

SISTEMA Y MÉTODO PARA DETECCIÓN DE ESTRO Y PREÑEZ EN PORCINOS A PARTIR DE VARIABLES FISIOLÓGICAS

CAMPO TÉCNICO

5

La presente invención se ubica dentro del campo técnico de los dispositivos o sistemas que son usados en la industria de producción animal, específicamente en el manejo reproductivo de porcinos, y más particularmente en la detección del estado de preñez en los mismos.

10

Así, la presente invención está dirigida a un sistema para la detección de estro y preñez en porcinos, el cual comprende un dispositivo de sensor auricular no invasivo, configurado para registrar datos fisiológicos de un porcino, tal como presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y frecuencia cardíaca, en
15 donde dicho sensor auricular incluye un módulo de fotopletismografía (PPG) que mide la presión arterial diastólica (PAD), la presión arterial sistólica (PAS) y la frecuencia cardíaca (FC). Así mismo, el sistema cuenta con una unidad de control para procesar las señales recibidas de los sensores, un módulo de potencia que proporciona energía al dispositivo, una unidad de almacenamiento
20 local en el dispositivo de sensor auricular para almacenar temporalmente los datos fisiológicos capturados, un módulo de comunicación para transmitir los datos fisiológicos almacenados desde el dispositivo de sensor auricular a un servidor central o a la nube a través de una red inalámbrica por medio de Wi-Fi, una unidad de cómputo configurada para recibir y preprocesar los datos
25 fisiológicos transmitidos, una interfaz de usuario para visualizar en tiempo real los estados individuales del porcino junto con las métricas clave como la frecuencia cardíaca y las presiones arteriales, y un módulo de aprendizaje automático almacenado en la unidad de cómputo, configurado para analizar los datos fisiológicos preprocesados y clasificar el estado del porcino en una de las
30 categorías: estro, preñez o no preñez.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En la industria de animales, el diagnóstico de la preñez en porcinos constituye una de las prácticas más relevantes dentro del manejo reproductivo, dado que permite optimizar la eficiencia, reducir los días no productivos y garantizar una
5 mejor planificación del ciclo productivo, todo en la búsqueda de soluciones más tecnificadas.

Actualmente, los sistemas más empleados para la detección de preñez en porcinos pueden agruparse en métodos observacionales, fisiológicos e
10 instrumentales, en donde el método más básico y extendido es la observación del comportamiento de la hembra ante la presencia de un macho, comúnmente conocido como detección del reflejo de inmovilidad o reflejo de lordosis. Dicho método se basa en la respuesta sexual que presenta la hembra si se encuentra en estro, lo cual indica que no está gestante. No obstante, este enfoque requiere
15 personal entrenado y puede ser subjetivo, además de que depende del momento del ciclo reproductivo, pudiendo generar diagnósticos tardíos o imprecisos.

Del mismo modo, otro procedimiento que es ampliamente utilizado en la industria es el uso de ecografía transabdominal, el cual permite visualizar embriones o
20 fetos en el animal mediante ultrasonido. Aunque dicha ecografía es relativamente precisa, la misma requiere de ciertos equipos especializados, así como la manipulación directa de los animales, personal capacitado y puede verse directamente afectada por factores como la condición corporal del animal o incluso la presencia de gases intestinales al momento de llevar a cabo el
25 procedimiento.

Sumado a esto, existe el uso de dispositivos doppler que llegan a detectar el flujo sanguíneo uterino mediante una serie de señales acústicas, lo que permite también un diagnóstico a partir de cierto día concreto, pero con ciertas
30 limitaciones similares en cuanto a la necesidad de contacto físico, así como la experiencia del operario y precisión, entre otras variables involucradas.

De otra parte, en algunas granjas se incorporan marcadores bioquímicos o pruebas hormonales que analizan la presencia de progesterona o estrógenos en los fluidos corporales del animal, y aunque dicha técnica puede ofrecer un diagnóstico precoz, estas pruebas suelen tener un costo considerablemente
5 elevado, así como que requieren toma de muestras (tal como sangre, saliva, orina, leche, etc.) y el análisis en laboratorio o mediante kits comerciales, lo cual dificulta su aplicación práctica en sistemas intensivos de producción. Además, esta técnica presenta ciertos riesgos de resultados erróneos si las muestras no se toman en los momentos adecuados del ciclo.

