



UNIVERSIDAD  
SAN SEBASTIAN

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA  
CARRERA MEDICINA VETERINARIA  
SEDE CONCEPCIÓN**

**MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETECCIÓN DE ESTRO EN CERDAS  
DE LA INDUSTRIA PORCINA. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Memoria para optar al título de Médico Veterinario

Profesor Tutor: MCs Javier Agustín Neumann Vásquez MV

**Estudiante: Valentina Ignacia Nicole Cáceres Oñate**

® Valentina Ignacia Nicole Cáceres Oñate, Javier Agustín Neumann Vásquez  
Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Concepción, Chile

2025

## CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA

En Concepción, el día 10 de julio de 2025, los abajo firmantes dejan constancia que la estudiante Valentina Ignacia Nicole Cáceres Oñate de la carrera de MEDICINA VETERINARIA ha aprobado la memoria para optar al título de MÉDICO VETERINARIO con una nota de 5,8.-



---

Mg Edgardo Antonio Sepúlveda Navarrete

Presidente Comisión



---

MCs Mónica Liliana Araya Opitz

Profesor Evaluador



---

MCs Javier Agustín Neumann Vásquez

Profesor Patrocinante

## DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi abuela Doriza Peña Arriagada, la primera persona en estar tan orgullosa de mi desde el día que me matriculé en la carrera; se que desde el cielo me cuida y protege siempre, me ayuda todos los días a seguir adelante y a no rendirme jamás, por que como ella decía “la vida es dura hija, pero si luchas por tus sueños, lograras cumplir cada uno de ellos, jamás te rindas”.

También va dedicado a mis angelitos, mi Doky, Snoopy, Lulú, Margarita, Su y Cuchufli, mis mascotas de toda mi vida, que hoy ya no me acompañan físicamente. Ellos fueron quienes me inspiraron a elegir esta hermosa carrera y me ayudaron cuando estudiaba anatomía, acompañándome todas esas noches de estudio. A mi perrita Nala que me acompaña cada día y es mi pilar fundamental en esta vida, mi compañera fiel y leal; a mis gatitos Mao, Zuko y Simón que siempre están para relajar mi estrés académico, con sus cariños y ronroneos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecida de la ayuda de mi profesor tutor, el que me guió y ayudo en la construcción de mi memoria de título, por aprobar este tema a pesar de que no fuera su área de dedicación, pero aun así apoyo mi idea. También agradecer a mis compañeros que fueron un apoyo fundamental para no rendirme, ni darme por vencida en los momentos de dificultad y ayudarme a comprender muchas dudas durante el proceso de construcción de esta memoria. A mi padre Lizandro por siempre cumplir mis sueños y anhelos en esta vida; y a mi madre Rosa por enseñarme hacer fuerte y resiliente siempre con mis estudios, son mi inspiración en esta vida.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	6
3. MATERIAL Y MÉTODO .....	7
4. RESULTADOS.....	10
5. DISCUSIÓN .....	14
6. CONCLUSIÓN .....	16
7. REFERENCIAS.....	17
8. ANEXOS .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Diagrama que ilustra los eventos endocrinos durante el ciclo estral de la cerda.....	2
<b>Figura 2.</b>	Algunos signos de estro en cerda en celo: interés por el macho (a), hiperemia y edematización de la vulva (b), y en ocasiones montar a sus compañeras de corral o permitir ser montada por éstas (c).....	4
<b>Figura 3</b>	Reflejo de inmovilización (a) y prueba de cabalgue (b) para verificar el celo de una cerda.....	4

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Términos de búsqueda en inglés y español utilizados en revisión bibliográfica sobre métodos de detección de estro en cerdas.....	8
<b>Tabla 2</b>	Métodos de detección de estro en cerdas de reproducción publicados en artículos científicos periodo 2002-2024.....	10
<b>Tabla 3.</b>	Descripción de los métodos de detección de estro en cerdas de reproducción publicados en artículos científicos periodo 2002-2024.....	21
<b>Tabla 4.</b>	Resultados de objetivo 3 de los métodos de detección de estro en cerdas.....	23

## RESUMEN

El crecimiento de la población mundial aumenta la demanda de productos cárnicos, lo que impulsa la producción animal, especialmente en la industria porcina. La reproducción precisa es crucial para la rentabilidad de la industria, ya que una detección adecuada de estro y el momento de ovulación son determinantes para la producción, los errores en estos procesos pueden llevar a pérdidas económicas, ya sea por la disminución de la fertilidad y el aumento de los costos operativos. La ovulación ocurre durante el estro, y la correcta identificación de las fases del ciclo es vital para la inseminación artificial. Los cambios físicos y comportamentales durante el estro, como el edema vulvar y la inmovilización ante el macho, son fundamentales para realizar una detección precisa del estro. Existen múltiples factores que pueden influir en la detección del estro, incluyendo la rutina de los operarios y la falta de capacitación. El objetivo de esta memoria fue comparar la efectividad de diversos métodos alternativos de detección de estro en cerdas de producción, mediante una revisión bibliográfica de publicaciones científicas comprendidas del año 2002 hasta el 2024, que cumplieran con los criterios de inclusión. Fueron siete métodos los identificados los cuales constan de sensores ultrasónicos, termografía infrarroja digital, acelerómetros, impedancia vaginal, sistemas de inteligencia artificial, monitores de temperatura y actividad intravaginal, y sistemas robóticos de imágenes. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema robótico de imágenes, en especial el que utilizaba el modelo Xception, obtuvo una precisión de un 98,6%, siendo el método más eficiente para identificar posturas reproductivas de cerdas en etapa de estro. Luego los métodos que le siguen son la termografía infrarroja y los acelerómetros, los cuales demostraron una sensibilidad de detección de un 89,3% y 76,5% respectivamente. Algunos estudios no reportaron valores exactos en precisión o sensibilidad, y en algunos se requería del uso complementario de un verraco celador y una sincronización hormonal del estro. Estos métodos representan una mejora frente la técnica habitual, aportando objetividad, continuidad de monitorización y automatización de inseminación, destacándose su aporte al bienestar animal, reducción de estrés y aumento en las tasas de fertilidad. El método que se elija dependerá de los recursos disponibles de las industrias, el nivel de tecnificación de los planteles y del objetivo productivo que poseen. Se concluye que los métodos alternativos de detección de estro ofrecen ventajas tecnológicas, que optimizan los procesos reproductivos en la industria porcina. Y su implementación puede mejorar la eficiencia, reducir pérdidas económicas y actualizar la producción animal de forma sostenible.

