Número de cerdas paridas y tasa de partos en grupo control, prostaglandina F₂α, D-L Cloprostenol y D Cloprostenol.

Grupo	Número cerdas inseminadas	Cerdas paridas	% Tasa de partos
GCON	180	154	85.56
PGF ₂ α	180	161	89.44
GDLC	180	165	91.67
GD-C	180	157	87.22

Nota. Tomado de Aguarón (2016)

La incorporación de prostaglandinas a las dosis de semen reduce la duración del celo y, por lo tanto, el número de inseminaciones. Además, se percibe una mejora sustancial en el porcentaje de fertilidad y en la tasa de partos con el uso de la PGF₂α, esto es debido a sus efectos más específicos en las estructuras uterinas involucradas en el transporte pasivo de los espermatozoides. Se trata de un aspecto interesante porque, a pesar de suponer un gasto añadido por la inclusión un aditivo, al reducir el número de inseminaciones se obtiene un retorno económico evidente (Aguarón 2016).

Los resultados con PGF₂α (Cuadro 11) concuerdan con otros estudios similares, utilizando semen fresco y adicionando Prostaglandina F₂α o los análogos sintéticos de ésta (D-L Cloprostenol y D

Cloprostenol) a las dosis seminales previo a la inseminación artificial, encontrando un incremento en el porcentaje de preñez al adicionar las hormonas (Aguarón 2016).

Cuadro 11

Porcentaje de preñez obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$).

Tratamiento	Inseminadas	Preñadas	Porcentaje de preñez ^{n.s.}
$PGF_2\alpha$	19	14	73.7
Control	15	10	66.7

Nota. n.s. = Diferencias no significativas ($P > 0.05$)

Nota. Tomado de Cruz y Castillo (2017)

Los resultados del Cuadro 12 concuerdan con los obtenidos por Cáceres (2008), quién obtuvo un porcentaje de parición de 50% al utilizar semen congelado con inseminación cervical, sin embargo, difieren a lo reportado en el mismo estudio al utilizar inseminación pos cervical, en donde obtuvo un 76.7% de porcentaje de parición, en ambos casos sin la adición de ningún tipo de hormona al semen congelado. La inseminación se realiza con dosis seminales a una concentración mínima de 3 millones de espermatozoides por mL, conservadas a 15 °C, durante un periodo comprendido que osciló entre 24-72 horas y precalentadas en baño maría a 35 °C.

Cuadro 12

Porcentaje de parición obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $F_2\alpha$.

Tratamiento	Inseminadas	Partos	Porcentaje de parición*
$PGF_2\alpha$	19	9	47.4 ^a
Control	15	6	40.0 ^b

Nota. * = Números con letras distintas en la columna difieren entre sí ($P \leq 0.05$).

Nota. Tomado de Cruz y Castillo (2017)

El uso de prostaglandinas como aditivos seminales supone una gran mejora en los índices reproductivos y productivos de las cerdas. Por esta razón el retorno económico que se puede esperar justifica su uso de manera rutinaria en las granjas de multiplicación de porcino (Aguarón 2016).

El incremento en el número de lechones nacidos (Cuadro 13) al adicionar la hormona puede deberse a que el transporte de los espermatozoides dentro del útero depende tanto de la capacidad individual del espermatozoide para trasladarse, más conocido como transporte activo, así como también de los movimientos contráctiles del útero provocados por la acción de las hormonas como la $\text{PGF}_2\alpha$ denominado transporte pasivo (Cruz y Castillo 2017).

Cuadro 13

Tamaño de camada (lechones nacidos vivos y nacidos totales por parto) obtenido en cerdas inseminadas con semen congelado con o sin la aplicación de la hormona prostaglandina $\text{F}_2\alpha$.

