



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
DURANGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL  
VALLE DEL GUADIANA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Desarrollo de un dispositivo para detección del estro en  
cerdas mediante la resistencia eléctrica intravaginal,  
equipado con comunicación wireless**

## **TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Maestría en Ingeniería**

**Presenta:**

Ing. Jocelyn Alcantar Zamora

**Director de tesis:**

Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo

**Co-Directora de tesis:**

Dra. Merit Cisneros González

Durango, Dgo. México, Septiembre, 2021.





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
DURANGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL  
VALLE DEL GUADIANA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**Desarrollo de un dispositivo para detección del estro en  
cerdas mediante la resistencia eléctrica intravaginal,  
equipado con comunicación wireless**

## **TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Maestría en Ingeniería**

**Presenta:**

Ing. Jocelyn Alcantar Zamora

**Director de tesis:**

Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo

**Co-Directora de tesis:**

Dra. Merit Cisneros González

Durango, Dgo. México, Septiembre, 2021





**Desarrollo de un dispositivo para detección del estro en  
cerdas mediante la resistencia eléctrica intravaginal, equipado con  
comunicación wireless**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Presenta:**

Ing. Jocelyn Alcantar Zamora

**Dirigido Por**

Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo

**COMITÉ TUTORIAL**

Director  _____ Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo	_____ Firma
Co-directora  _____ Dra. Merit Cisneros González	_____ Firma
Revisor 1  _____ M. C. Darío Arreola Cisneros	_____ Firma
Revisor 2  _____ Dr. Aurelio Castillo Liñán	_____ Firma

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma  
**Coordinador de la Maestría en  
Ingeniería**

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma  
**Jefe(a) de la División de Estudios de  
Posgrado e Investigación**

Durango, Dgo. México, Septiembre, 2021





Victoria de Durango, Dgo., a **10 / Junio / 2021**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**DEPI / C / 131 / 21.**

**Asunto:** Se comunica calificación de tesis.

**C. EDUARDO CHÁVEZ PÉREZ**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E .**

Por este conducto, me permito comunicarle el resultado de la revisión del trabajo de tesis de Maestría denominado: "Desarrollo de un Dispositivo para Detección del Estro en Cerdas Mediante la Resistencia Eléctrica Vaginal, Equipado con Comunicación Wireless" presentada por el (la) C. JOCELYN ALCANTAR ZAMORA, con número de control G14040351, alumno (a) de la Maestría en Ingeniería, la cual ha sido concluida satisfactoriamente para su impresión definitiva.

El comité de revisión asignado, le otorgó la calificación de:

**99 (NOVENTA Y NUEVE)**

Lo anterior con la finalidad de que se le dé el seguimiento correspondiente.

**ATENTAMENTE.**  
*Excelencia en Educación Tecnológica-*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*

**C. LUZ ARACELI OCHOA MARTÍNEZ**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**sep** INSTITUTO TECNOLÓGICO  
de Durango  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

LAOM/AEM/ammc.



Plan de Estudios: 2015-2016  
Plan de Estudios: 2016-2017  
Plan de Estudios: 2017-2018  
Plan de Estudios: 2018-2019  
Plan de Estudios: 2019-2020  
Plan de Estudios: 2020-2021

Av. Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya,  
C.P. 34080, Durango, Dgo. Tel. (618) 8-29-09-00  
email: dir\_itdurango@tecnm.mx  
tecnm.mx | itdurango.edu.mx





Victoria de Durango, Dgo., a **10 / Junio / 2021.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI. / C / 132 / 21.  
Asunto: Liberación de Inglés (TOEFL).

**C. EDUARDO CHÁVEZ PÉREZ**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E .

Por este conducto se le comunica que el (la) **C. JOCELYN ALCANTAR ZAMORA**, con número de control **G14040351**, candidato(a) al grado de Maestro(a) en Ingeniería, en atención al oficio de autorización del Plan de Estudios de la Maestría en Ingeniería clave: MPING-2011-16, presentó el examen de inglés institucional TOEFL para cubrir el requisito del dominio de un segundo idioma alcanzando un puntaje de 540, aceptándose como puntuación suficiente por el Consejo del Programa para cumplir con el requisito mencionado en la autorización.

Se anexa copia de la Constancia del Centro de Lenguas Extranjeras del I.T.D.

Sin más otro particular, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE.**  
*Excelencia en Educación Tecnológica-*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*



**C. LUZ ARACELI OCHOA MARTÍNEZ**  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

LAOM'ammc.



Av. Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya,  
C.P. 34080, Durango, Dgo. Tel. (618) 8-29-09-00  
email: dir\_ltdurango@tecnm.mx  
tecnm.mx | ltdurango.edu.mx





## Resumen

La producción porcina ha sido una actividad fundamental en la economía mundial, sin embargo, hay un factor importante que dificulta la productividad: la mala identificación del tiempo de estro, que es el momento en que la cerda está lista para ser fertilizada. El estro siempre se ha detectado mediante técnicas subjetivas heredadas que se confían únicamente al porcicultor más hábil, aunque se sabe que existe una fuerte relación entre las interacciones hormonales y dos características inherentes a los seres vivos, en este caso, hembras: la temperatura y la resistencia eléctrica intravaginal (REI). Se desarrolló un dispositivo económico y amigable que identifica fácilmente el estro midiendo esas dos variables fisiológicas usando sensores económicos, y enviando datos en línea para tomar decisiones con prudencia y rapidez. Este dispositivo basado en microcontroladores simplifica la detección de celos en una granja, poniéndolo al alcance de personas con poca experiencia, siendo una herramienta nueva para granjas en crecimiento. Gracias al análisis de las variables implicadas en el estro es posible detectar oportunamente el momento adecuado de inseminación de la hembra, sin causarle dolor o ansiedad. Valores de 0.250 a 0.300 MΩ de REI, indicaron presencia del estro en las hembras porcinas, prácticamente en el 100% de las hembras. El alcance de esta tecnología sigue en crecimiento, pues puede ser replicable para otros animales con una fisiología semejante.

Palabras claves: Porcicultura, estro, cerdas, temperatura, REI, dispositivo, inalámbrico, IoT.





## Abstract

Swine production has been an essential activity in the world economy, however there is an important factor that hinders productivity: the poor identification of estrous time, which is the moment when the sow or gilt is ready to be fertilized. Estrus has always been detected by inherited subjective techniques that are entrusted only to the most skilled swine farmer, although it is known that there is a strong relationship between hormonal interactions and two characteristics inherent in living beings: temperature and intravaginal electrical resistance (IER). It is developed an inexpensive and friendly device which identifies easily the estrus by measuring those physiological variables using cheap sensors, and sending data online to make decisions wisely and faster. This microcontroller-based device simplifies the estrus detection in a farm, putting it within the reach of people with little expertise, being a new tool for growing farms. Thanks to the analysis of the variables involved in estrus, it is possible to detect opportunely the appropriate moment of insemination of the female, without causing pain or anxiety. Values of 0.250 to 0.300 M $\Omega$  of IER, indicated the presence of estrus in female pigs, practically in 100% of females. The scope of this technology continues growing, as it can be replicated for other animals with similar physiology.

Key words: Swine farming, estrus, swine, temperature, IER, device, wireless, IoT.





## ÍNDICE GENERAL

<b>AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS DE MAESTRÍA .....</b>	<b>5</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE TEMA DE TESIS DE MAESTRÍA.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE NOMENCLATURA .....</b>	<b>14</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>16</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.4 DELIMITACIÓN.....	25
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
2.1 FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA DE LA HEMBRA PORCINA .....	26
2.2 DETECCIÓN DE ESTRO.....	29
2.3 APARATO REPRODUCTOR DE LA HEMBRA PORCINA .....	30
<b>CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1 DESARROLLO.....	34
3.2 SENSOR DE TEMPERATURA .....	34
3.3. SENSOR DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	34
3.4 PLACA DE DESARROLLO Y TRANSMISIÓN DE DATOS .....	37
3.6 VARIABLES DE INTERÉS EN EL CICLO ESTRAL.....	45
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>48</b>
4.1 DESARROLLO DEL DISPOSITIVO PARA DETECCIÓN DE ESTROS .....	48
4.2 RESISTENCIA ELÉCTRICA INTRAVAGINAL (REI).....	53







4.3 TEMPERATURA INTRAVAGINAL (TIV) .....	55
4.4 RELACIÓN REI - TIV .....	57
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	59
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>
PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO.....	66
CIRCUITO .....	73
APLICACIÓN DE ARTÍCULO EN LA REVISTA JART .....	75
MANUAL DE OPERACIÓN DEL DISPOSITIVO .....	76





## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE PROGESTERONA Y ESTRADIOL 17B A LO LARGO DEL CICLO ESTRAL EN LAS HEMBRAS PORCINAS (TOMADO DE YILMA Y SOBIRAJ, 2011)..... 18