**Palabras clave:** *detección, estro, cerda, técnicas, ciclo estral.*

## ABSTRACT

The growth of the global population increases the demand for meat products, which drives livestock production, especially in the swine industry. Accurate reproduction is crucial for the profitability of the industry, as proper detection of estrus and ovulation timing are key to production. Errors in these processes can lead to economic losses due to reduced fertility and increased operational costs. Ovulation occurs during estrus, and correctly identifying the phases of the cycle is vital for artificial insemination. Physical and behavioral changes during estrus, such as vulvar edema and immobilization in the presence of a boar, are essential for precise estrus detection. Multiple factors can influence estrus detection, including worker routines and lack of training. The aim of this thesis was to compare the effectiveness of various alternative methods for estrus detection in production sows through a literature review of scientific publications from 2002 to 2024 that met specific inclusion criteria. Seven methods were identified: ultrasonic sensors, digital infrared thermography, accelerometers, vaginal impedance, artificial intelligence systems, intravaginal temperature and activity monitors, and robotic imaging systems. The results showed that robotic imaging systems, particularly those using the Xception model, achieved an accuracy of 98.6%, making it the most efficient method for identifying reproductive postures in sows during estrus. The next most effective methods were infrared thermography and accelerometers, with detection sensitivities of 89.3% and 76.5%, respectively. Some studies did not report exact values for accuracy or sensitivity, and in certain cases, the use of a teaser boar and hormonal synchronization of estrus was required. Although these methods represent an improvement over traditional techniques by providing objectivity, continuous monitoring, and insemination automation, they also contribute to animal welfare, stress reduction, and increased fertility rates. The choice of method will depend on the available resources of each facility, the level of technology in use, and their specific production goals. In conclusion, alternative methods for estrus detection offer technological advantages that optimize reproductive processes in the swine industry. Their implementation can improve efficiency, reduce economic losses, and modernize animal production in a sustainable way.

**Keywords:** *detection, estrus, sow, techniques, estrous cycles.*

# 1. INTRODUCCIÓN

A medida que la población mundial crece, aumenta la demanda de productos animales. Estas demandas hacen crecer la producción mundial de carne animal. Las granjas de producción animal están introduciendo nuevas herramientas más tecnológicas que facilitan y aumentan su producción animal, para así satisfacer las altas demandas de carne animal en el mundo (Berckmans, 2008). En la industria porcina se le da una vital importancia a la reproducción precisa y oportuna, para lo cual los agricultores intentan mejorar el bienestar animal, el que se ve reflejado en el aumento de la productividad (Pietrosemoli & Tang, 2020). Una detección precisa del estro y su momento de ovulación son la determinante en la rentabilidad y productividad en la industria porcina (Zheng et al., 2023).

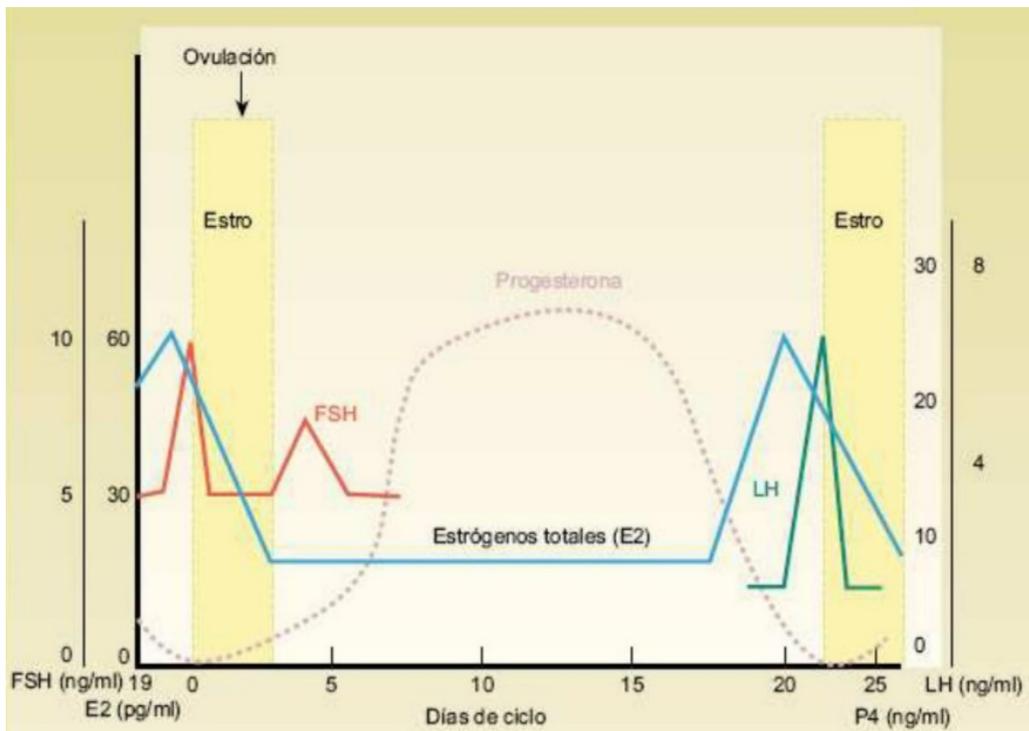
Para el mejoramiento genético de las camadas porcinas, la detección del estro e inducción de la ovulación están relacionadas estrechamente con la inseminación artificial, con el fin de buscar el momento preciso de ovulación para realizar el procedimiento y obtener fecundaciones efectivas, con preñeces exitosas para la obtención de nuevas camadas con mejoramiento genético rentable para el mercado de producción cárnica porcina (Knox, 2016). Si existe una falta de detección de estro o se realiza defectuosamente la detección, esto implicaría una reproducción errónea y momentos menos precisos para realizar la inseminación artificial, resultando en una disminución de la fertilidad y periodos de intervalos entre partos más largos o incluso menos partos por hembra; la detección defectuosa del estro afectaría a la industria con pérdidas económicas, por la disminución de la eficacia reproductiva, el descenso de producción y el alza de los costos de manejo (Riaz et al., 2023).