10

En la práctica convencional, la detección de preñez en porcinos es llevada a cabo usualmente mediante observación de signos de comportamiento, uso del macho detector, o mediante métodos instrumentales como la ecografía o el uso de aparatos doppler para detectar flujo sanguíneo en el útero, tal como se explicó
15 anteriormente. Sin embargo, estas técnicas presentan una serie de limitaciones importantes, dentro de las que se encuentra el requerimiento de personal capacitado, así como requerir el manejo físico de los animales lo que puede generar estrés, y en algunos casos, su efectividad depende directamente del momento específico del ciclo gestacional, lo que conlleva a falsos positivos o
20 negativos.

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con dispositivos para la detección de preñez o estro en animales, dentro de las que se encuentran los documentos CN119165175, CN118240927,
25 CN115961058, CN115943908, CN113311176, CN112668418, y CN104865381, donde la gran mayoría de dichos documentos se enfoca en el uso de ciertos marcadores biológicos o pruebas de tipo PCR que permiten llevar a la detección del ciclo y la preñez.

30

Sin embargo, tal como se definió anteriormente, ese tipo de técnicas requieren de personal especializado y la manipulación directa del animal, lo cual es indeseable y genera ciertos costos que suelen ser elevados, así como el uso de

kits o pruebas comerciales que pueden no estar disponibles en algún momento específico que se requiera.

A partir de la información anterior, es claro que los documentos existentes en el estado del arte corresponden a una serie de pruebas o métodos de diagnóstico para determinar el ciclo de preñez en porcinos, donde todos los documentos se enfocan en el uso de una serie de marcadores y pruebas PCR que requieren de la interpretación de personal altamente calificado, al tiempo que requieren de la manipulación directa del animal.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia entonces que existe una clara necesidad en el estado del arte por contar con un sistema que sea más eficiente a lo divulgado en el arte previo, el cual debe ser automatizado y menos invasivo y que permita detectar el estado de preñez en porcinos de forma temprana, precisa y sin depender de la interpretación subjetiva de un operario.

Sumado a esto, los métodos existentes en el estado del arte para la detección de preñez en porcinos presentan una serie de problemas comunes, dentro de los que se encuentra la dependencia de la habilidad del operario, la necesidad de contacto físico con el animal, la limitación a ventanas específicas del ciclo reproductivo y finalmente, la falta de automatización, razones por las cuales muchas granjas actualmente aún enfrentan desafíos relacionados con falsos diagnósticos, planificación reproductiva deficiente y pérdidas económicas por mantener hembras no productivas, tal como se ha indicado anteriormente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Considerando los problemas y/o necesidades anteriores mencionadas, los presentes inventores han propuesto un nuevo sistema para la detección de estro y preñez en porcinos, el cual se basa en un dispositivo de sensor auricular no invasivo, el cual es configurado para registrar datos fisiológicos de un porcino, tal como presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y frecuencia cardíaca,

en donde dicho sensor auricular incluye un sensor de fotopletismografía (PPG) que mide la presión arterial diastólica (PAD), la presión arterial sistólica (PAS) y la frecuencia cardíaca (FC).

- 5 Adicionalmente, el sistema cuenta con una unidad de control que permite procesar las señales recibidas de los sensores, así como un módulo de potencia que proporciona energía al dispositivo, una unidad de almacenamiento local en el dispositivo de sensor auricular para almacenar temporalmente los datos fisiológicos capturados, un módulo de comunicación para transmitir los datos
- 10 fisiológicos almacenados desde el dispositivo de sensor auricular a un servidor central o a la nube a través de una red inalámbrica por medio de Wi-Fi o cualquier otra red adecuada sin limitaciones.

- El sistema además comprende una unidad de cómputo que es configurada para
- 15 recibir y preprocesar los datos fisiológicos transmitidos, así como una interfaz de usuario que permite visualizar en tiempo real los estados individuales del porcino junto con las métricas clave como la frecuencia cardíaca y las presiones arteriales, y finalmente, un módulo de aprendizaje automático almacenado en la unidad de cómputo, el cual es configurado para analizar los datos fisiológicos
- 20 preprocesados y clasificar el estado del porcino en una de las categorías definidas como estro, preñez o no preñez.