FIGURA 2. CURVA CARACTERÍSTICA DE LA IMPEDANCIA ELÉCTRICA INTRAVAGINAL A LO LARGO DEL CICLO ESTRAL DE LA HEMBRA PORCINA (TOMADO DE: YILMA Y SOBIRAJ, 2011)..... 19

FIGURA 3. CAMBIOS EN LA RESISTENCIA ELÉCTRICA VESTIBULAR DURANTE EL ESTRO EN CERDAS. (LUÑO, 2012) ..... 20

FIGURA 4. VALORES DE TEMPERATURA EN LA PIEL VULVAR Y EN LA OREJA DE LA PUERCA ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL ESTRO. (LUÑO, 2013) ..... 21

FIGURA 5. VALORES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA MEDIDOS A DIFERENTES DISTANCIAS DENTRO DE LA VAGINA DE LAS CERDAS. (LUÑO, 2013) ..... 21

FIGURA 6.COMPORTAMIENTO HORMONAL DURANTE EL CICLO ESTRAL (TOMADO DE: MC DONALD, 1991). 29

FIGURA 7. APARATO REPRODUCTOR DE LA HEMBRA PORCINA. PINHERO, (1980)..... 31

FIGURA 8. DIMENSIONES DEL APARATO REPRODUCTOR DE LA HEMBRA. TOMADA DE: GARCÍA, ET AL. (2018) ..... 32

FIGURA 9. SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20 UTILIZADO EN EL PROTOTIPO. .... 34

FIGURA 10. JACK DE AUDIO PROPUESTO COMO PROBETA PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA EN RATAS (RAMOS ET AL, 2001). .... 35

FIGURA 11. DIFERENTES MODELOS DE ELECTRODOS CON CONECTORES DE AUDIO CABLE. .... 36

FIGURA 12. PRIMERAS PRUEBAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA EN CERDAS..... 38

FIGURA 13. ELABORACIÓN DEL ELECTRODO PARA MEDIR LA RESISTENCIA ELÉCTRICA..... 39

FIGURA 14. MEDICIONES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN LA GRANJA UTILIZANDO MULTÍMETRO PARA LA COMPROBACIÓN DEL PRINCIPIO DE ACCIÓN..... 40

FIGURA 15. UNIFICACIÓN DE SENORES Y CAMBIO DE PLACA A NODEMCU..... 41





FIGURA 16. PRIMER PROTOTIPO INALÁMBRICO CON COMUNICACIÓN WIRELESS Y PANATALLA OLED QUE REFLEJA SIMULTÁNEAMENTE LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA. A) CARCASA DE ACRÍLICO, B) MODO DE USO. .... 41

FIGURA 17. VISTA EN CELULAR DE LA APP THINGVIEW FREE ..... 42

FIGURA 18. REGISTRO EN TIEMPO REAL DE LOS VALORES CAPTADOS POR EL DISPOSITIVO..... 43

FIGURA 19. BATERÍA RECARGABLE EXTERNAMENTE..... 43

FIGURA 20. PROTOTIPO FINAL IMPRESO EN ABS. .... 44

FIGURA 21. MEDICIONES EN CAMPO CON EL PROTOTIPO FINAL. .... 45

FIGURA 22. CAD DEL DISPOSITIVO ..... 50

FIGURA 23. PROTOTIPO EN FUNCIONAMIENTO. .... 51

FIGURA 24. VALORES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA INTRAVAGINAL (REI) OBSERVADOS EN LAS 10 HEMBRAS ..... 54

FIGURA 25. COMPARATIVA DE LOS VALORES PROMEDIOS CON MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE REI. .... 55

FIGURA 26. TEMPERATURA INTRAVAGINAL PROMEDIO OBSERVADA DURANTE EL PERIODO POST DESTETE – INICIO DE LA GESTACIÓN..... 56

FIGURA 27. COMPARATIVA DE LOS VALORES PROMEDIOS CON MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE TEMPERATURA..... 57

FIGURA 28. REPRESENTACIÓN DE LAS FASES DEL COMPORTAMIENTO IDEAL DEL CICLO ESTRAL SIN FECUNDACIÓN CON BASE A YILMA Y SOBIRAJ, 2011 ..... 58

FIGURA 29. COMPARACIÓN DE TEMPERATURA Y REI CON VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS. .... 59

FIGURA 30. CIRCUITO FINAL PARA EL PROTOTIPO FUNCIONAL..... 73

FIGURA 31. APLICACIÓN A LA REVISTA JART. .... 75





## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. VALORES DE PRUEBA PARA DIFERENTES MODELOS DE ELECTRODOS. ....	36
CUADRO 2. PARTE UNO DE LAS MEDICIONES HECHAS EN EL 2019. ....	52
CUADRO 3. PARTE 2 DE LAS MEDICIONES HECHAS EN EL 2019. ....	53
CUADRO 4. VALORES DE REI Y TEMPERATURA SEGÚN LAS FASES DEL CICLO ESTRAL PORCINO. ....	58





## LISTA DE NOMENCLATURA

IoT	Internet of Things (internet de las Cosas)
REI	Resistencia Eléctrica Intravaginal
VER	Vaginal Electrical Resistance (Resistencia Eléctrica Vaginal)
MΩ	Megaohms (unidad de resistencia eléctrica)
hr	Hora (unida de tiempo)
°C	Grados centígrados (unidad de temperatura)
$\sigma$	Desviación estandar (sigma)
IMV	Instruments de Médecine Vétérinaire
nmol/l	nano moles sobre unidad de litro
rel. unit.	Unidades relativas
VST	Vulvar skin temperature (Temperatura de la piel Vulvar)
GST	Gluteus skin temperature (Temperatura de la piel de los glúteos)
PyMES	Pequeñas y Medianas Empresas
17-β	Estradiol 17-β
cm	Centímetro
mm	Milímetro
LCD	Liquid Cristal Display (pantalla de cristal líquido)
OLED	Organic light-emitting diode (Diodo orgánico de emisión de luz)





API            Application Programming Interface (Interfaz de programación de aplicaciones)

Wifi            Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)

PG-600        Gonadotropina (hormona)

$\bar{x}$             Media

$R^2$             Coeficiente de determinación





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

## DEDICATORIA

A todos los ojos que buscan aprender algo de estas páginas.





## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores todo el apoyo brindado en este tema que para mí en un inicio me era tan ajeno, gracias por toda la luz que arrojaron sobre este proyecto, por las grandiosas ideas que dieron vida al dispositivo y por el tiempo entregado sin egoísmo para estas páginas.

Gracias a mi familia y esposo por soportar que hablara de esto todo el tiempo, por escuchar ideas que eran aún más raras para ustedes y gracias por acostumbrarse al olor de granja.

Quisiera dar gracias al programa CONACYT por todo el apoyo inyectado a este proyecto y las facilidades para el desarrollo del presente.

Gracias a todos los que escucharon, aprendieron, apoyaron y preguntaron por esto.







## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En los últimos años se ha profundizado la relación que existe entre la tecnología y la ganadería, lo que ha venido resultando en un avance significativo para los pequeños productores que han podido apañar sus necesidades gracias a las tecnologías emergentes, la humanidad ha podido entender poco a poco el comportamiento de las especies y ha interpretado esos cambios a partir de variables que ya le son comprensibles y a su vez medibles y controlables.

Durante su ciclo reproductivo, también llamado ciclo estral, la cerda cambia significativamente dos variables que permiten seguir el rastro a sus cambios hormonales: la temperatura y la resistencia eléctrica vaginal, así como la impedancia eléctrica.

La Impedancia Eléctrica Intravaginal (*IEI*) tiene un estrecho vínculo con la

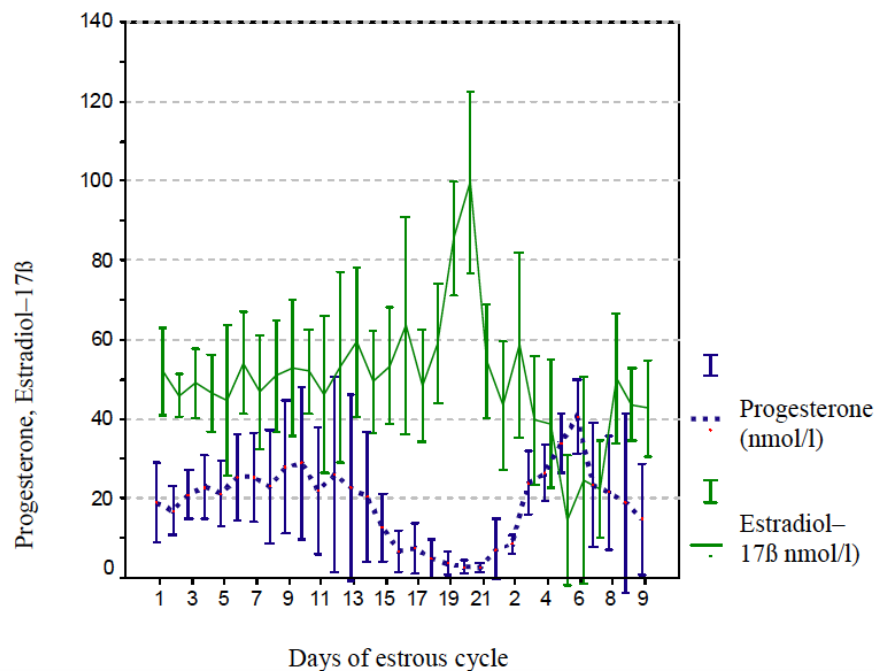


Figura 1. Concentraciones plasmáticas de progesterona y estradiol 17B a lo largo del ciclo estral en las hembras porcinas (Tomado de Yilma y Sobiraj, 2011)



aparición del *estro* porcino. Como se observa en las Figuras 1 y 2, es evidente la estrecha, pero a la vez, opuesta relación que existe entre los niveles hormonales y la impedancia eléctrica que a su vez estos generan. En tanto que los índices de estradiol se disparan al momento del celo o “calor”, los de la impedancia eléctrica caen hasta un valor casi nulo (Yilma y Sobiraj, 2011).