## 1.1. Ciclo estral de la cerda

Las cerdas son consideradas poliéstricas continuas, es decir que sus ciclos son sucesivos y se presentan durante todo un año (Calvo, 1995). Son constantemente cíclicas, teniendo una capacidad para producir gran número de crías en un corto periodo

de tiempo (Gordon, 2006). El ciclo estral de la cerda tiene una duración de 21 días con una variación de 17 a 25 días. El día 0 es considerado el primer día que se presenta el celo, siempre y cuando la hembra sea receptiva al macho y exprese comportamientos de recepción del macho, como es ponerse de pie para ser montada por el macho. El proceso de ovulación ocurre entre las 23 a 48 horas después de ser detectado el estro; pero este evento es variable, por lo cual se realiza más de una inseminación en las hembras, asegurando la efectiva fecundación (Sterle & Safranski, 2018). El ciclo estral presenta una fase folicular que se presenta en el proestro con una duración de 2 días y el estro el que dura 24 a 72 horas; y una fase lútea presente en el metaestro que dura 2 días y el diestro que dura 14 días (Rangel & Hernández., 2018). El conocimiento de la dinámica hormonal en el ciclo estral de la cerda es de suma importancia a la hora de querer identificar en qué fase reproductiva se encuentra la hembra (Calvo, 1995).

**Figura 1.** Diagrama que ilustra los eventos endocrinos durante el ciclo estral de la cerda (Laing et al., 1991).



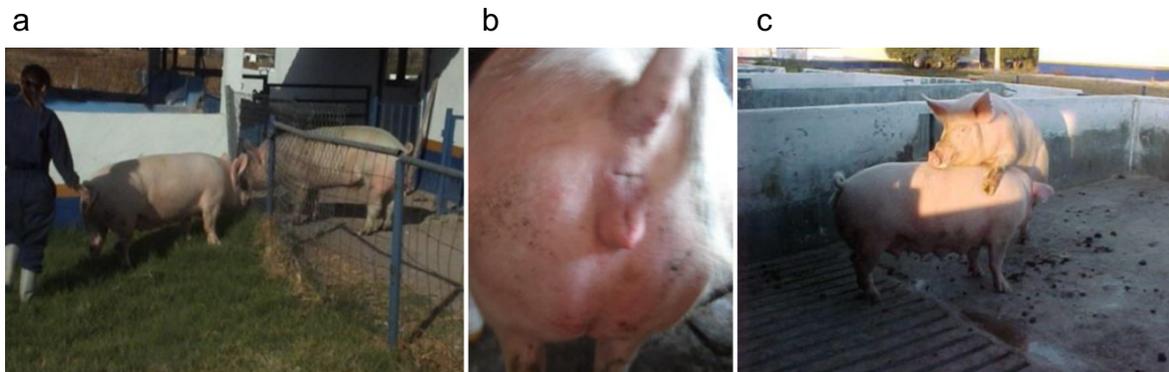
La figura 1 representa los diferentes niveles hormonales en las fases del ciclo estral de la cerda. En la fase proestro el ovario se desarrolla y forma los folículos, ocurre una elevación de los niveles de estrógeno. Su duración varía entre los 2 y 3 días. La fase de estro o también conocida como celo, ocurre la maduración y dehiscencia folicular, con un máximo nivel de estrógeno (Madej et al., 2005). El celo tiene una duración de 2 a 3 días, estando en esta fase las cerdas presentan signos físicos de celo, momento ideal para realizar la monta o inseminación artificial; idealmente se realiza el segundo día de celo, ya que las ovulaciones comienzan luego de las 24 a 35 horas de haber iniciado el celo (Calvo, 1995). La ovulación en cerdas es de tipo espontánea, quiere decir que no es necesario el apareamiento o ser estimulada para eso (Stornelli & De la Sota, 2016). En la fase lútea ocurre el metaestro, fase en la cual el ovario presenta un cuerpo hemorrágico luego de ser liberado los folículos; del cual se forma rápidamente el cuerpo lúteo, en esta fase la hormona en dominancia es la progesterona y la duración de esta fase es de 2 días (Rangel & Hernández 2018). El diestro es la fase más larga del ciclo en la cual el cuerpo lúteo ya está formado y en su máxima secreción de progesterona, cuando se efectúa la fecundación este cuerpo lúteo se mantiene para conservar la gestación; de lo contrario si no se realiza, el cuerpo lúteo sufre luteólisis y se prepara para una nueva onda folicular (Rangel & Hernández, 2018).

## **1.2. Signos de estro en cerdas**

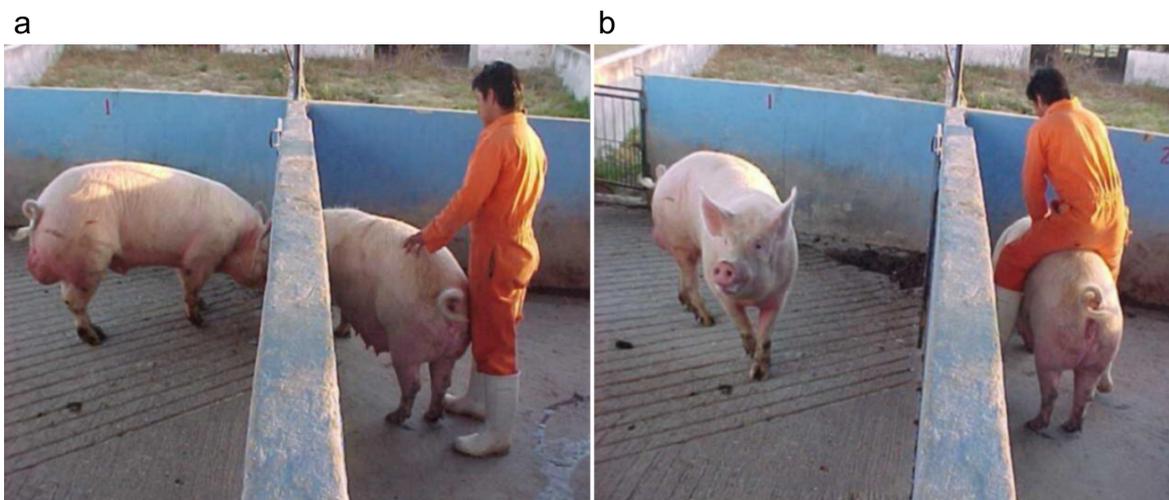
La detección oportuna y concreta de los signos del estro en cerdas es de suma importancia para llevar un correcto plan reproductivo. En el estro es la única etapa en que la hembra presenta interés por el macho y es susceptible a la monta y copula (Rangel & Hernández, 2018). La hembra en celo presentara cambios físicos y conductuales, como lo es el edema y enrojecimiento de la vulva, el aumento de producción de moco y se ve interesada por el macho colocando sus orejas rectas, se ve inquieta y emite más gruñidos, también baja su apetito; cuando el macho está cerca de ella permanece inmóvil y adopta una lordosis de su lomo (Steverink et al., 1999). Cuando se encuentran en corrales compartidos la cerda se deja montar por el macho o bien se deja montar por sus compañeras, también intenta montarlas; pero el signo de mayor interés al realizar la