- Siendo así, la presente invención plantea una clara solución a los problemas y/o necesidades definidas anteriormente, toda vez que integra sensores, algoritmos
- 25 de análisis de datos fisiológicos o conductuales, y puede incorporarse fácilmente al entorno productivo, lo cual representa una mejora significativa en términos de bienestar animal, eficiencia operativa y toma de decisiones en granjas tecnificadas.

- 30 En este sentido, la presente invención propone un sistema altamente innovador para la detección del estado de preñez en porcinos, el cual se basa en la recolección continua de datos biológicos o comportamentales mediante

sensores ubicados estratégicamente en el animal o en el entorno, los cuales son procesados por un algoritmo que determina con alta precisión la presencia o ausencia de preñez, sin requerir de interpretación por parte de personal altamente calificado o especializado, donde además el presente sistema puede

5 funcionar de forma autónoma, generar alertas al operario y registrar históricos reproductivos, contribuyendo así a una gestión más eficiente de la unidad reproductiva.

Así, de acuerdo con lo definido anteriormente, el sistema de la presente

10 invención permite abordar una necesidad crítica en las explotaciones porcinas tecnificadas y semi-tecnificadas, donde la eficiencia reproductiva es un factor determinante en la rentabilidad del sistema productivo, esto toda vez que se obtiene un diagnóstico oportuno y preciso del estado de preñez, lo que permite optimizar el uso de recursos, reducir los días no productivos y mejorar la

15 planificación del manejo nutricional y sanitario de los animales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se entiende de forma más clara a partir de las siguientes

20 figuras donde se muestran los componentes asociados al presente sistema, dispositivo y/o aparato, así como los elementos novedosos con respecto al estado del arte, en donde las figuras no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está únicamente dado por las reivindicaciones adjuntas, en donde:

25 La Figura 1 corresponde a un diagrama de flujo que ilustra el método completo para la detección autónoma de estro, preñez o no preñez en cerdas, en donde dicho proceso abarca desde la adquisición de datos fisiológicos hasta la visualización en tiempo real de los estados individuales mediante una interfaz de

30 usuario.

La Figura 2 corresponde a un diagrama esquemático que detalla el funcionamiento interno del dispositivo auricular, el flujo de datos capturados, y la interacción con el usuario final.

- 5 La Figura 3 corresponde a una vista frontal del dispositivo auricular diseñado específicamente para su colocación en la oreja del cerdo, en donde en la figura se detalla su estructura externa, destacando cómo se adapta anatómicamente a la oreja del animal para asegurar la estabilidad y comodidad del dispositivo durante el monitoreo.

10

La Figura 4 corresponde a un diagrama esquemático de la arquitectura de red del sistema de la invención, en el cual se ilustra la ruta completa de transmisión de datos fisiológicos desde el sensor auricular colocado en la cerda hasta el servidor de procesamiento, y de allí hasta la interfaz del usuario, en donde el diagrama muestra la conectividad mediante enrutadores (routers), internet y red LAN, así como el retorno de los resultados procesados hacia dispositivos móviles del usuario, incluyendo gafas de realidad aumentada. Las gafas permiten identificar individualmente a cada animal mediante la lectura de un código QR, y visualizar directamente el estado fisiológico (estro, preñez o no preñez),
15 permitiendo una gestión reproductiva eficiente y automatizada.

20

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un sistema para la detección de estro y preñez en porcinos, basado en un dispositivo de sensor auricular no invasivo, el cual es configurado para registrar datos fisiológicos de un porcino, tal como presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y frecuencia cardíaca, en donde dicho sensor auricular incluye un sensor de fotopletismografía (PPG) que mide la presión arterial diastólica (PAD), la presión arterial sistólica (PAS) y la
25 frecuencia cardíaca (FC).