Tratamiento	Nacidos Totales*	Nacidos Vivos*
$\text{PGF}_2\alpha$	12.33 ^a	10.22 ^a
Control	9.33 ^b	8.67 ^b

Nota. *= Números con letras distintas en la columna difieren entre sí ($P \leq 0.05$)

Nota. Tomado de Cruz y Castillo (2017)

Capítulo 5

Factores que afectan la calidad seminal

Se considera que el semen de verraco es de calidad cuando posee una buena capacidad fecundante, se puede obtener una mayor cantidad de dosis seminales y puede conservarse un mayor periodo de tiempo sin perder dicha capacidad, la calidad seminal es muy variable, pueden existir diferencias entre eyaculados de un mismo reproductor o entre eyaculados de diferentes reproductores (Cuadro 15) (Frunza et al. 2008). La selección de buenos reproductores para la fundación de una piara es de fundamental importancia, cualquiera que sea el tamaño de la explotación, debe considerar la integración de animales que reúnan las mejores características productivas y reproductivas, que puedan brindar un alto rendimiento económico al productor (Carpio 2018). El nivel de producción en una explotación comercial de cerdos depende tanto de la genética como del ambiente. La contribución genética se hace a través de los verracos, las hembras seleccionadas y el sistema de cruzamiento utilizado (Montaño Bermúdez 2021).

La evaluación del semen es fundamental para detectar problemas de subfertilidad e infertilidad en el verraco, consecuencia de distintos factores que influyen sobre la calidad seminal, como los factores medioambientales, el estado nutricional, condiciones sanitarias (Torrentes et al. 2013).

Edad

Influye sobre el volumen y concentración espermática. La espermatogénesis se inicia muy temprano, entre los tres a cuatro meses de edad y la erección del pene es posible observarlo a partir de los cinco meses, por ello, los primeros eyaculados se colectan a partir de los siete a ocho meses (Frunza et al. 2008). La concentración de los espermatozoides se incrementa considerablemente a partir de los 7 a 8 meses hasta el año de edad, luego se mantiene hasta la etapa de adulto, en un ambiente subtropical

es factible mantener la vida productiva de un verraco como donante de semen durante 4 años, esta longevidad puede llegar a los 6 años de vida en climas más templados (Huang et al. 2010).

Con relación a la edad óptima para utilizar a un semental, se observó que, aunque el volumen del eyaculado tiende a mantenerse conforme la edad avanza, la concentración disminuye y las anormalidades aumentan considerablemente (Cuadro 14) (Rocha et al. 2005).

Cuadro 14

Influencia de la edad del verraco en la calidad del semen y dosis por eyaculado.

Edad (Meses)	Volumen (mL)	Concentración (Millones / mL)
	Media – D.E	Media – D.E
Menores de 12	197.72 – 72.3 ^a	322.2 – 96.3 ^a
De 12 a 18	212.32 – 81.7 ^b	405.3 – 85.2 ^b
De 18 a 24	274.28 – 56.9 ^c	386.7 – 52.9 ^b
De 24 a 30	263.25 – 69.8 ^c	358.3 – 65.2 ^{bc}
De 30 a 36	247.23 – 77.5 ^d	330.2 – 87.5 ^c
Mayores de 36	253.58 – 83.8 ^d	349.5 – 105.3 ^{bc}

Nota. Letras diferentes entre tratamientos, implica diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Nota. Tomado de Rocha et al. (2005)

Nutrición

En los verracos, la mayor ganancia de peso vivo se relaciona con alteraciones en la composición del semen, menor volumen y anomalías morfológicas de los espermatozoides. Para obtener un eyaculado con buenas características es necesario manejar a los reproductores de manera individual y mantener un plan nutricional correcto (Marchesi y Cesarini 2012). La producción de esperma depende de la intensidad del uso del verraco y, por lo tanto, resultan especialmente importantes en momentos de máxima actividad sexual. Es recomendable suplementar al verraco activo con un 3% de aceite de soja o girasol, rico en ácidos

grasos poliinsaturados, como el linoleico, linolénico y araquidónico, 13% de proteína bruta (lisina = 0.6% y aminoácidos sulfurados 0.42%, vitaminas A, C, D, E (Latorre Górriz 2016).