detección de estro es el reflejo de inmovilización (Porras & Flores, 2009). Para verificar y detectar que la cerda se encuentra en celo se necesita de un operador experto que realice la prueba, la cual consisten en realizar una presión en el lomo y si la cerda se queda inmóvil es positiva a la prueba, encontrándose en celo; esta respuesta es llamada “reflejo de inmovilización” y para confirmar la respuesta positiva el operador se sienta en el lomo de la cerda, método llamado “prueba de cabalgue” (Porras & Flores, 2009).

**Figura 2.** Algunos signos de estro en cerda en celo: interés por el macho (a), hiperemia y edematización de la vulva (b), y en ocasiones montar a sus compañeras de corral o permitir ser montada por éstas (c) (Porras & Flores, 2009).



**Figura 3.** Reflejo de inmovilización (a) y prueba de cabalgue (b) para verificar el celo de una cerda (Porras & Flores, 2009).



### 1.3. Factores que afectan en la correcta detección de estro

Muchas veces no se trata de una incapacidad de los operarios, sino de una falla en el tiempo para realizar la inseminación artificial; el operario tiene una rutina diaria y con la distracción puede haber pérdida de este periodo de tiempo, ya que a veces es difícil de detectar y corregirlo por parte de los operarios (Sánchez, 2021).

Otro factor que se presenta en la formación de los operarios es la capacitación defectuosa o la falta de esta, realizando los procedimientos sin estar capacitados y preparados para realizarlos; siendo el factor humano uno de los elementos más difíciles de controlar en la industria de la producción, ya que las practicas que se realizan son siempre las mismas, haciéndose rutinarias y cíclicas; entonces no se percatan de los errores mínimos que se pueden cometer (Sánchez, 2021). Son muchas las variables que influyen en los resultados reproductivos, hay veces que se relacionan en el mismo lugar, lo que dificulta la detección de la procedencia de las fallas (Jabif, 2013). Se ven casos de alta densidad en chanchillas que inducen un celo débil o es silencioso, lo cual pone en duda su detección de celo (Kulhers, 1985). Hay ocasiones donde se sabe la causa del error, pero no se estudia el momento en el que suceden; los operarios encargados de realizar la detección de celo muchas veces no tienen la paciencia y el poder de observación para realizar una correcta y precisa detección del celo, siendo una falla de la reproducción la que afecta a la productividad en costos económicos para la industria (Jabif, 2013). Por lo cual es que han surgido innovaciones y tecnologías para complementar a la correcta detección de estro, como la incorporación de inteligencia artificial, uso de cámaras infrarrojas o sensores ultrasónicos; que facilitan el trabajo para obtener más precisión al momento de detectar un celo en las cerdas. ¿Cuáles son algunos de los métodos alternativos para realizar detección de estro en cerdas de la industria de producción porcina?; y ¿Cuál es su efectividad para detectar el estro?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluación de la efectividad de detección de estro que poseen los métodos alternativos en la producción porcina.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Identificar los métodos alternativos de detección de estro en cerdas de producción porcina.
2. Describir las tecnologías y técnicas alternativas en la detección de estro de cerdas domésticas.
3. Analizar la efectividad de los métodos alternativos para detectar el estro de cerdas, con sus resultados de la sensibilidad y precisión de cada método, cantidades de cerdas evaluadas por métodos, si hubo utilización de sincronización estral y presencia de verraco celador.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### **Material**

Computador portátil Sony VAIO

#### **Diseño**

Se ejecuta una revisión bibliográfica sistemática a partir de publicaciones científicas tales como artículos científicos, revistas de producción animal, estudios de universidades extranjeras publicados, libros de reproducción y producción animal.

#### **Estrategia de búsqueda**

La información recopilada de los buscadores de las bases de datos tales como Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Web of Science (<https://www-webofsciencecom/>), EBSCO (<https://search-ebSCOhost-com/>) y en los motores de búsqueda, como Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) y en la Red de Bibliotecas USS (<https://biblioteca.uss.cl/>).

#### **Términos de búsqueda**

Para la recolección de información se utilizó los siguientes términos, en su mayoría en inglés, pero también en español. Aplicando el operador booleano “OR” para acotar los resultados de las técnicas en búsqueda.

**Tabla 1:** *términos de búsqueda en inglés y español utilizados en revisión bibliográfica sobre métodos de detección de estro en cerdas*

Términos en ingles	Términos en español
Estrus	Estro
Sow	Cerda
Signs of estrus	Signos de estro
Techniques or technologies in estrus detection	Técnicas o tecnologías en detección de estro
Cycle estrous	

### **Criterios de inclusión**

Se incluyen las publicaciones tanto en español e inglés, que se obtienen de los buscadores, que se encuentran dirigidos en las técnicas de detección de estro utilizados en la reproducción de cerdas domésticas, que evalúan tecnologías o técnicas de detección de estro; y que son publicadas en la ventana temporal definida más adelante.

### **Criterios de exclusión**

Se excluyen las publicaciones que estén publicadas en otros idiomas distintos al español e inglés, que evaluaron detección de estro en otras especies distinta a cerda doméstica, o que no evaluaron técnica o tecnología de detección de estro. Se excluyen los artículos enfocados en inseminación artificial, crecimiento de camadas o crecimiento de lechones. También los estudios publicados con anterioridad a la ventana temporal.