En esa investigación se estipula que numerosos autores han “descrito cambios no sólo en el epitelio vaginal, sino en sus características electrofisiológicas como resultado de la fluctuación en la concentración de las hormonas ováricas, particularmente un elevado nivel de estrógenos” (Yilma, Sobiraj, 2011), las mismas fluctuaciones hormonales comparten un evidente vínculo con el ciclo estral de las

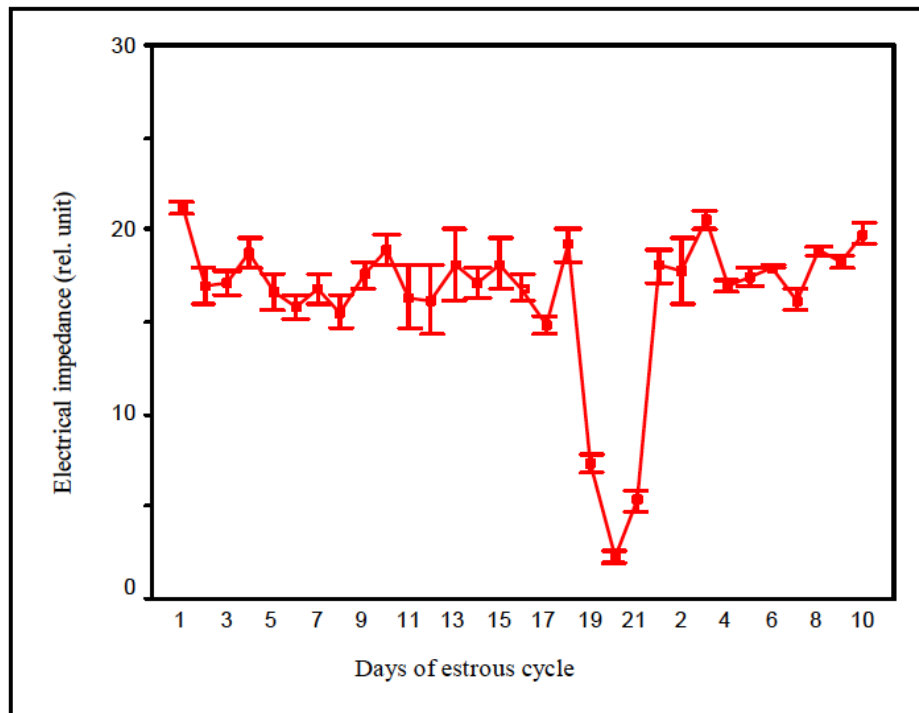


Figura 2. Curva característica de la impedancia eléctrica intravaginal a lo largo del ciclo estral de la hembra porcina (Tomado de: Yilma y Sobiraj, 2011)

cerdas.





Para la realización del estudio, los autores Yilma y Sobiraj (2011), puntualizan que las “mediciones de la impedancia eléctrica intravaginal fueron hechas usando un instrumento medidor de impedancia (INOTEC FEG GmbH) después de limpiar los genitales externos con antisépticos, dos veces al día, cada doce horas durante la fase de sincronización”. Sin embargo, el instrumento tecnológico mencionado en los materiales y métodos de dicha investigación, no es posible conseguirla hoy en día debido al cambio de giro que ha sufrido la empresa INOTEC en los últimos años.

En un estudio desarrollado con el instrumento francés IMV, que consta de “una probeta de plástico con dos anillos de electrodos en la punta, que están conectados a una batería se determinó la resistencia midiendo el voltaje producido por el tejido y el moco intravaginales expuestos a una corriente eléctrica generada por la batería. El rango máximo y mínimo de la resistencia medida fue de 0 a 200  $\Omega$ , como se puede observar en la Figura 3, los valores tienen un cambio significativo (Luño, 2012).

En el experimento mencionado existió una gran variación en la resistencia eléctrica medida en 25 puercas destetadas. “La resistencia vestibular fue baja al inicio del estro, pero aumentó gradualmente durante el estro. El valor más alto de resistencia vestibular fue alcanzado entre las 12 y 24 horas después de la

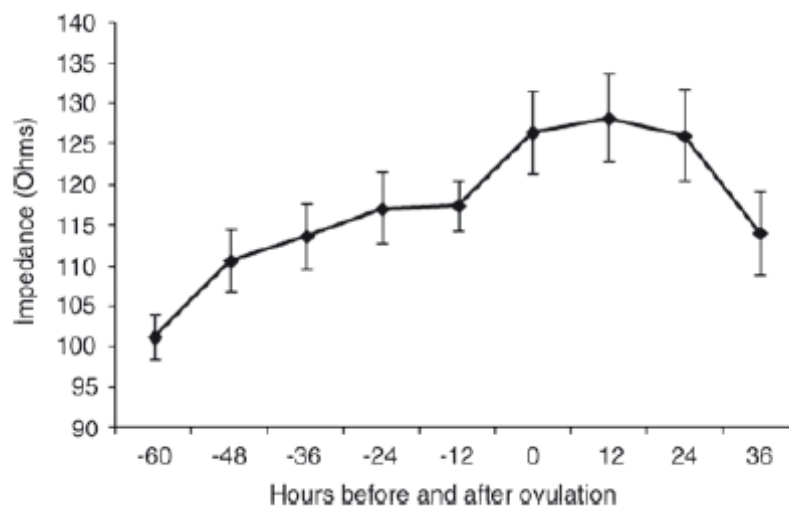


Figura 3. Cambios en la resistencia eléctrica vestibular durante el estro en cerdas.  
(Luño, 2012)

ovulación en las 25 cerdas” (Luño, 2012).

Por otra parte, Luño (2013), reporta que “la temperatura vulvar 12 horas antes de la ovulación fue 1.14°C más baja comparada con las previas y subsecuentes mediciones. La temperatura más baja alcanzada en la piel vulvar fue 34.88 °C ± 0.06 °C”; tal como se observa en la Figura 4 donde es fácilmente apreciable el cambio en la temperatura doce horas previas al momento de la ovulación.

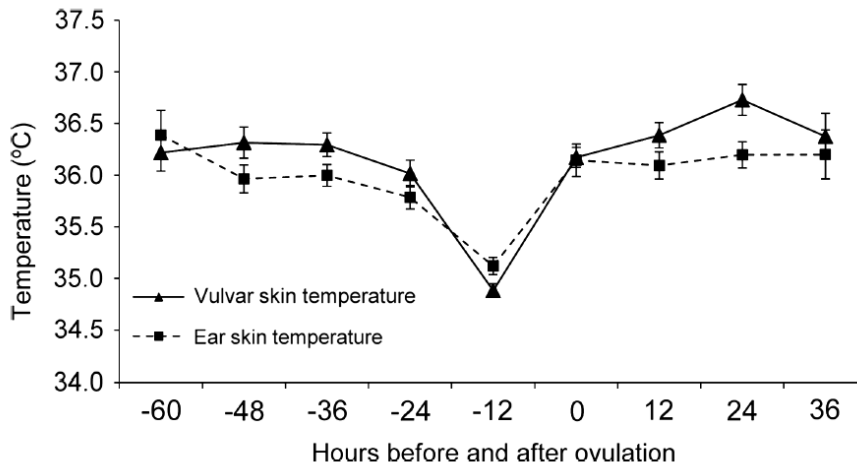


Figura 4. Valores de temperatura en la piel vulvar y en la oreja de la puerca antes, durante y después del estro. (Luño, 2013)

Además de los resultados de temperatura se muestra una relación más estrecha en la variación eléctrica y la distancia a la que es penetrada la probeta. Según los experimentos de Luño se obtienen mejores mediciones entre los 8 y 12