Condición Corporal

El animal debe tener el peso corporal mayor al promedio. Igualmente, que tenga menor cantidad de grasa dorsal que el resto de los compañeros, para lo cual se debe realizar su medición a los 100 kg de peso vivo. En cuanto a la condición corporal, no se deben sentir las vértebras aplicando presión firme con la palma de la mano (especialmente cerca de la cola) (Quintero Moreno 2016).

Ritmo de colección

La frecuencia de las colecciones presenta una correlación inversa con el volumen del eyaculado y la concentración espermática, es decir, al aumentar el número de colecciones, el volumen de eyaculado disminuye 20% en las frecuencias de dos y tres veces por semana, con reducciones mayores si el semen es extraído todos los días. Con relación al número de espermatozoides por eyaculado, se observa una disminución de hasta un 76% en verracos con colecciones diarias. Las frecuencias elevadas de colecciones en el verraco originan alteraciones en el patrón de secreción y reabsorción de los fluidos del epidídimo, que ocasionarían defectos en la maduración y anomalías en la motilidad de los espermatozoides (Pruneda et al. 2005).

Volumen

El eyaculado total promedio del verraco es de 250 mL, con un rango que varía entre 50 a 400 mL. La gran variación del volumen seminal se explica por el tamaño de las glándulas seminales y bulbouretrales y al grado de estimulación sexual alcanzado antes de la colecta y también es consecuencia de los diversos factores que influyen en el verraco y que afectan de manera directa o indirecta la producción del eyaculado, como: La edad, raza, frecuencia de colecta, estado nutricional, momento de la colecta y estado

de salud (Frunza et al. 2008). El eyaculado del verraco presenta tres fracciones, que se pueden separar fácilmente: La primera fracción es un líquido transparente pobre en espermatozoides; luego de 30 segundos a un minuto se secreta la segunda fracción, que es una emisión blanquecina muy rica en espermatozoides (500 a 1,000,000 / mL). Luego el color cambia a un color más claro, con pobre concentración (100,000 / mL), en esta fase se secreta el mayor volumen del eyaculado, que puede alcanzar 80 mL y la tercera fracción, sale al final del eyaculado, es un líquido viscoso gelatinoso con gránulos secretado por las glándulas Bulbouretrales, que constituye el 20% del eyaculado (Weitze 2000).

pH

El semen del verraco tiene un pH que oscila entre 6.5 a 7.5. Los cambios en el pH seminal afectan la viabilidad y motilidad espermática. Los bajos o elevados niveles de la secreción de las glándulas sexuales accesorias son determinantes para que el pH del semen tenga una reacción alcalina ó más ácida (King y Macpherson 1966).

Motilidad espermática

La evaluación de este parámetro determina la proporción de espermatozoides móviles y de movimiento progresivo. La movilidad individual es una de las características más indicadoras de la capacidad fecundante en vivo de una muestra de semen y se correlaciona positivamente con la fertilidad en porcinos. La motilidad y viabilidad de los espermatozoides depende de una secreción equilibrada y proporcional de las vesículas seminales y próstata. Los fluidos de las vesículas seminales contienen factores que tienen un efecto negativo sobre la motilidad espermática. Mientras, que la secreción de la próstata contiene factores que estimulan la motilidad y al entrar en contacto con los espermatozoides lo protegen de los efectos negativos de la secreción de las vesículas seminales (Mortimer 2000).

El movimiento normal de los espermatozoides es rectilíneo, en una sola dirección, progresivo y con movimientos rápidos de la cola. Los eyaculados con estas características son los más fértiles y para ser considerados de calidad, el 80% de los espermatozoides deben tener un movimiento progresivo. Los espermatozoides presentan también movimientos anormales, de rotación, vibración y retroceso, las observaciones de estas anomalías se relacionan con una menor fertilidad (Broekhuijse et al. 2012).

Cuadro 15

Características seminales de reproductores porcinos.