### **Ventana temporal**

Se abarcan publicaciones desde los años 2002 hasta el año 2024, incluyendo los años mencionados.

## **Análisis de datos**

Se realiza un análisis de tipo descriptivo cualitativo, que comienza con “técnicas de detección de estro en cerdas” y se analiza las técnicas alternativas con innovaciones en el área de detección de estro.

Como primer objetivo se analiza los métodos de detección de estro alternativos que se han utilizado en la reproducción porcina, describiendo sus técnicas de manejo para detectar el estro en las cerdas domésticas.

Para segundo objetivo se describen las técnicas y tecnologías alternativas que se han inventado a lo largo del tiempo en la detección de estro de cerdas domésticas. Para realizar una comparación de efectividad de detección de estro de los métodos alternativos utilizadas en la industria de producción porcina, utilizando los datos entregados por los estudios, como la sensibilidad y precisión de cada método, cantidades de cerdas evaluadas por métodos, si hubo utilización de sincronización estral y presencia de verraco celador al momento de detectar el estro de las cerdas.

## **Presentación de datos**

Los resultados se presentan por medio de imágenes y tablas de comparación de efectividad de detección de estro de los métodos alternativos, para lo cual se utiliza Microsoft Excel®. Los datos extraídos de los estudios son: la cantidad de cerdas evaluadas, a cuantas cerdas se le sincronizó su ciclo estral y en cuáles estudios se utilizó el método habitual de detección de estro antes de probar el método alternativo y cuales se realizaron en presencia de un verraco celador; estos datos se expresan en números absolutos los cuales se exponen en porcentaje. Realizando un análisis descriptivo comparativo de cada referencia.

## 4. RESULTADOS

Para poder responder los objetivos específicos mencionados en el texto, se realiza una búsqueda entre los meses de marzo y junio, en donde se encuentra un total de 304 resultados, de los cuales 11 cumplen con los criterios de inclusión y son utilizados para realizar este estudio.

**Objetivo específico 1: Identificar los métodos alternativos de detección de estro en cerdas de producción porcina.**

**Tabla 2.** *Métodos de detección de estro en cerdas de reproducción publicados en artículos científicos periodo 2002-2024*

Autor(es)	Método de detección de estro
Lee et al. (2019)	Sensores ultrasónicos
Lee et al. (2019); Cornou, 2006; Sharifuzzaman et al., 2024	Termografía infrarroja digital
Cornou, 2006; Cornou & Lundbye-Christensen, 2010; Benjamín & Yik, 2019.	Acelerómetro
Řezáč et al., 2002; Řezáč & Olič, 2006.	Impedancia vaginal
Verhoeven et al., 2023; Sharifuzzaman et al., 2024;	Sistema de inteligencia artificial
Johnson & Shade, 2017.	Monitores de temperatura y actividad intravaginal
Xu et al., 2023	Sistema robótico de imágenes

Fueron identificados siete métodos alternativos para la detección del estro en cerdas, los que demuestran avances tecnológicos importantes en comparación al método habitual de visualización por parte de operarios. Los métodos que se identificaron en esta revisión fueron los sensores ultrasónicos, termografía infrarroja digital, acelerómetros, medición de impedancia vaginal, sistemas de inteligencia artificial, monitores de temperatura y actividad intravaginal, y los sistemas robóticos de imágenes. Estos métodos alternativos identificados se caracterizan por la monitorización de parámetros fisiológicos o conductuales que ocurren en el estro, con la utilización de tecnologías automatizadas que

ayudan a realizar un seguimiento más objetivo y continuo del comportamiento reproductivos de las cerdas.

**Objetivo específico 2: Describir las tecnologías y técnicas alternativas en la detección de estro de cerdas domésticas.**

Los métodos de detección de estro funcionan de diferentes maneras, los sensores ultrasónicos registran el tiempo de reposo y frecuencia de movimientos en las cerdas. Se ha observado que estos aumentan durante el estro (Lee, J. H. et al., 2019). Termografía infrarroja digital mide el aumento de temperatura vulvar asociado al flujo sanguíneo en el área genital durante el estro (Simões et al., 2014; Sharifuzzaman et al., 2024). Los acelerómetros detectan cambios en la actividad física, revelando un aumento significativo previo y durante el estro (Cornou & Lundbye-Christensen, 2010). Impedancia vaginal consta en la medición de los cambios eléctricos en la mucosa vaginal, resultando ser menores durante el estro y mayores en la fase lútea (Řezáč & Olič, 2006). La inteligencia artificial (IA) es un sistema como Smart Sow Breeding o PigWatch que analizan en tiempo real el comportamiento a través de cámaras y algoritmos que calculan el momento óptimo para realizar la inseminación artificial (Verhoeven et al., 2023). Los monitores de temperatura y actividad intravaginal son unos dispositivos que se insertan intravaginal, estos detectan las variaciones de temperatura y actividad que ocurre antes del estro (Johnson & Shade, 2017). Los sistemas robóticos de imágenes constan de la combinación de cámaras LiDAR con redes neuronales convolucionales (CNN), las que analizan las posturas y el comportamiento de las cerdas, reconociendo patrones asociados al estro (Xu et al., 2023). Todos estos datos recolectados se exponen una tabla **(Anexo 1: Tabla 4)**.

**Objetivo Específico 3: Analizar la efectividad de los métodos alternativos para detectar el estro, con sus resultados de la sensibilidad y precisión de cada método, cantidades de cerdas evaluadas por métodos, si hubo utilización de sincronización estral y presencia de verraco celador.**

En este estudio se analizaron siete métodos alternativos que han surgido en los últimos años para la detección de estro en cerdas, evaluando sus datos como la cantidad de animales evaluados en los estudios encontrados, si se implementó la sincronización hormonal del ciclo estral de las cerdas en los estudios, la utilización de verraco celador para detectar el estro y cuál era la sensibilidad o precisión de los métodos para detectar el estro en las cerdas. De cada método se encuentran los siguientes hallazgos.

Los sensores ultrasónicos consisten en la instalación de sensores en los establos para monitorear el comportamiento de las cerdas en reposo. Se evaluaron 80 cerdas, las cuales fueron sincronizadas con progesterona. No fue empleado el verraco celador y no se reportó una sensibilidad o precisión en este tipo de método.