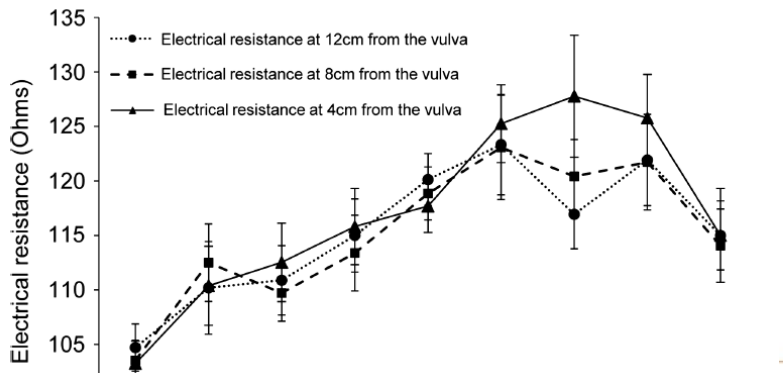


Figura 5. Valores de resistencia eléctrica medidos a diferentes distancias dentro de la vagina de las cerdas. (Luño, 2013)



centímetros (Figura 5) de penetración que a los 4 centímetros (distancias referenciadas desde la vulva hacia el interior), ya que hay mayor presencia de moco vaginal y el ambiente es más propicio para la medición arrojando mejores resultados según se puede apreciar en la Figura 5.

Por su parte, otra investigación desarrollada por la Universidad de Alemania en el 2015 determinó la Resistencia Eléctrica Vaginal (VER, por sus siglas en inglés) “usando una probeta vaginal cilíndrica marca Draminski (Draminski; Electrónica en Agricultura, Olsztyn, Poland) con 2 anillos electrodos en la terminal del poste. La resistencia fue obtenida midiendo el voltaje desarrollado a través del moco vaginal (ohms;  $\Omega$ ) en respuesta a una corriente eléctrica alterna a una frecuencia de excitación de 8mA. La probeta fue insertada en el tracto vaginal hasta que aproximadamente un cuarto de la longitud de la sonda permaneció fuera de la vulva.” (Hidalgo, Cassar, Manjarin, Domínguez, Friendship, Kirkwood, 2015). En este estudio se demostró que hay influencia entre la estación del año y el tiempo de duración de la ventana de fecundación, además se probó que “el estro se presentó cerca del cuarto día después del descenso más bajo de resistencia eléctrica vaginal, la ovulación ocurrió entre el final del quinto día y el sexto, mientras que los valores de resistencia eléctrica vaginal fueron incrementando” (Hidalgo, et al, 2015).

Scolari, Clark, Knox y Tamassia (2011), reportan que según la Temperatura de la Piel Vulvar (VST) y Temperatura de la Piel de los Glúteos (GST) “se detectó evidencia de ovulación aproximadamente a las 38 + 9 y 43 + 12 horas después del inicio del estro en primerizas y hembras, respectivamente. En general, la VST y la GST diarias fueron significativamente más altas ( $P < 0.05$ ) en hembras que en primerizas. Durante el estro, se detectó un marcado cambio en la VST promedio ( $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P < 0.05$ ) 36 a 12 horas antes de la ovulación tanto en hembras como en primerizas”. Entre los antecedentes también coinciden los tipos de probetas que son introducidas, y el funcionamiento a partir de anillos electrodos en contacto con





el moco vaginal, la limpieza que se debe de tener en el manejo del dispositivo, así como los tiempos de aparición del estro y ovulación.

Cabe mencionar que, en México, el desarrollo de estas tecnologías es aún muy pobre, por lo que existe la amplia posibilidad de crear dispositivos que apoyen al pequeño productor asegurando la fecundación de las puercas al detectar con precisión su estro.

## 1.2 Justificación

La porcicultura ha generado derrama económica en México y en el mundo desde que el ser humano fue capaz de interpretar el ciclo estral de los puercos, generando una producción eficiente de estos animales para el consumo. Sin embargo, la pobre identificación del primer día del *estro* representa pérdidas económicas para el pequeño productor, ya que la hembra es “inútil” al no estar preñada.

Además, la ineficiente comunicación que existe en las granjas repercute en las utilidades de las empresas dedicadas a la producción de puercos, ya que en ciertas ocasiones la información no es transmitida oportunamente.

Actualmente la sociedad vive a un ritmo muy acelerado que exige la productividad eficiente y sin demoras de todos los servicios y bienes de los que dispone. Por otra parte, el acelerado crecimiento de la población humana demanda fuentes de proteína para su alimentación, por lo cual los sistemas de producción de carne deben ser más eficientes para cubrir esa demanda.

La carne de cerdo es consumida en la mayoría de los países del mundo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), simplemente en el año 2018 se produjeron 121.1 millones de toneladas de carne de cerdo





La principal causa por la que las pequeñas empresas dedicadas a la porcicultura no pueden sostener un ritmo constante de producción es por problemas asociados a la reproducción porcina más que al acomodo del producto final en el mercado. El ser humano, a diferencia de los machos sementales, no tiene la capacidad natural de percibir por medio de sus sentidos cuando una hembra porcina se encuentra en condiciones ideales de ser montada o inseminada artificialmente, por lo que es necesario crear un instrumento que ayude al porcicultor a detectar dicho espacio de tiempo.

Asimismo, la falta de comunicación en las empresas que delegan tareas puede frenar o dificultar la producción al romperse la cadena de mensajes, ralentizando procesos o dejando de supervisar procesos esenciales como lo son los signos de una hembra en celo.

Por lo que un dispositivo capaz de detectar el primer día del estro por medio de la Resistencia Eléctrica Intravaginal (REI), que ayude a garantizar una fertilización óptima, es una opción deseable para las PyMES.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo general**

Desarrollar un dispositivo para detección del estro en cerdas que, mediante la medición de la resistencia eléctrica intravaginal y la temperatura, que notifique a los porcicultores el momento óptimo de inseminación de sus animales, utilizando comunicación inalámbrica para enviar la información a tiempo.

#### **Objetivos específicos**





- Desarrollar y ofrecer a los pequeños productores un dispositivo confiable y económicamente accesible para la detección del estro.
- Transmitir la información al momento, enviando una alerta al porcicultor para ejecutar la inseminación y garantizar la fecundación.
- Profundizar y enriquecer el conocimiento de la bioelectrónica.
- Generar alternativas a las actuales tecnologías.

## 1.4 Delimitación

Dado que esta tecnología podría globalizarse, pues el cerdo es un animal que se encuentra fácilmente en muchos otros países, el proyecto se centrará por lo pronto en los productores mexicanos, por compartir similitudes geográficas y climáticas, con el lugar donde se hicieron las pruebas.

Este proyecto además tiene la virtud de poder replicarse a otras especies ya que hay otros animales como los caballos, vacas, ovejas, entre otros, que responden a los ciclos de fecundación y que tienen una anatomía reproductiva similar a los cerdos, por lo que únicamente se enfocará en estos últimos para delimitar el estudio.







## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Fisiología reproductiva de la hembra porcina

Para comprender las bases de la presente disertación es justo comprender el objeto de estudio con el propósito de comprender las necesidades que de él se desprenden, por lo que se analizarán conceptos que sienten las bases sobre las que se desarrollará esta investigación.

#### **Ciclo estral**

El hembra porcina es un animal *poliéstrico*, por lo que en condiciones favorables muestra la capacidad de ser fecundado cada 21 días, aproximadamente, según el comportamiento de su ciclo estral, más comúnmente conocido como ciclo reproductivo. Es evidente que el porcicultor busca tener la mayor productividad, por lo que conocer el ciclo y la fase en la que se puede inseminar su hembra, es importante, ya que existen factores que causan cambios en el ciclo: niveles altos o bajos de hormonas, pubertad porcina, alargamiento de celo, disminución de la fertilidad, aborto otoñal, pérdidas embrionarias tempranas, celos silenciosos, alargamiento del parto y quistes foliculares. Todo ello, representando barreras para el productor al dificultar la detección de la ventana de fertilidad.

#### ***Fases del ciclo estral en hembras porcinas***

El ciclo estral porcino se divide en cuatro fases: proestro, estro, metaestro y diestro (Carrasco, 2008). El proestro y estro a su vez pertenecen a la etapa folicular y las otras dos fases corresponden a la etapa luteal.

- Estro: Duración de 2 a 3 días. Periodo de maduración y ovulación de los folículos en el que la hembra presenta sintomatología del celo. Se





considera el inicio del ciclo estral, además es la etapa de interés para el productor, ya que el animal se encuentra en estado de calor, es decir, presenta toda la sintomatología para la inseminación o monta.

- **Metaestro:** Duración 7 días. Comienza la producción de progesterona, es el periodo del desarrollo del cuerpo lúteo.
- **Diestro:** Duración 9 días. Periodo de regresión del cuerpo lúteo en caso de falta de gestación, la estructura del ovario cambia.
- **Proestro:** Duración 2 a 3 días. Es el periodo del crecimiento folicular, físicamente existe enrojecimiento vulvar y secreciones.