Características	Número de animales	Media
Volumen total (mL)	244	290.1
Volumen libre (mL)	264	146.9
pH	277	7.6
Movilidad individual (%)	277	94.1
Calidad del movimiento (%)	277	4.2
Concentración ($\times 10^3/\text{mm}^3$)	273	615.4
Espermatozoides normales (%)	260	77.9
Anormalidades de cabeza (%)	258	2.6
Anormalidades de pieza media (%)	259	16.6
Anormalidades de pieza principal (%)	260	2.8
Acrosomas normales (%)	260	88.1

Nota. Tomado de Henao et al. (2004)

Tamaño Testicular

Es un indicador reproductivo al relacionarse con el número de espermatozoides, deben ser de forma y tamaño simétricos y sin defectos, para ello se debe hacer una palpación de los órganos genitales externos para descartar animales con testículos muy pequeños o sin la turgencia propia de un testículo activo, presencia de hernias, criptorquidia, asimetría marcada o retención excesiva de líquido en el

espacio entre prepucio y pene (Quintero Moreno 2016). Verracos con testículos de mayor tamaño, entre los 150 a 180 días de edad, producen eyaculados con mayor volumen y de mejor calidad, sin embargo, esto no es un indicio de la libido o la actividad sexual del cerdo .

Conclusiones

El uso de cafeína en la dosis seminal, afecta positivamente en la motilidad de los espermatozoides, debido a que ejerce un rol activador en las células espermáticas.

Utilizar plasma seminal como aditivo en dosis seminales, ejerce un efecto protector sobre los espermatozoides, facilitando su traslado sobre el tracto reproductivo de la cerda.

La hormona Prostaglandina $F_{2\alpha}$ en IA, influye en un mayor porcentaje de fertilidad, cerdas paridas y tasa de partos, al añadirla en dosis seminales.

Recomendaciones

Llevar a cabo estudios en cerdas nulíparas y multíparas, utilizando aditivos en dosis seminales, para determinar si existen diferencias significativas entre los parámetros reproductivos.

Analizar las dosis seminales previo a IA, teniendo en cuenta la motilidad, concentración de espermatozoides y anomalías presentes que tienen influencia directa sobre la calidad seminal.

Referencias

- Aguarón A. 2016. Comparativa del uso de prostaglandinas como aditivos en las dosis de semen de verraco para la inseminación artificial. Efectos sobre los parámetros productivos de la cerda. [sin lugar]. http://axonveterinaria.net/web_axoncomunicacion/criaysalud/20/20-por-Uso-prostaglandinas.pdf.
- Alba Romero C de. 2013. La inseminación intrauterina en cerdos: beneficios y riesgos. Minitub Ibérica. 10:16–24. <http://www.perulactea.com/wp-content/uploads/2012/09/LA-INSEMINAC%C3%8DON-INTRAUTERINA-EN-CERDOS-BENEFICIOS-Y-RIESGOS.pdf>.
- Barbas JP, Mascarenhas RD. 2009. Cryopreservation of domestic animal sperm cells. *Cell Tissue Bank*. 10(1):49–62. eng. doi:10.1007/s10561-008-9081-4.
- Barrios B, Fernández-Juan M, Muiño-Blanco T, Cebrián-Pérez JA. 2005. Immunocytochemical localization and biochemical characterization of two seminal plasma proteins that protect ram spermatozoa against cold shock. *J Androl*. 26(4):539–549. eng. doi:10.2164/jandrol.04172.
- Barrios B, Pérez-Pé R, Gallego M, Tato A, Osada J, Muiño-Blanco T, Cebrián-Pérez JA. 2000. Seminal plasma proteins revert the cold-shock damage on ram sperm membrane. *Biol Reprod*. 63(5):1531–1537. eng. doi:10.1095/biolreprod63.5.1531.
- Beyli E, Brunori J, Campagna D, Cottura G, Crespo D, Degegri D, Ducommum L, Faner C, Figueroa ME, Franco R, et al. 2012. Buenas Prácticas Pecuarias(BPP)para la producción y comercialización porcina familiar [Manual]. Buenos Aires, Argentina. 277 p; [consultado el 3 de may. de 2021]. <http://www.fao.org/3/i2094s/i2094s.pdf>.
- Broekhuijse M, Feitsma H, Gadella BM. 2012. Artificial insemination in pigs: predicting male fertility. *Vet Q*. 32(3-4):151–157. eng. doi:10.1080/01652176.2012.735126.
- Cáceres W. 2008. Evaluación de la inseminación artificial intra cervical y pos cervical con semen congelado en cerdas multíparas. [Tesis pre grado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/851/1/T2555.pdf>.
- Caiza D. 2009. Manejo de verracos para la obtención y procesamiento de semen porcino e inseminación artificial. Quito, Ecuador.: Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1667/1/CD-1959.pdf>.
- Calle Aznar S. 2011. Determinación analítica de la cafeína en diferentes productos comerciales. [Tesis pre grado]. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11148/PFC1.pdf>.