30

De esta forma, las Figuras 1 a 4 presentan el sistema de detección que se desea proteger, en donde dicho sistema está compuesto, comprende o consiste esencialmente, en general, sin limitaciones, de las siguientes partes o componentes:

5

- Un dispositivo de sensor auricular no invasivo (1) configurado para registrar datos fisiológicos de un porcino, el cual incorpora un sensor de fotopletimografía (PPG) configurado para medir presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD) y frecuencia cardíaca (FC);
- 10 • Una unidad de procesamiento y control configurada para procesar señales del sensor de fotopletimografía PPG;
- Una unidad de almacenamiento local ubicada en el dispositivo de sensor auricular y que permite almacenar temporalmente los datos fisiológicos capturados por los sensores;
- 15 • Una unidad de potencia que preferiblemente corresponde a una batería de litio recargable que alimenta eléctricamente el dispositivo, la cual está conectada a los otros elementos del sistema para su energización;
- Un módulo de comunicación inalámbrica para transmitir los datos fisiológicos almacenados en la unidad de almacenamiento y capturados
- 20 desde el dispositivo de sensor auricular a un servidor central, una unidad de cómputo o a la nube, en donde dicho módulo de comunicación inalámbrica preferiblemente es compatible con Wi-Fi u otro sin limitaciones;
- Una unidad de cómputo configurada para recibir y preprocesar los datos fisiológicos transmitidos a través del módulo de comunicación
- 25 inalámbrica; y
- Una interfaz de usuario que presenta visualmente en tiempo real el estado reproductivo del animal junto con las métricas fisiológicas capturadas de acuerdo con la información detectada o leída por los sensores y enviada
- 30 a la unidad de cómputo.

Así las cosas, el sistema de la presente invención representa una tecnología no invasiva que permite determinar o detectar el estado fisiológico reproductivo de porcinos, donde el sistema está particularmente orientado a determinar si el animal se encuentra en estado de estro, preñez o no preñez. De este modo, el sistema de la invención representa una mejora significativa respecto de los métodos convencionales, al integrar sensores fisiológicos, transmisión inalámbrica de datos, análisis basado en inteligencia artificial y una interfaz de usuario amigable para toma de decisiones en tiempo real.

Siendo así, el sistema como se muestra en la Figura 2 se caracteriza por un funcionamiento integrado, en donde el dispositivo recopila datos fisiológicos mediante los sensores PPG, los procesa con el microcontrolador y los almacena temporalmente en la unidad de memoria. Luego, utiliza el módulo de comunicaciones para enviar los datos a través de una conexión inalámbrica hacia un servidor, donde son preprocesados, procesados y analizados en tiempo real. La batería de litio asegura un funcionamiento autónomo durante todo el proceso.

Ahora, la unidad de cómputo o servidor (2) es el núcleo central donde se procesan, analizan y almacenan los datos transmitidos desde los dispositivos auriculares. Está diseñado para garantizar la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos fisiológicos en tiempo real. Sus componentes principales son:

Un procesador (10), el cual es el encargado de realizar el análisis y procesamiento de datos fisiológicos recibidos. Sus características principales son: Alta capacidad de cómputo para ejecutar algoritmos de aprendizaje automático. Soporte para paralelismo para manejar múltiples transmisiones de datos simultáneamente. Bajo consumo energético para operaciones prolongadas.

Una unidad de Memoria (Almacenamiento) (11), la cual es utilizada para guardar los datos fisiológicos de forma permanente o para registros históricos. Sus características principales son: Alta capacidad de almacenamiento para grandes conjuntos de datos provenientes de múltiples dispositivos. Compatibilidad con bases de datos relacionales o no relacionales para facilitar la organización y acceso a los datos. Mecanismos de respaldo (backup) para evitar pérdida de información.

Una memoria temporal (RAM) (12) que almacena temporalmente los datos que están siendo procesados antes de su almacenamiento permanente o visualización. Sus características principales son: Alta velocidad de acceso para procesar grandes cantidades de datos en tiempo real. Capacidad de gestionar múltiples tareas simultáneas, como preprocesamiento y análisis en paralelo.

Un módulo de comunicaciones (13) que es el encargado de recibir los datos transmitidos por los dispositivos auriculares y enviarlos al sistema de almacenamiento o análisis. Sus características principales son: Compatibilidad con tecnologías inalámbricas como Wi-Fi. Alta tasa de transferencia de datos para manejar transmisiones continuas desde múltiples sensores. Seguridad en las conexiones mediante encriptación para proteger la privacidad de los datos.

Un dispositivo móvil de visualización de usuario (3) que corresponde a la herramienta principal para acceder y monitorear en tiempo real la información procesada sobre las variables fisiológicas y el estado reproductivo de las cerdas (estro, preñez, o no preñez). Este dispositivo combina módulos avanzados para recibir, procesar y mostrar los datos de manera clara y accesible para los usuarios.