### ***Hormonas reguladoras del ciclo***

Las hormonas son mensajeros químicos formados principalmente por proteínas, generados en glándulas, neuronas y tejidos especializados, que en una cantidad adecuada controla numerosas funciones en el organismo. Circulan a través de la sangre hacia los órganos y los tejidos y están involucradas principalmente en los procesos de metabolismo, crecimiento y reproducción (McDonald, 1991). A continuación, se mencionan las hormonas más importantes y que se encuentran estrechamente ligadas a la regulación del ciclo estral:

- **Progesterona:** Reconocida como la hormona de mantenimiento de la gestación en todas las especies, se genera en el cuerpo lúteo en las cerdas y es también utilizada en el control del ciclo estral y en sincronización de estros.
- **Estradiol 17  $\beta$ :** El 17- $\beta$  estradiol facilita la acción de las *gonadotropinas* y de la prolactina, es la hormona más importante del sexo femenino.
- **FSH:** (Hormona folículoestimulante) La FSH estimula la producción de ovocitos y de una hormona llamada estradiol durante la primera mitad del ciclo estral.
- **LH:** (Hormona luteinizante) Es producida por la hipófisis y principalmente estimula la ovulación.





- **GH:** (Hormona del crecimiento) Es una sustancia que regula el metabolismo y el crecimiento del cuerpo. La glándula pituitaria, produce la GH.
- **TSH:** (Hormona tirotrópica) Esta hormona es producida por la hipófisis. Provoca que la glándula tiroides produzca y secrete las hormonas tiroideas en la sangre.
- **PRL:** (Hormona prolactina) Estimula la secreción de la leche a través de una acción directa sobre la glándula mamaria.

Las hormonas funcionan en perfecta sincronía, es decir, los estrógenos alcanzan su pico máximo (60-90 pg/ml) 24 horas antes de iniciarse el estro. La progesterona desciende a su nivel más bajo (Figura 6) , al igual que la resistencia eléctrica (Figura 2).



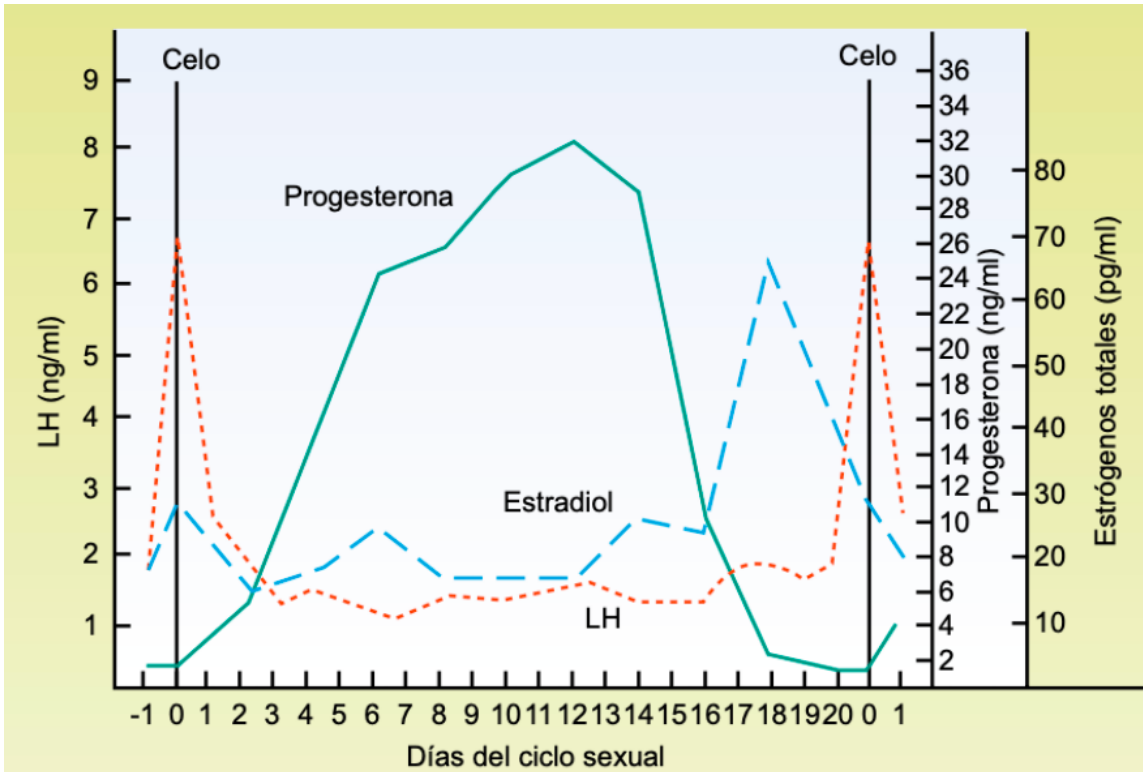


Figura 6. Comportamiento hormonal durante el ciclo estral (Tomado de: Mc Donald, 1991)

## 2.2 Detección de estro

El ser humano no puede detectar naturalmente la aparición del estro en las hembras porcinas, sin embargo, éstas muestran un comportamiento inusual en ese periodo que ha ayudado al porcicultor a detectar empíricamente el tiempo ideal de fecundación. Entre las características que las puerkas manifiestan se pueden señalar la inflamación y enrojecimiento de la vulva, la secreción abundante de moco vaginal, la falta de apetito y lordosis positiva cuando la hembra es





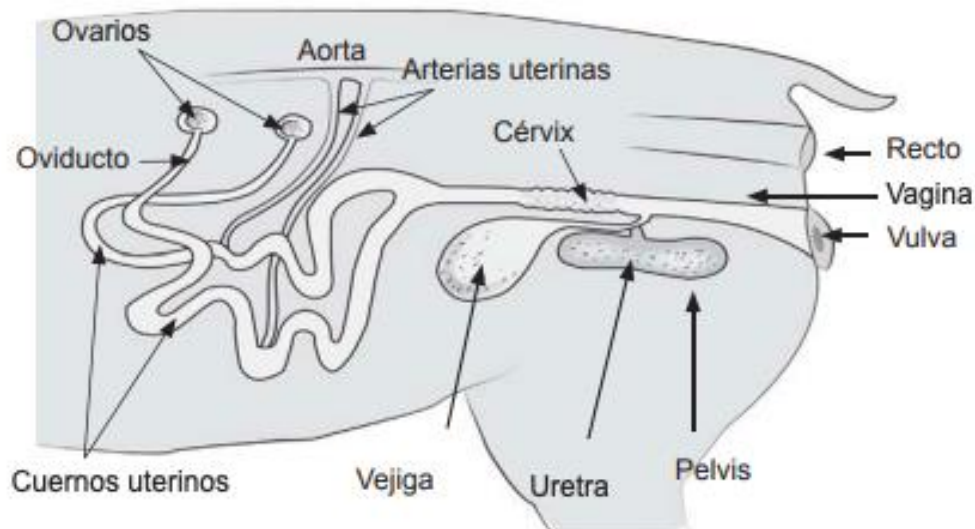
montada por el semental, además de la aceptación del palpado lumbar. (Porrás & Páramo, 2009)

Aún contando con un banco de características óptimas de fecundación, para el ser humano no es posible determinar con exactitud el estro en las hembras porcinas, ya que no todas muestran el mismo comportamiento o no han tenido la oportunidad de convivir con otros de su especie, tienen diferente edad o cantidad de partos, por lo que las señales que emiten pueden ser equívocas o mal interpretadas por el porcicultor..

### **2.3 Aparato reproductor de la hembra porcina**

Dada la naturaleza de presente documento es necesario conocer la estructura interna de la hembra para saber cómo funciona su aparato reproductor y su relación con el dispositivo a desarrollarse. Pinhero (1980) describe la conformación del aparato reproductor de la hembra porcina como se describe a continuación: la vulva, el clítoris y el vestíbulo son órganos considerados externos, mismos con los que tiene interacción el dispositivo. Los ovarios son los generadores de las células sexuales femeninas, mismas que viajan por los oviductos donde son fecundadas por los espermatozoides. Los embriones se desarrollan en el útero (cérvix) y son expulsados por la vagina. La uretra está conectada con el orificio vaginal (Figura7).





*Figura 7. Aparato reproductor de la hembra porcina. Pinhero, (1980)*

Como se mencionó previamente, se recomienda introducir el dispositivo entre 8 y 12 centímetros para obtener los mejores resultados, es preciso mencionar que con esto no se daña ninguna estructura, ya que el vestíbulo vaginal tiene una dimensión de casi 29 centímetros, hasta antes del cérvix, dado que dicha magnitud varía de un animal a otro. Al momento de la inseminación la probeta llega a introducirse alrededor de 38 centímetros, por lo que el dispositivo es mínimamente invasivo comparado con estas pipetas (Figura 8).