- Camacho, Morejón. 2000. Valoración de la calidad de semen porcino utilizando el test endósmosis y test de resistencia osmótica. Quito, Ecuador.: Universidad Central del Ecuador.
- Camargo N, Gacha L, Rodríguez N, Trujillo K. 2021. Características y manejo del semen en porcinos. <https://www.emaze.com/@AOTCZFQOI>.
- Carpio A. 2018. Importancia del verraco en la explotación porcina. Razas porcinas. <https://razasporcinas.com/importancia-del-verraco-dentro-de-la-explotacion-porcina/>.
- Contreras Martínez ME. 2009. Efecto de la cafeína sobre la motilidad de las células espermáticas en la especie porcina (*Sus scrofa*) [Tesis pos grado]. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. 59 p; [consultado el 3 de may. de 2021]. <http://eprints.uanl.mx/5590/1/1020166049.PDF>.
- Contreras Solís I. 2009. Protocolo corto de sincronización del celo, mediante la aplicación de Cloprostenol y el uso del "Efecto Macho" en ovejas West African en condiciones tropicales [Tesis post grado]. Madrid, España: Universidad Complutense. 138 p; [consultado el 3 de may. de 2021]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/8467/1/T30737.pdf>.
- Cruz JF, Castillo JF. 2017. Evaluación de la prostaglandina F2 α (Lutalyse®) en la fertilidad de cerdas multíparas inseminadas artificialmente con semen congelado [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6087/1/CPA-2017-032.pdf>.
- Cruz Solís D. 2014. Estudio comparativo de 3 diluyentes (Tris Citrato de sodio y Trilady) en el procesamiento de semen bovino. [Tesis de pre grado]. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/3781/T20276%20CRUZ%20SOLIS,%20DIEGO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>.
- Esbenshade K. 2006. Secretos y ciencia del ciclo estral. Reproducción Porcina. Revista electrónica Hog Farmer. http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/secretos_y_ciencia_del_ciclo_estrual.html.
- Espinosa Y. 2012. Ciclo sexual de la cerda y factores que influyen en el indicador reproductor parto/cubriciones de esta especie. Porcicultura. <https://www.porcicultura.com/destacado/Ciclo-sexual-de-la-cerda-y-factores-que-influyen-en-el-indicador-reproductivo-parto%C2%B0cubriciones-de-esta-especie>.
- Evans A, O'Doherty J. 2001. Endocrine changes and management factors affecting puberty in gilts. *Livestock Production Science*. 68(1):1–12. doi:10.1016/S0301-6226(00)00202-5.
- Falceto MV. 2015. Fisiopatología ovárica en la cerda. Guías prácticas en producción porcina. https://issuu.com/editorialservet/docs/p75720_dosier.