Un módulo de comunicaciones (14) que permite la recepción de datos fisiológicos procesados provenientes del servidor o dispositivo auricular. Sus características principales son: Soporte para tecnologías inalámbricas como Wi-Fi. Alta velocidad de transferencia de datos para garantizar actualizaciones en

tiempo real. Protocolos de encriptación para asegurar la privacidad y la integridad de los datos durante la transmisión.

5 Una unidad de memoria (15) que almacena temporalmente o de manera permanente los datos transmitidos y las configuraciones del sistema. Sus características principales son: Memoria interna suficiente para guardar reportes, configuraciones, y datos históricos. Capacidad de trabajar con almacenamiento externo o en la nube para respaldos y análisis extendidos. Organización eficiente de los datos para un acceso rápido y funcional.

10

Un microcontrolador (16) que corresponde al núcleo que controla la operación del dispositivo móvil, gestionando la interacción entre los módulos de comunicaciones, la memoria y la interfaz de usuario. Sus características principales son: Procesamiento optimizado para la integración de datos en tiempo real. Soporte para sistemas operativos móviles y aplicaciones específicas del sistema. Bajo consumo energético, lo que permite prolongar la duración de la batería.

20 Una unidad de alimentación o batería (16) que proporciona la energía necesaria para la operación del dispositivo y cuyas características principales son: Batería recargable de litio de alta capacidad. Diseño compacto para mejorar la portabilidad del dispositivo. Indicador de nivel de batería y sistema de carga rápida.

25 Una interfaz de monitoreo (17) que es el componente visual y funcional que permite al usuario interactuar con el sistema y visualizar los datos procesados. Sus características principales son: Pantalla táctil con resolución alta para una visualización clara y detallada. Representación gráfica de variables como presión arterial y frecuencia cardíaca. Indicadores visuales del estado reproductivo (estro, preñez o no preñez) de cada cerda. Posibilidad de personalizar alertas y notificaciones.

30

En una modalidad preferida, el dispositivo de sensor auricular no invasivo ha sido diseñado ergonómicamente para ser ubicado o instalado en la oreja del animal, minimizando así molestias durante el monitoreo continuo. Dicho dispositivo de sensor incorpora entonces un sensor de fotopletimografía (PPG) que permite la medición directa y precisa de variables fisiológicas, dentro de las que se encuentran presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD) y frecuencia cardíaca (FC), tal como fue indicado anteriormente. Es importante tener presente que estos parámetros han sido correlacionados experimentalmente con los estados reproductivos del animal, dada su variación fisiológica durante el ciclo estral y la preñez.

Así, una vez los datos son recolectados por el sensor PPG, los mismos posteriormente son procesados por la unidad de procesamiento o control, la cual es alimentada mediante la unidad de potencia, y también son almacenados localmente de forma temporal en la unidad de almacenamiento local.

En una modalidad preferida de la invención, la unidad de procesamiento y control corresponde a un elemento electrónico capaz de procesar datos y puede ser seleccionado del grupo que comprende un procesador, microprocesador, procesador de señales digitales (DSP), un microcontrolador o cualquier otro elemento programable que permita procesar los datos provenientes y detectados o leídos por los sensores. Preferiblemente, la unidad de procesamiento y control es un microcontrolador.

Ahora, el sistema de la invención también cuenta con un módulo de comunicación inalámbrica, el cual es compatible con una serie de tecnologías o protocolos de comunicación inalámbrica, tal como Wi-Fi., con el fin de transmitir los datos a la unidad de cómputo central o incluso a la nube, donde se realiza el procesamiento avanzado.

En este sentido, en la unidad de cómputo, los datos son preprocesados mediante técnicas como la normalización, imputación de valores faltantes, segmentación

temporal (time windowing), y selección de características, entre otras. Además, la unidad de cómputo cuenta con una memoria temporal (RAM) de alta velocidad para almacenar temporalmente los datos durante el procesamiento.