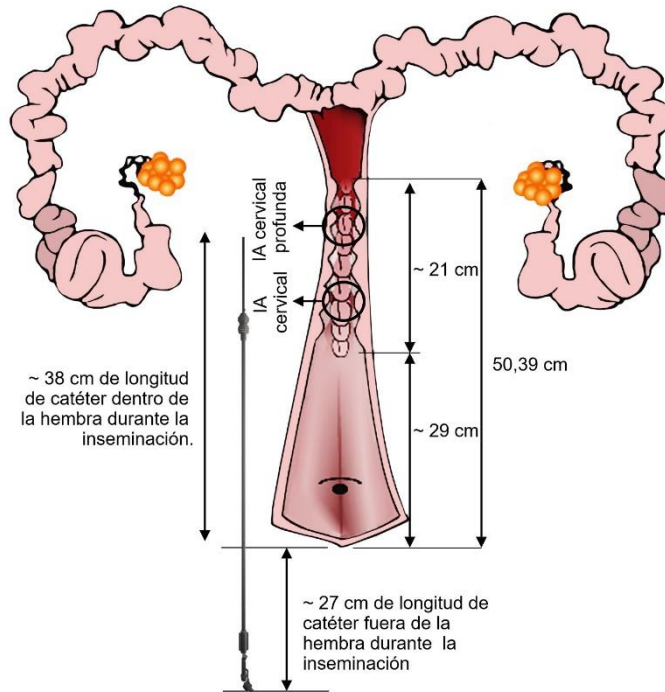


Figura 8. Dimensiones del aparato reproductor de la hembra. Tomada de: García, et al. (2018)

## 2.4 Servicios o Inseminación

La ovulación de la hembra tiene un comportamiento particular, ya que esta no libera todos sus óvulos de una sola vez, sino que lo hace en forma de oleadas, lo que puede complicar o facilitar la tarea al productor. Ya que no se conoce con precisión el momento en que los óvulos comienzan su camino por el aparato reproductor, se deben de dar varios “servicios” a la hembra, ya sea por inseminación artificial o natural por monta del semental. El servicio es la actividad que garantiza la rentabilidad de la granja, por lo que se debe elegir el lapso adecuado para la ejecución del mismo.

Dada la naturaleza de la ovulación de la cerda, se recomienda realizar al menos dos servicios para aumentar la probabilidad de que esta quede preñada con un espacio de 12 horas entre cada servicio, ejecutándose el primero medio día después de la aparición del celo, ya que en ese momento están todas las





condiciones ideales para que el espermatozoide viaje y se active al llegar al óvulo (Porras & Páramo, 2009).







## CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto fue necesaria la utilización de sensores que permitieran conocer en tiempo real la resistencia eléctrica intravaginal y la temperatura, por lo que fue necesario apoyarse en sensores que se encuentran en el mercado, y otros de propia construcción. Igualmente, se hicieron pruebas que permitieron consolidarlo como un dispositivo que unificara todos los instrumentos requeridos.

### 3.2 Sensor de temperatura

Se eligió el sensor DS18B20 (Figura 9) debido a la precisión que maneja ( $\pm 0.2$  °C), su protección en ambientes húmedos, así como su fácil conectividad y



*Figura 9. Sensor de temperatura DS18B20 utilizado en el prototipo.*

adaptación en el circuito.

### 3.3. Sensor de resistencia eléctrica





Como tal, no existe un sensor de resistencia eléctrica, simplemente se calcula la oposición al flujo de una corriente eléctrica y convencionalmente suele medirse con la ayuda de un multímetro.

La mayoría de los antecedentes presentaban sus resultados gracias al uso de instrumentos que existían en el mercado, mismos que contaban con una probeta que tenía dos, tres o cuatro anillos electrodos en la punta, alimentados por una fuente de bajo valor (9 a 12 volts), algunos explicaban el uso de una corriente eléctrica alterna que a su vez generaba una impedancia, sin embargo, manejar este tipo de variable elevaba la complejidad del dispositivo y también sus costos de fabricación, por lo que no era una opción deseable.

Dentro de la literatura consultada se encuentra la investigación desarrollada por Ramos, Lee y Peuler en el año 2001, que sirvió como principio de acción en el presente dispositivo. El artículo *“Un medidor barato para medir diferencias en la resistencia eléctrica en la vagina de una rata durante el ciclo ovárico”*, amplió la visión de lo que podía llegar a ser el dispositivo, ya que la bioelectricidad se aplica en cualquier animal, tanto en ratas como en cerdos. Al decir “barato” se refieren al uso de un conector de audio cable como probeta de medición, como se observa en la Figura 10. Al igual que en los artículos antes consultados este jack cuenta con anillos electrodos y funciona de la misma manera que una probeta diseñada



Figura 10. Jack de audio propuesto como probeta para la medición de la resistencia eléctrica en ratas (Ramos et al, 2001).



desde cero, con la virtud de la economización del dispositivo.

Se hicieron pruebas para elegir el mejor tipo de conector auricular por lo que se hicieron varias pruebas con diversos conectores, mostrados en la Figura 11,



Figura 11. Diferentes modelos de electrodos con conectores de audio cable.

dando como resultado uno de tres anillos metálico dorado, ya que las mediciones que éste ofrecía se encontraban dentro de un rango más pequeño y estable (Tabla 1), además de que entre mayor sea el número de electrodos la medición es mejor debido a que no ha interferencias.

A continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos de una primera ronda de pruebas que ayudó a seleccionar el electrodo encargado de detectar el mejor para la finalidad el proyecto.

Cuadro 1. Valores de prueba para diferentes modelos de electrodos.

Animal	Electrodo metálico 3 anillos 3.5 mm	Plástico 2 anillos 3.5 mm	Plástico 2 anillos 2.7 mm
1	0.235	0.170	0.250
2	0.310	0.290	0.270
3	0.265	0.270	0.120
4	0.212	0.240	0.132



### **3.4 Placa de desarrollo y transmisión de datos**

Debido a que se busca transmitir los datos en tiempo real con el fin de aprovechar al máximo el tiempo que dura el estro (celo) se requiere de una opción confiable para entrega y recepción de los datos. La placa NODEMCU ESP8266 está equipada con un módulo WiFi especialmente diseñada para realizar proyectos donde se involucre el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), que es exactamente lo que se busca: transmitir datos al momento que sean de utilidad en la actividad ganadera.

La plataforma para que este intercambio de información sea posible fue Thingspeak, de Matlab, ya que da acceso libre a canales para recibir y transmitir la información.

### **3.5 Evolución del prototipo**

1. Prueba del sensor de temperatura DS18B20 en Arduino Uno en las hembras de granja (Figura 12). Se equipó con una pantalla LCD para la visualización de los datos y se alimentó con una batería de 9 volts. Se utilizó esta placa por su facilidad de programación y porque únicamente se buscaba comprobar que se podía medir la temperatura vaginal y que existía una ligera variación entre los animales.





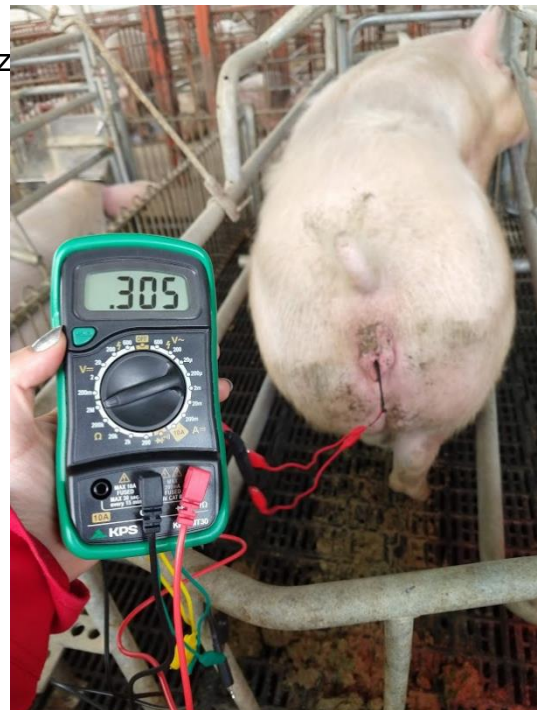
*Figura 12. Primeras pruebas del sensor de temperatura en cerdas.*



2. Se realizaron mediciones utilizando el conector de audio cable de 3.5 mm (Figura 13) respetando las dimensiones de introducción dentro del aparato (8 centímetros), ver Figura 21, recomendadas en los artículos consultados y ut



Figura 13. Elaboración del electrodo para medir la resistencia eléctrica.