- Falceto MV, Alfonso J, Duque M, Ciudad MJ, Espinosa E. 2004. Variaciones fisiológicas en la funcionalidad ovárica de la cerda. *Dialnet*. (82):11–32. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=951961>.
- Frunza I, Cernescu H, Korodi G. 2008. Physical and chemical parameters of boar sperm [Tesis pre grado]. Romania. 7 p; [consultado el 3 de may. de 2021]. https://www.usab-tm.ro/vol8MV/101_vol8.pdf.
- Fuentes Cintra M, Pérez García L, Suárez Hernández Y, Soca Pérez M. 2006. Características reproductivas de la cerda. Influencia de algunos factores ambientales y nutricionales. *Revista electrónica de veterinaria*. 7(1):1–36. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612648012.pdf>.
- García R, Jiménez H, Espinosa H, Nava C, Reyes F, Vásquez C. 2016. Uso de catéteres de inseminación artificial con cafeína e iones de calcio. *El Sitio Porcino*. <https://www.elsitioporcino.com/articles/2771/uso-de-catateres-de-inseminacion-con-cafeana-e-iones-de-calcio/>.
- García Vázquez F, Hernández Caravaca I, Llamas PJ. 2016. Optimización de la inseminación post-cervical en la especie porcina: puntos críticos. *Genética y Reproducción*; [consultado el 3 de may. de 2021]. (333):1–7. https://www.3tres3.com/articulos/optimizacion-de-la-inseminacion-post-cervical-en-la-especie-porcina-p_36170/.
- Garner D, Háñez E. 2000. Spermatozoa and Seminal Plasma. *Reproduction in farm animals*. Lippincott Williams and Wilkins Company. 96–109.
- Graaf SP de, Leahy T, Marti J, Evans G, Maxwell WMC. 2008. Application of seminal plasma in sex-sorting and sperm cryopreservation. *Theriogenology*. 70(8):1360–1363. eng. doi:10.1016/j.theriogenology.2008.07.012.
- Graeme T, Roese G. 2014. Manejo básico del verraco. *Intensive Industries Development*. <https://www.elsitioporcino.com/articles/2492/manejo-basico-de-cerdos-el-verraco-a-1-a-seleccian/>.
- Guthrie HD. 2005. The follicular phase in pigs: Follicle populations, circulating hormones, follicle factors and oocytes. *J Anim Sci*. 83(suppl_13):E79-E89. https://www.3tres3.com/articulos/periodos-criticos-durante-el-ciclo-reproductivo-de-las-cerdas_38/. doi:10.2527/2005.8313_supplE79x.
- Guzmán L, Pérez S, Valdivia M. 2007. Inducción de la reacción acrosómica en espermatozoides de ratón mediante solubilizados de zona pelúcida de alpaca (*Lama pacos* L.). *Revista Peruana de Biología*. 13:1–13. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332007000100014.
- Healthy H. 2008. Períodos críticos durante el ciclo reproductivo de las cerdas. 333. https://www.3tres3.com/articulos/periodos-criticos-durante-el-ciclo-reproductivo-de-las-cerdas_38/.