La termografía infrarroja digital, se trata de la aplicación de sensores que evalúan la temperatura vulvar como un indicador para la detección del estro. Fue empleada en un estudio en 36 cerdas (30 multíparas y 6 primerizas), en otro estudio se empleó en 80 cerdas y en otro estudio se utilizó en 1144 cerdas, de las cuales se registró el uso de sincronización del celo con Altrenogest en las cerdas primerizas. Fue empleado el verraco celador para la detección del estro en este método. No se obtuvo un valor concreto de precisión, pero sí de sensibilidad de este método de un 72%, 79% y 89,3%, igualmente se indicó que la técnica requiere más experimentación.

Los acelerómetros son unos de los métodos que miden la actividad física de las cerdas, pudiendo comparar el comportamiento de ellas en el pre y post-estro. Se evaluaron 3 cerdas en un estudio y 11 cerdas en otro, de las cuales no sincronizaron hormonalmente, pero sí se utilizó la presencia de un verraco celador y se pudo reportar una sensibilidad del 53%, 73% y 76,5% en este método.

La impedancia vaginal se trata de una medición de la resistencia eléctrica de la mucosa vaginal. Pero no se obtuvo información sobre sincronización, pero con exposición a verraco celador. No se reportaron valores de sensibilidad o precisión.

El sistema de inteligencia artificial (IA), fue implementado en un estudio en tres granjas comerciales con un total de 1000 cerdas evaluadas y en otro estudio se evaluó en 1219 cerdas. Este método consta de redes neuronales que predicen el estro. No hubo una especificación del uso de sincronización, ni una precisión o sensibilidad que posee este modelo, pero sí se registró el uso de verraco celador como estímulo complementario. La IA se aplicó como herramienta de apoyo a decisiones para mejorar el rendimiento reproductivo.

Los monitores de temperatura y actividad intravaginal son sensores colocados intravaginalmente, que fueron probados en 12 cerdas jóvenes, las cuales fueron sincronizadas con Altrenogest al 0,22%. Fue necesario el uso de verraco celador. Pero no se especificó una sensibilidad o precisión con este método. Lo que se destacó fue que los sensores se tenían que retirar para realizar la inseminación artificial, lo que sugiere que su uso se emplea como una herramienta predictiva para identificar el momento óptimo de inseminación.

El sistema robótico de imágenes consta de un sistema automatizado de reconocimiento de posturas a través de visión computacional. Se registro su uso en 21 cerdas jóvenes y adultas sin sincronización de estro, pero utilizo la presencia de verraco celador. El modelo "Xception" obtuvo una precisión del 91,6% en la identificación del comportamiento de inmovilidad en las cerdas al momento del estro. Lo que resulto ser el único método con un valor de precisión concreto y alto, entre los demás modelos de sistema robótico, lo que indica una alta confiabilidad para detectar el estro en las cerdas de producción **(Anexo 2. Tabla 4.)**

## 5. DISCUSIÓN

La eficiencia reproductiva en la industria porcina depende de una correcta identificación del estro. Actualmente en la industria se sigue identificando el estro con la ayuda de operarios, quienes observan signos físicos y conductuales, como el reflejo de inmovilidad, enrojecimiento vulvar y comportamiento receptivo al macho (Steverink et al., 1999; Porras & Flores, 2009). Sin embargo, se ha registrado que estos métodos pueden presentar errores humanos, falta de capacitación y factores ambientales que dificultan la observación precisa para detectar el celo (Sánchez, 2021; Jabif, 2013).

En respuesta a estos problemas, es que han surgido avances tecnológicos que proporcionan herramientas que facilitan la detección de estro, para tener más precisión y de una forma automatizada la detección del estro. El método de la termografía infrarroja se ha caracterizado por ser una técnica no invasiva, que detecta los cambios fisiológicos que se observan en la vulva, como el incremento en su temperatura asociado al aumento de flujo sanguíneo que ocurre en el estro; con una alta precisión en la detección del estro y una sensibilidad de hasta un 89,3% (Simões et al., 2014; Riaz et al., 2023; Sharifuzzaman et al., 2024). En el caso de los acelerómetros se ha demostrado que la actividad física preestral puede aumentar hasta 10 veces, en comparación de la actividad física de las cerdas que no están en celo; reportándose con una sensibilidad que varía desde un 53% a 76,5% (Cornou, 2006; Cornou & Lundbye-Christensen, 2010). También el método de impedancia vaginal, basado en las variaciones eléctricas de la mucosa vaginal durante el ciclo estral, ha demostrado tener correlación clara con las fases del ciclo estral, obteniendo sus valores mínimos cuando cursa el estro en las cerdas; convirtiéndola en un método útil para corroborar el estado reproductivo de las cerdas (Řezáč & Olič, 2006). Pero al ser un método de carácter invasivo y del cual se necesitan instrumentos específicos para realizarlo, es limitada su aplicación en la práctica de la detección del estro.

La inteligencia artificial es uno de los avances más relevantes y que cada vez más se introduce en la ganadería, por ejemplo, el sistema PigWatch, el cual permite predecir el estro a partir de patrones conductuales que son analizados y recapturados con el uso de

cámaras y algoritmos; este método de detección de estro ha mostrado mejor desempeño que la detección habitual (Sharifuzzaman et al., 2024). Además de lo beneficioso que es para la industria de producción porcina contribuyendo a una mayor tasa de fertilidad, se reduce el número de inseminaciones por ciclo y disminuye los errores en el momento de la aplicación (Verhoeven et al., 2023). Finalmente, el sistema robótico de imágenes como la tecnología de cámaras LiDAR y el modelo de redes neuronales convolucionales como Xception, el que registro una precisión de un 98,6% en la detección del estro (Xu et al., 2023). Esta es una herramienta alternativa con una alta confiabilidad, además de ser automatizadas que se podría implementar en los sistemas productivos intensivos.

Todos estos métodos alternativos que fueron descritos aportan un enfoque más avanzado que complementa o incluso puede sustituir el método de detección habitual del celo, beneficiando a la eficiencia reproductiva, precisión diagnóstica del estro, el bienestar animal y la productividad del sistema.

Pero varios estudios presentan limitantes, como sus pequeños tamaños de muestreo, como en los estudios de acelerómetros, monitoreo de temperatura y actividad intravaginal, y en los sistemas robóticos de imágenes; falta de estandarización en los protocolos o incluso la dependencia del uso de un verraco celador para estimular a las cerdas que están en estro y así poder ser detectadas.