*Figura 14. Mediciones de resistencia eléctrica en la granja utilizando multímetro para la comprobación del principio de acción.*

3. Incorporación de los sensores en un mismo circuito ahora utilizando la placa NODEMCU con módulo Wifi, prescindiendo del multímetro y cambiando la pantalla LCD por un display OLED para la compactación y ligereza del prototipo (Figura 15).



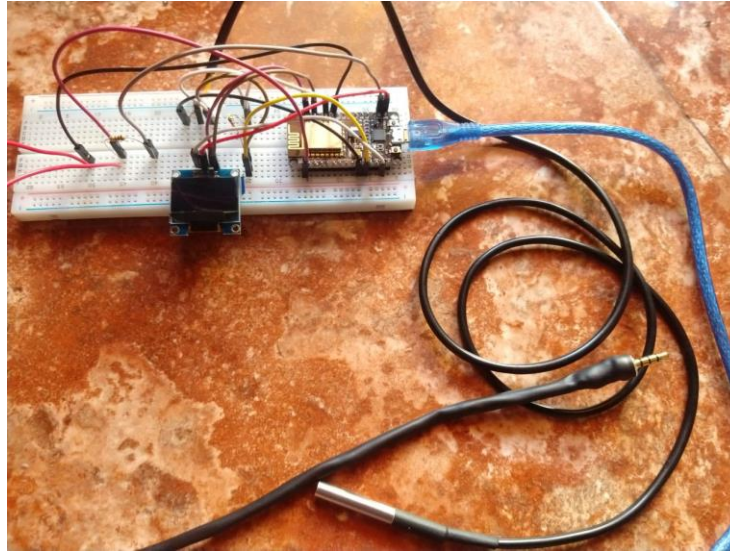


Figura 15. Unificación de senores y cambio de placa a NodeMCU



Figura 16. Primer prototipo inalámbrico con comunicación wireless y pantalla oled que refleja simultáneamente las mediciones de resistencia y temperatura. a) carcasa de acrílico, b) modo de uso.

4. Protección del circuito con acrílico que permitiera ver la medición y al mismo tiempo el circuito ya que estaba en etapa de prueba. Se adicionó la fuente de alimentación, en un prototipo tipo pulsera que permite facilitar las







maniobras con los animales al dejar ambas manos libres, apreciable en la Figura 16.

5. Observación de los datos en tiempo real gracias al uso de la plataforma Thingspeak, misma que se puede consultar en el canal: 993736 (Figura 17), a través de la computadora o en celular usando la aplicación ThingView Free que es igualmente de acceso libre sin costo de inscripción o mensualidad. Las dos variables se envían al mismo tiempo desde el circuito

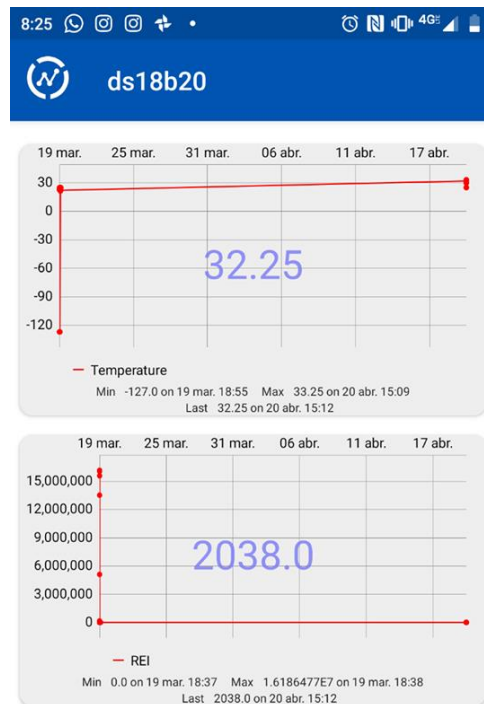


Figura 17. Vista en celular de la app ThingView Free

inalámbrico

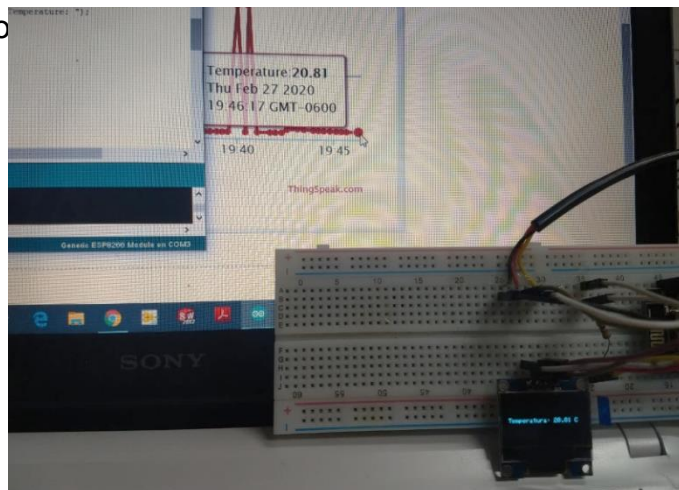


Figura 18. Registro en tiempo real de los valores captados por el dispositivo.

6. Se tra obtuvo uno  
que era realmente funcional, que incluía todos los componentes y que realizaba las acciones sin problema, siendo más fácil de limpiar y manejar. En el prototipo final se agregó una pila de 9 volts recargable que facilita al usuario su uso (Figura 19), se reduce al máximo el cambio continuo de pilas que puede representar el estar usando una placa de transmisión de datos online, además que esta fuente tiene un indicador de batería con la que el



Figura 19. Batería recargable externamente.

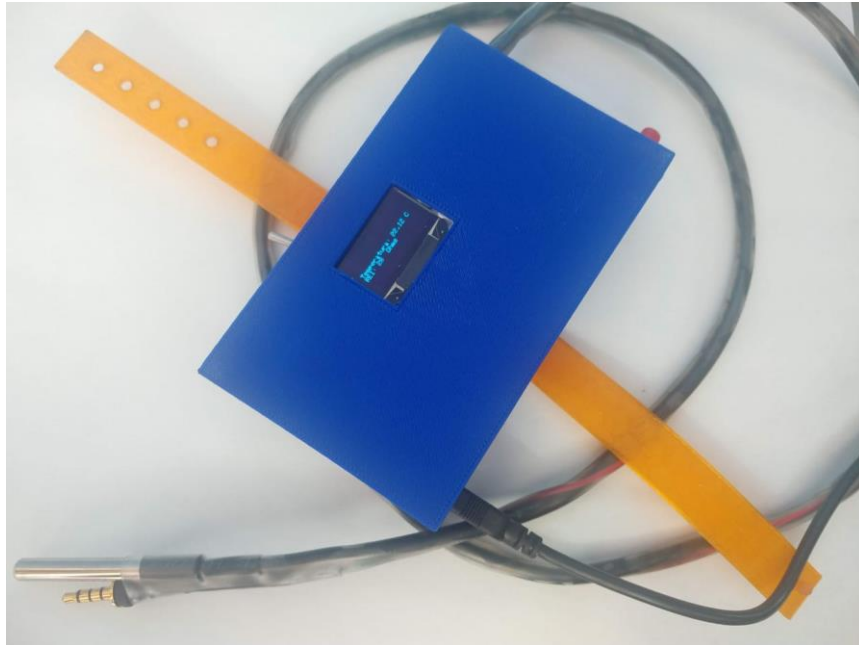
usuario conoce con mejor precisión el nivel de batería.

7. Buscando que fuera seguro de usar y a su vez cómodo, se simplificó el diseño y se redujo la altura de este para que quedara mejor sujeto al antebrazo, moviendo el centro de gravedad más hacia el usuario lo que permitía un manejo más orgánico y natural (Figura 20). Por último se imprimió en ABS para asegurar un mejor rendimiento y limpieza, y las dimensiones finales de este fueron de 11 centímetros por su lado más largo, sentado a su vez sobre lo largo del antebrazo, 6.50 centímetros de





ancho en proporción promedio a un brazo y también por el tamaño de la pila, así como una altura de 2.80 centímetros, siendo este prototipo el elegido por su facilidad de uso, limpieza y ajuste, pero sobre todo por el ahorro económico que representa la reducción de tamaño y el ajuste



ergonómico que ofrece y la accesibilidad de los botones de arranque y reset. Ver Figura 20.

8. Las mediciones y pruebas con el dispositivo final continúan en la Granja Aragón (Figura 21), siguiendo las nuevas medidas impuestas por la actual situación de pandemia que atraviesa el mundo, aunque se continua en investigación y no se descarta la mejora del presente instrumento, sin embargo, este cumple su objetivo inicial, hacer mediciones de temperatura y resistencia eléctrica simultáneamente y alertar al porcicultor cuando una de sus hembras se encuentra en el momento exacto para un inseminación exitosa.