- Henao G, Trujillo LE, Butitica M, Sierra CI, Correa G, González OD. 2004. Efecto del clima sobre las características seminales de porcinos en una zona de bosque húmedo tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 57. doi:10.15446/rfnam.
- Hernández M, Roca J, Gil MA, Vázquez JM, Martínez EA. 2007. Adjustments on the cryopreservation conditions reduce the incidence of boar ejaculates with poor sperm freezability. *Theriogenology*. 67(9):1436–1445. eng. doi:10.1016/j.theriogenology.2007.02.012.
- Huang YH, Lo LL, Liu SH, Yang TS. 2010. Age-related changes in semen quality characteristics and expectations of reproductive longevity in Duroc boars. *Anim Sci J*. 81(4):432–437. eng. doi:10.1111/j.1740-0929.2010.00753.x.
- Jiménez Escobar C. 2011. Fisiología del ciclo estral de la cerda [Tesis pre grado]. Isla San Andrés: Universidad Nacional de Colombia. <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fisiologia%20del%20ciclo%20estral%20de%20la%20cerda.pdf>.
- King GJ, Macpherson JW. 1966. Alkaline and acid phosphatase activity, pH and osmotic pressure of boar semen. *Can J Comp Med Vet Sci*. 30(11):304–307. eng.
- Knox RV. 2005. Recruitment and selection of ovarian follicles for determination of ovulation rate in the pig. *Domest Anim Endocrinol*. 29(2):385–397. eng. doi:10.1016/j.domaniend.2005.02.025.
- Lalama Proaño VA. 2001. Uso de plasma seminal sintético, previo a la inseminación artificial en cerdas multíparas. [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1367/1/CPA-2001-T046.pdf>.
- Latorre Górriz M. 2016. La nutrición del verraco. *Alimentación Animal*. (6). https://www.3tres3.com/abstracts/efecto-de-la-nutricion-en-la-calidad-del-semen-porcino_31334/.
- Levis DG. 2000. Boar semen preservation II. *Reproduction in domestic animals*. [sin lugar].
- Madej A, Lang A, Brandt Y, Kindahl H, Madsen MT, Einarsson S. 2005. Factors regulating ovarian function in pigs. *Domest Anim Endocrinol*. 29(2):347–361. eng. doi:10.1016/j.domaniend.2005.02.030.
- Marchesi M, Cesarini F. 2012. Efecto de la nutrición en la calidad del semen porcino. 333. https://www.3tres3.com/abstracts/efecto-de-la-nutricion-en-la-calidad-del-semen-porcino_31334/.
- Mejía Sánchez L. 2006. Efecto de la infusión del plasma seminal antes y después de la inseminación artificial con semen congelado sobre la fertilidad de las cerdas [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 23 p; [consultado el 5 de mar. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/924/1/T2274.pdf>.

- Mercado de la Peña, Sánchez Sánchez Raúl, González de Bulnes López Antonio, Carrasco Manzano Juan Atanasio. 2011. Caracterización de la congelabilidad y mejora de los diluyentes de crioconservación espermática en porcino ibérico. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 1 online resource (215. ISBN: 978-84-695-1007-0.
- Montaño Bermúdez M. 2021. Como seleccionar sementales para una granja productora de cerdos para el rastro [Tesis de pre grado]. Ciudad de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=541.
- Mortimer ST. 2000. CASA--practical aspects. *J Androl.* 21(4):515–524. eng.
- O'Flaherty C, Beconi M, Beorlegui N. 1997. Effect of natural antioxidants, superoxide dismutase and hydrogen peroxide on capacitation of frozen-thawed bull spermatozoa. *Andrologia.* 29(5):269–275. eng. doi:10.1111/j.1439-0272.1997.tb00481.x.
- Pan PK, Sándigo A, Guevara L. 2008. Inseminación artificial porcina con semen fresco.: Ministerio Agropecuario y Forestal-Misión Técnica de Taiwán. Managua, Nicaragua.
- Pech Sansores A, Centurión Castro F, Rodríguez Buenfil J, Segura Correa J, Aké López J. 2011. Efecto de la adición de plasma seminal, vitamina E y tiempo de incubación en la viabilidad post congelamiento del esperma en semen de verraco [Tesis de pre grado]. Yucatán, México: Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma Yucatán. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n3/v14n3a19.pdf>.
- PIC. 2011. Manual de manejo de hembras y primerizas. [sin lugar]: Grupo de Servicio Técnicos. http://www.piclatam.com/news/galeria/upload/documentos/bObzQJ_Manual%20de%20manejo%20de%20la%20hembra.pdf.
- Pruneda A, Pinart E, Dolors Briz M, Sancho S, Garcia-Gil N, Badia E, Kádár E, Bassols J, Bussalleu E, Yeste M, et al. 2005. Effects of a high semen-collection frequency on the quality of sperm from ejaculates and from six epididymal regions in boars. *Theriogenology.* 63(8):2219–2232. eng. doi:10.1016/j.theriogenology.2004.10.009.
- Quiles A, Hevia M. 2018. Control del ciclo sexual, celo y ovulación en la cerda [Tesis pre grado]. Murcia, España: Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. file:///D:/OneDrive%20-%20Zamorano/Downloads/controldelcelo%20(2).pdf.
- Quintero Moreno AA. 2016. Aspectos claves en la cría del verraco. Portal Veterinaria. <https://www.portalveterinaria.com/porcino/articulos/13262/aspectos-clave-en-la-cria-del-verraco.html>.