La efectividad de estos métodos depende de factores importantes como el manejo, la edad de las cerdas, el número de partos y las condiciones ambientales en las que viven las cerdas (Sharifuzzaman et al., 2024).

La selección del método más apropiado dependerá de los recursos tecnológicos disponibles en cada plantel, así también de los recursos económicos que tenga la industria, la capacitación del personal para operar los instrumentos y del objetivo productivo que quiera realizar la industria porcina.

## 6. CONCLUSIÓN

Se identifican siete métodos alternativos de detección de estro en cerdas, como el uso de sistemas de inteligencia artificial, sistemas robóticos de imágenes, acelerómetros, sensores ultrasónicos, termografía infrarroja digital, impedancia vaginal, y monitores de temperatura y actividad intravaginal. Estos métodos analizados ofrecen tecnologías y alternativas más objetivas, precisas y automatizadas para detectar el celo de las cerdas, lo que permite mejoras en los resultados reproductivos. Los métodos que han demostrado mejor eficiencia en detección de estro son el sistema robótico de imágenes con el modelo Xception, el método de termografía infrarroja digital y los acelerómetros demostraron ser útiles y de poca invasión para las cerdas. Y los métodos de termografía infrarroja digital y acelerómetros demostraron ser útiles y de poca invasión para las cerdas.

En conclusión, al implementar estas tecnologías innovadoras para la detección del estro en cerdas, se moderniza la producción porcina, mejora su rentabilidad y productividad, además de promueve un manejo más ético con el bienestar y eficiencia animal. Puede ser recomendable validar o comprobar estas tecnologías en los diferentes sistemas productivos de ganadería, en diferentes condiciones ambientales, para así ir explorando las diferentes combinaciones de estos métodos para que se complementen y así maximizar su precisión y aplicación.

## 7. REFERENCIAS

- Benjamin, M., & Yik, S. (2019). Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners. *Animals (Basel)*, 9(4), 133-. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
- Berckmans, D. (2008). Precision livestock farming (PLF). *Computers And Electronics In Agriculture*, 62(1), 1. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.002>
- Calvo (1995). Fisiología Del Aparato Genital Femenino. En Buxade, *Zootecnia bases de producción animal tomo I* (1era ed.,241-251). Mundi-Prensa Libros S.A.
- Cornou, C. (2006). Automated oestrus detection methods in group housed sows: Review of the current methods and perspectives for development. *Livestock Science*, 105(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.05.023>
- Cornou, C., & Lundbye-Christensen, S. (2010). Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.01.006>
- Gordon, I.R. (2006). Introducción. En *Reproductive Technologies in Farm Animals*,(1era ed., 1-65). Acribia, S.A.
- Jabif, M.F. (2013). *Fallas reproductivas: herramientas de diagnóstico y control*. En Estación experimental agropecuaria Marcos Juárez. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/00-reproduccion\\_IA\\_porcinas/08fallasreproductivas.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-reproduccion_IA_porcinas/08fallasreproductivas.pdf)
- Johnson, J. S., & Shade, K. A. (2017). Characterizing body temperature and activity changes at the onset of estrus in replacement gilts. *Livestock Science*, 199, 22–24. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.03.004>

- Knox, R. V. (2016). Artificial insemination in pigs today. *Theriogenology*, 85(1), 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.07.009>
- Lee, J. H., Lee, D. H., Yun, W., Oh, H. J., An, J. S., Kim, Y. G., Kim, G. M., & Cho, J. H. (2019). Quantifiable and feasible estrus detection using the ultrasonic sensor array and digital infrared thermography. *Journal of Animal Science and Technology*, 61(3), 163–169. <https://doi.org/10.5187/jast.2019.61.3.163>
- Madej, A., Lang, A., Brandt, Y., Kindahl, H., Madsen, M., & Einarsson, S. (2005). Factors regulating ovarian function in pigs. *Domestic Animal Endocrinology*, 29(2), 347-361. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.02.030>
- Pietrosemoli, S., & Tang, C. (2020). Animal Welfare and Production Challenges Associated with Pasture Pig Systems: A Review. *Agriculture*, 10(6), 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060223>
- Porras & Flores (2009). Manejo reproductivo de porcinos. En Porras & Páramo, *Manejo de Prácticas de Reproducción Animal* (1era ed., 197-212). Universidad nacional autónoma de México. [https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/manuales\\_2013/Manual%20de%20Practicas%20de%20Reproduccion%20Animal.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/manuales_2013/Manual%20de%20Practicas%20de%20Reproduccion%20Animal.pdf)
- Rangel, L., & Hernandez, J. H. (2018). Unidad 7 ciclo estral. En L. Rangel (Eds.), *Fisiología reproductiva de los animales domésticos* (1 era ed., pp. 104-130). Universidad Autónoma de México. [https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia\\_Reproductiva.pdf](https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Reproductiva.pdf)
- Řezáč, P., & Olic, I. (2006). Relationship between opposite changes of vaginal and vestibular impedance during estrous cycle in sows. *Theriogenology*, 66(4), 868–876. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.02.021>
- Řezáč, P., Kukla, R., & Pöschl, M. (2002). Effect of sow parity on vaginal electrical impedance. *Animal Reproduction Science*, 72(3), 223–234. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(02\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00089-1)