- 5 En una modalidad preferida, la unidad de cómputo cuenta con un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado, tal como, por ejemplo, algoritmos de clasificación supervisada como Random Forest, XGBoost o LightGBM que son modelos de boosting basados en árboles de decisión y tienen una combinación única de precisión, robustez, eficiencia y capacidad de
10 generalización, donde dicho modelo analiza las señales fisiológicas detectadas por el sensor y enviadas a la unidad de cómputo, y determina el estado reproductivo del animal, clasificándolo así de forma mutuamente excluyente como: (i) en estro, (ii) preñada, o (iii) no preñada. Este modelo de aprendizaje puede actualizarse continuamente con nuevos datos, permitiendo
15 reentrenamiento adaptativo y mejora de la precisión con el tiempo, todo gracias al uso de los modelos de aprendizaje automático que mejoran cada vez más el resultado obtenido de acuerdo con las mediciones de los sensores y el procesamiento de los datos.
- 20 Los modelos de aprendizaje automático utilizados han sido entrenados con un conjunto de datos compuesto por aproximadamente 27.034 registros fisiológicos obtenidos en condiciones reales de campo. Cada registro incluye valores de presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD) y frecuencia cardíaca (FC), así como su correspondiente estado reproductivo confirmado
25 (estro, preñada o no preñada). Para el entrenamiento, se aplicaron técnicas de aprendizaje supervisado, eligiendo modelos como LightGBM, Random Forest y Gradient Boosting por su desempeño en clasificación multiclase y su capacidad de generalización. La validación de los modelos se realizó mediante esquemas de validación cruzada, empleando métricas de evaluación como precisión,
30 sensibilidad, especificidad y F1-score. Además, se incorporaron técnicas de normalización y balanceo de clases, garantizando una representación homogénea de las categorías y mejorando la estabilidad del modelo.

Finalmente, una vez se tienen los resultados o la clasificación de los porcinos, dichos resultados son comunicados al usuario mediante la interfaz visual digital, la cual puede ser accesible desde dispositivos móviles o computadoras, y muestra tanto las métricas fisiológicas como el estado clasificado de cada animal. Dicha interfaz visual puede incluir un sistema visual tipo semáforo, donde el color amarillo indica estro, verde preñez y rojo no preñez, facilitando la interpretación en tiempo real por parte del operario.

- En una modalidad de la presente invención, la interfaz visual digital puede corresponder a un dispositivo móvil, tal como un teléfono, tableta, gafas de realidad aumentada o similares, o incluso puede ser una estación de pantalla táctil o no táctil donde se ilustran o muestran los resultados obtenidos de acuerdo con la medición de los sensores y la clasificación realizada. Dicha interfaz visual digital está directamente conectada a la unidad de cómputo para poder mostrar la información procesada.

- De acuerdo con lo anterior, es claro que el sistema de la presente invención permite un monitoreo automatizado, continuo y en tiempo real del estatus reproductivo de los porcinos, eliminando así la necesidad de métodos invasivos o dependientes del juicio humano, y posibilita una mejora considerable en la eficiencia reproductiva y el bienestar animal.

- Ahora bien, la Figura 4 muestra claramente un diagrama esquemático de la arquitectura de red del sistema de la presente invención, en el cual se incluye la ruta completa de transmisión de datos fisiológicos desde el sensor auricular colocado en la cerda hasta el servidor de procesamiento, y de allí hasta la interfaz del usuario, en donde el diagrama muestra la conectividad mediante enrutadores (routers), internet y red LAN, así como el retorno de los resultados procesados hacia dispositivos móviles del usuario, incluyendo gafas de realidad aumentada. Particularmente, dicha Figura 4 muestra los siguientes componentes y su respectivo funcionamiento dentro del sistema:

El sensor auricular (1) instalado en la cerda: Dispositivo no invasivo dispuesto en la oreja de la cerda, encargado de captar en tiempo real variables fisiológicas tales como presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD) y frecuencia cardíaca (FC). El sensor está dotado de un módulo de transmisión inalámbrica con capacidad de comunicación por Wi-Fi.

Transmisión de datos del sensor al primer enrutador (2), donde los datos fisiológicos obtenidos por el sensor son transmitidos vía conexión inalámbrica (Wi-Fi) hacia un primer enrutador ubicado en la instalación ganadera.

Enlace del primer enrutador a la red de internet (3), donde el primer enrutador transmite la información capturada a través de una conexión a internet, permitiendo que los datos sean enviados a un servidor remoto para su procesamiento.

Recepción de datos (4) por un segundo enrutador con conexión LAN, en donde un segundo enrutador, configurado con conectividad LAN, recibe la información desde internet y la dirige a un servidor de procesamiento local o remoto, según la configuración de red establecida.