- Reed, Curnock. 1990. Comparison of three liquid semen diluents in a national semen delivery service in Great Britain.: Proc. 2nd International Conference on Boar Semen Preservation, Beltsville, Maryland. 369–373.
- Rocha, Castañeda, Valencia. 2005. Factores que afectan la producción de dosis de semen en centros de inseminación artificial porcina. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. <http://www.uco.mx/revaia/portal/pdf/2005/sept/7.pdf>.
- Rodríguez Estévez V. 2010. El anestro y la infertilidad estacional de la cerda. Zaragoza: Servet. ISBN: 978-84-92569-31-1.
- Soede NM, van Sleuwen MJW, Molenaar R, Rietveld FW, Schouten WPG, Hazeleger W, Kemp B. 2006. Influence of repeated regrouping on reproduction in gilts. *Anim Reprod Sci.* 96(1-2):133–145. eng. doi:10.1016/j.anireprosci.2005.12.004.
- Stefanczyk-Krzymowska S, Chłopek J, Grzegorzewski W, Radomski M. 2005. Local transfer of prostaglandin E2 into the ovary and its retrograde transfer into the uterus in early pregnant sows. *Exp Physiol.* 90(6):807–814. eng. doi:10.1113/expphysiol.2005.031112.
- Syntex. 2005. Manejo farmacológico del ciclo e estral del bovino. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado 2005]. <https://www.produccion-animal.com.ar/>.
- Tejerina Ampudia F. 2007. Valoración mediante imágenes digitales del semen descongelado de verraco [Tesis pre grado]. León, España: Universidad de León. https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1204/2007TEJERINA_AMPUDIA%2C_FERNANDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Torrentes RA, Torrez KR, López J, Guevara L. 2013. Manual de inseminación artificial porcina. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. <https://cenida.una.edu.ni/textos/NL10U58.pdf>.
- Valencia JdJ, Heredia de Huerta B. 2013. Fisiología de la reproducción porcina. Primera edición. México, D.F.: Editorial Trillas. 163 p. ISBN: 9682418321.
- van den Brand H, Dieleman SJ, Soede NM, Kemp B. 2000. Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: I. Effects on glucose, insulin, and luteinizing hormone and on follicle development, weaning-to-estrus interval, and ovulation rate. *J Anim Sci.* 78(2):396–404. eng. doi:10.2527/2000.782396x.
- Varela Prieto LA. 2014. Situación actual, ventajas y desventajas de la inseminación artificial en las áreas de explotación porcina. [Monografía]. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/4145>.

Weitze KF. 2000. Infertilidade estacional no suíno. En: III Simposio Internacional "Inseminação Artificial em Suínos". Brasil: Universidade Federal do Rio.

Yamaguchi S, Suzuki C, Noguchi M, Kasa S, Mori M, Isozaki Y, Ueda S, Funahashi H, Kikuchi K, Nagai T, et al. 2013. Effects of caffeine on sperm characteristics after thawing and inflammatory response in the uterus after artificial insemination with frozen-thawed boar semen. *Theriogenology*. 79(1):87–93. eng. doi:10.1016/j.theriogenology.2012.09.012.

Yeste M. 2017. State-of-the-art of boar sperm preservation in liquid and frozen state. *Anim Reprod*. 14(1):69–81. doi:10.21451/1984-3143-AR895.

Yeste M, Estrada E, Rocha LG, Marín H, Rodríguez-Gil JE, Miró J. 2015. Cryotolerance of stallion spermatozoa is related to ROS production and mitochondrial membrane potential rather than to the integrity of sperm nucleus. *Andrology*. 3(2):395–407. eng. doi:10.1111/andr.291.