- Riaz, U., Idris, M., Ahmed, M., Ali, F., & Yang, L. (2023). Infrared Thermography as a Potential Non-Invasive Tool for Estrus Detection in Cattle and Buffaloes. *Animals*, 13(8), 1425. <https://doi.org/10.3390/ani13081425>
- Sánchez, M. (2021). *Soluciones a los errores frecuentes en la técnica de inseminación artificial de la cerda*. BM editores. <https://bmeditores.mx/porcicultura/soluciones-a-los-errores-frecuentes-en-la-tecnica-deinseminacion-artificial-de-la-cerda/>
- Sharifuzzaman, M., Mun, H.-S., Ampode, K. M. B., Laguna, 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 (Basel)*, 14(3), 471-. <https://doi.org/10.3390/ani14030471>
- Simões, V. G., Lyazrhi, F., Picard-Hagen, N., Gayrard, V., Martineau, G.-P., & Waret-Szkuta, A. (2014). Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. *Theriogenology*, 82(8), 1080–1085. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.017>
- Sterle, J., & Safranski, T. (2018). *Artificial Insemination in Swine: Breeding the Female*. [g023122018NovReviewed.pdf \(210.9Kb\)](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.07.017)
- Steverink, D.W., Soede, N.M., Groenland, G.J., van Schie, F.W., Noordhuizen, J.P., Kemp, B., (1999). Duration of estrus in relation to reproduction results in pigs on commercial farms. *Journal of Animal Science*. 77: 801–809. <https://doi.org/10.2527/1999.774801x>
- Stornelli, M. & De la Sota, R. (2016). Fisiología del ciclo estral de la cerda. En Fernández, V., Barrales, H., Compagnoni, M. & Williams, S (Eds.), *Manual de reproducción de animales de producción y compañía* (453-458). Universidad Nacional de La Plata. <http://hdl.handle.net/11336/109962>
- Verhoeven, S., Chantziaras, I., Bernaerdt, E., Loicq, M., Verhoeven, L., & Maes, D. (2023). The evaluation of an artificial intelligence system for estrus detection in sows.

*Porcine Health Management.*, 9(1), Article 9. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00303-3>

Xu, Z., Tian, F., Zhou, J., Zhou, J., Bromfield, C., Lim, T. T., Safranski, T. J., Yan, Z., & Calyam, P. (2023). Posture identification for stall-housed sows around estrus using a robotic imaging system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, Article 107971. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107971>

Zheng, H., Zhang, H., Song, S., Wang, Y., & Liu, T. (2023). Automatic detection of sow estrus using a lightweight real-time detector and thermal images. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*, 16(3), 194- 207. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231603.7711>

## 8. ANEXOS

### Anexo 1.

**Tabla 3.** Descripción de los métodos de detección de estro en cerdas de reproducción publicados en artículos científicos periodo 2002-2024

Método de detección de estro	Autor(es)	Ejecución	Observaciones
Sensores ultrasónicos	Lee, J. H. et al., 2019	Sensores ultrasónicos instalados en establos para medir el tiempo y números de reposos que presenta las cerdas en estro.	En periodos de estro el tiempo total de reposo, el número de reposos y el número de reposo en un tiempo de 10 minutos aumentan.
Termografía infrarroja digital	Lee, J. H. et al., 2019; Cornou, 2006; Sharifuzzaman et al., 2024	Sensores de termografía infrarroja digital la cual va instalada en la parte trasera de la cerda.	En periodos de estro la temperatura vulvar suele aumentar.
Acelerómetro	Cornou, 2006; Cornou & Lundbye-Christensen, 2010; Benjamín & Yik, 2019.	Medición de la actividad física de cada cerda en forma de collarín o crotal, con acelerómetros o podómetros.	La actividad preestral se observa una actividad 10 veces mayor. Las cerdas en estro tiene una actividad física 10 veces mayor a una cerda sin estro.
Impedancia vaginal	Řezáč et al., 2002; Řezáč & Olič, 2006.	Se mide la resistencia eléctrica de la mucosa vaginal con un impedancímetro	La impedancia vaginal alcanza su máximo en fase lútea y su mínimo en fase folicular.

Sistema de inteligencia artificial	Verhoeven et al., 2023; Sharifuzzaman et al., 2024.	Sistema de inteligencia artificial para la detección del celo en cerdas que recopila continuamente datos de comportamiento a través de una cámara que envía los datos a un gabinete de análisis.	Ayuda a los ganaderos a mejorar el rendimiento reproductivo, determinar el momento óptimo de inseminación, facilita la determinación del índice de fertilidad y reduce el número de inseminaciones por estro.
Monitores de temperatura y actividad intravaginal	Johnson & Shade, 2017.	Registadores intravaginales que se insertan 7 días antes de la fecha del segundo celo. Los registradores de datos transmiten la temperatura vaginal y los datos de actividad de cada cerda mediante señales de radiofrecuencia a las antenas dentro del galpón	Los registradores se retiran de la vagina 24 h después de la detección del estro para ser inseminadas. Al inicio del estro en las cerdas de reemplazo, la temperatura corporal disminuyó y la actividad aumentó.
Sistema robótico de imágenes	Xu et al., 2023	Sistema que reconoce patrones de postura de cerdas utilizando imágenes de una cámara LiDAR. Toman imágenes desde la vista posterior en un intervalo de 5 minutos. Se usan 4 tipos de imágenes (imagen infrarroja, imagen de profundidad, imagen de nube de puntos, imagen de nube de puntos con IR como canal alfa).	Se muestra un aumento del nivel de actividad diaria y una disminución del nivel de inactividad diaria acercándose al inicio del estro.

## Anexo 2.

**Tabla 4.** Resultados de objetivo 3 de los métodos de detección de estro en cerdas.

Autor(es)	Método de detección de estro	Cantidad de cerdas evaluadas	Sincronización de celo	Uso de verraco celador	Sensibilidad (%)
Lee et al., 2019	Sensores ultrasonicos	80 cerdas	si	no	No se menciona
Lee et al., 2019	Termografía infrarroja digital	80 cerdas	si	no	No se menciona
Cornou, 2006	Termografía infrarroja digital	59 cerdas	si	si	72%-79%
Sharifuzzaman et al., 2024	Termografía infrarroja digital	1144 cerdas	si	si	89,3%
Cornou, 2006	Acelerómetro	3 cerdas	si	si	53%
Cornou & Lundbye-Christensen, 2010	Acelerómetro	11 cerdas	No se menciona	No se menciona	73%
Benjamín & Yik, 2019	Acelerómetro		No se menciona	No se menciona	76,5%
Řezáč et al., 2002	Impedancia vaginal	177 cerdas	No se menciona	Si	Sensibilidad baja o variable
Řezáč & Olič, 2006	Impedancia vaginal	134 cerdas	No	Si	No se menciona
Verhoeven et al., 2023	Sistema de inteligencia artificial	1000 cerdas	No se menciona	Si	No se menciona
Sharifuzzaman et al., 2024.	Sistema de inteligencia artificial	1219 cerdas	Si	Si	No se menciona
Johnson & Shade, 2017	Monitores de temperatura y actividad intravaginal	12 cerdas	si	si	no se menciona