Procesamiento de los datos en el servidor (5), en donde el servidor ejecuta rutinas de preprocesamiento, análisis y clasificación mediante algoritmos de aprendizaje automático entrenados previamente. Los resultados derivados del análisis se almacenan temporalmente en una base de datos estructurada para su posterior consulta.

Transmisión de resultados procesados hacia internet (6), en donde una vez completado el análisis, los resultados clasificados son enviados nuevamente a través de internet, habilitando su disponibilidad para sistemas cliente remotos.

Recepción de los resultados por un tercer enrutador (7), en donde un tercer enrutador, con capacidad de conexión Wi-Fi y vinculado a la red de internet, recibe los resultados generados por el servidor y los distribuye inalámbricamente al dispositivo del usuario final.

5

Visualización remota del estado reproductivo en el dispositivo del usuario (8), en donde el usuario final accede a los resultados mediante un dispositivo móvil (teléfono inteligente, tableta, computadora portátil o gafas de realidad aumentada, entre otros), el cual presenta el estado fisiológico de cada cerda en tiempo real.

10

Identificación individual mediante código QR (9), en donde cada cerda cuenta con una tarjeta o identificador físico que contiene un código QR único, el cual puede ser escaneado por el dispositivo del usuario. Este código permite identificar individualmente al animal y visualizar su estado actual (estro, preñada o no preñada) con base en los datos analizados.

15

La presente invención también está dirigida a un método para la detección del estado reproductivo en cerdas mediante el sistema previamente definido, donde dicho método comprende los pasos de:

20

- Obtención de datos fisiológicos: Se registran las variables fisiológicas de la cerda (frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica y presión arterial diastólica) utilizando un sensor basado en fotopletimografía (PPG).
- Almacenamiento de datos: Los datos capturados son almacenados localmente en el dispositivo auricular colocado en la cerda.
- Transmisión de datos al servidor o nube: Los datos almacenados en el dispositivo auricular son enviados vía Wi-Fi a un servidor central o a la nube para su procesamiento.
- Preprocesamiento de datos: Los datos fisiológicos recibidos son preprocesados en el servidor o en la nube, asegurando su calidad y preparándolos para el análisis.

25

30

- Aplicación del modelo de aprendizaje automático: Se utiliza un modelo de machine learning para analizar los datos fisiológicos de cada cerda de manera individual y predecir su estado (estro, preñez o no preñez).
- Clasificación del estado individual: Basándose en los resultados del modelo, se clasifica a cada cerda en una de las categorías: en estro, preñada, o no preñada.
- Transmisión de resultados al usuario: Los resultados de la clasificación son enviados al usuario vía Wi-Fi , permitiendo su acceso desde dispositivos móviles, tabletas o computadoras.
- Visualización en la interfaz de usuario: La interfaz muestra de manera clara el estado de cada cerda (estro, preñez o no preñez) junto con métricas clave como frecuencia cardíaca y presión arterial.
- Identificación individual mediante código QR: El dispositivo del usuario permite escanear un código QR adherido a cada cerda. Esto habilita la identificación individual automática del animal y la visualización directa de su estado reproductivo actualizado (estro, preñada o no preñada), sin necesidad de búsqueda manual.

Así las cosas, el método de detección del estado reproductivo está directamente relacionado y depende del sistema previamente definido, ya que los datos y el procesamiento se obtiene gracias a las variables leídas por parte de los sensores y procesadas por las unidades de control, cómputo, etc.

En una modalidad de la presente invención, los resultados de clasificación del estado de los porcinos se presentan mediante la interfaz visual en información tipo semáforo con codificación de colores, donde se puede contar con los colores amarillo que representa estro, el color verde que representa preñez, o el color rojo que representa no preñez.

Sumado a lo anterior, la interfaz de usuario además permite generar notificaciones automáticas en función del estado detectado del animal.

Aunque la presente invención ha sido definida en términos de las modalidades y/o configuraciones preferidas que permiten obtener el resultado deseado, se entiende entonces que dentro de la presente divulgación se contemplan las múltiples modificaciones y/o alternativas que se puedan derivar de forma
5 evidente para un experto en la materia, razón por la cual el alcance de la presente invención no está definido únicamente por las implementaciones preferidas definidas acá, sino que, por el contrario, el mismo está enteramente definido por las reivindicaciones adjuntas.