*Figura 21. Mediciones en campo con el prototipo final.*

## 3.6 Variables de interés en el ciclo estral

### Resistencia eléctrica vaginal

Se sabe que existe una fuerte relación entre las hormonas reguladoras del ciclo y la resistencia eléctrica en el aparato reproductor de la hembra. Dado que los seres vivos están formados por átomos y éstos a su vez por electrones cargados de electricidad, es fácil comprender que se genere electricidad y se pueda medir una resistencia eléctrica en los organismos vivos, dicha variable se ve afectada





por los cambios en las hormonas, los órganos y los propios iones a cargo de la homeostasis.

La corriente eléctrica de un organismo se puede calcular con el uso de electrodos ya que estos convierten las corrientes iónicas del organismo (biopotenciales) en corrientes electrónicas comprensibles para el humano. Es por ello, que la Resistencia Eléctrica Intravaginal (REI) se consiguió siguiendo los precedentes bibliográficos, introduciendo el sensor de construcción propia en el aparato reproductor de las cerdas, siguiendo todo el manejo animal, evitando lastimar al animal, para ello era necesario limiar el sensor para evitar transmitir enfermedades y también se facilitaba el acceso de la sonda al separar los labios vaginal del animal, el sensor se introdujo 10 centímetros (Luño, 2012) con el fin de estar en contacto con la mayor cantidad de moco vaginal, los valores fueron obtenidos en  $\Omega M$  y los valores se tomaron por un periodo de 37 días a finales del año 2019. Las hembras observadas se encontraban en edad reproductiva y bajo tratamiento hormonal, las mediciones se realizaron en la Granja Aragón, en el poblado Belisario Dominguez, en Durango, México.

## Temperatura

La temperatura corporal es siempre dependiente del ambiente en el que se encuentre el ser vivo, sin embargo, se presentan cambios significativos que hacer pensar en la relación que tiene esta variable con el ciclo reproductivo. Algunas investigaciones informan que hay un descenso de hasta casi  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la piel vulvar al momento de la liberación de los óvulos, aproximadamente 12 horas después de que la resistencia eléctrica de sus valores más bajos cerca del valor cero, es decir, de la aparición del estro. Al igual que la REI, la temperatura vaginal se midió con un sensor, en este caso, el DS18B20, que por su construcción permitía el contacto con sustancias líquidas. Así mismo se limpiaba el sensor





antes de tomar la lectura en cada animal para evitar contagios de posibles enfermedades. La introducción del sensor de temperatura vaginal también fue de 10 centímetros, igual que con el sensor de REI, pero en este caso obteniendo valores en unidades de °C con lecturas tomadas durante un periodo de 37 días a finales del año 20219. Las hembras observadas se encontraban en edad reproductiva y bajo tratamiento hormonal, las mediciones se realizaron en la Granja Aragón, en el poblado Belisario Dominguez, en Durango, México.

### **Análisis estadístico de la información**

Para el presente estudio se utilizó estadística descriptiva en el análisis y representación de los resultados. Se realizaron pruebas de correlación y regresión de las variables de resistencia eléctrica intravaginal y temperatura.





## CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION

Las pruebas del dispositivo fueron llevadas a cabo en la Granja Aragón, ubicada en el ejido Belisario Domínguez, Dgo. en el estado de Durango, gracias a un convenio realizado con el Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.

### 4.1 Desarrollo del Dispositivo para Detección de Estros

Como parte importante de los resultados se tiene el desarrollo del prototipo detector de estro a partir de las dos variables de resistencia eléctrica vaginal y la temperatura presentadas en la metodología.

El dispositivo elaborado para los presentes fines fue elaborado de una sola pieza con construcción sólida. Se creó en una impresora 3D Dream NX en material ABS para asegurar una mayor durabilidad, las medidas finales del dispositivo fueron 11.00 centímetros en su lado más largo, 6.50 centímetros de ancho y una altura de 2.80 centímetros. Además de una sonda flexible de 94 centímetros de largo en la que se encontraban los sensores en la punta de la misma, recubierto con un plástico termo contracturable de protección contra fluidos para proteger el circuito. Las dimensiones fueron elegidas de esta manera debido a que esta configuración se adaptaba al manejo del usuario, es decir, el dispositivo es fácil de usar ya que se utiliza como un brazalete en el antebrazo izquierdo, de modo que deja libres las dos manos para el manejo animal, limpieza y preparación de la hembra para la introducción de la sonda.

En la parte superior del dispositivo se colocó una pantalla OLED 128x64 0.96 compatible con arduino, en este display se reflejaban los valores de REI y temperatura vaginal al momento y simultáneamente, lo que ayudaba a poder





tomar acciones al momento en caso de requerir servicios de inseminación, se eligió este tipo de display por la facilidad de lectura y configuración de contraste y texto que un display LED no ofrece.

Como se comentó anteriormente, el sensor responsable de medir la temperatura fue un DS18B20 sumergible, también compatible con Arduino, se eligió por su protección anti fluido, así como su voltaje de operación, 3 a 5 volts, su longitud de 100 centímetros y su precisión de 0.05°C.

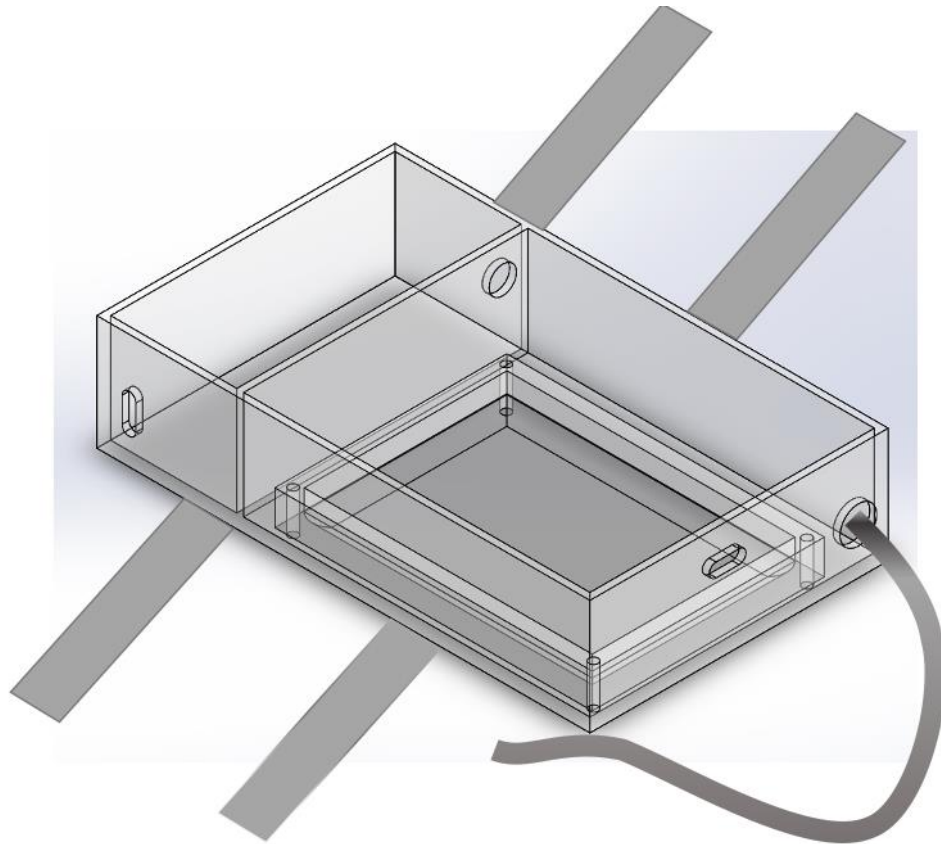
Por su parte el sensor de REI se elaboró desde cero y se pudo ajustar la longitud a conveniencia del modelo, así como el uso de unidades en  $\Omega M$  y la configuración simplificada en la tarjeta de desarrollo.

La alimentación del circuito era vital, ya que la comunicación wireless representa un alto consumo energético, además de uso de los sensores y la pantalla, por lo que se eligió una pila de litio de 9 volts, que se recarga con cable USB a cualquier corriente eléctrica de 12 volts, lo que vino a simplificar el modelo tridimensional ya que no era necesario retirar la fuente de alimentación después de cada uso, si no que se recarga externamente a través de una ranura.

La placa de desarrollo fue una NodeMCU Lua Versión 3, con el módulo Wifi RF ESP8266 incluido en su estructura, lo que redujo el tamaño del modelo. Esta placa de desarrollo se programó en el software de Arduino por puerto serial desde una PC con las librerías específicamente configuradas. Así como con la pila recargable, se dejó una ranura en el prototipo con el fin de poder cargar nuevos programas, reconfigurar o reestablecer el programa sin necesidad de intervenir la carcasa. A continuación se presenta el dispositivo en la Figura 22, en él se pueden observar las partes que lo componen: la pila recargable va en el contenedor izquierdo, la placa en el derecho, y las ranuras para recargas también van señaladas. Las correas se encuentran igualmente representadas, se encuentran en la parte inferior del dispositivo con el fin de utilizarlo como pulsera.



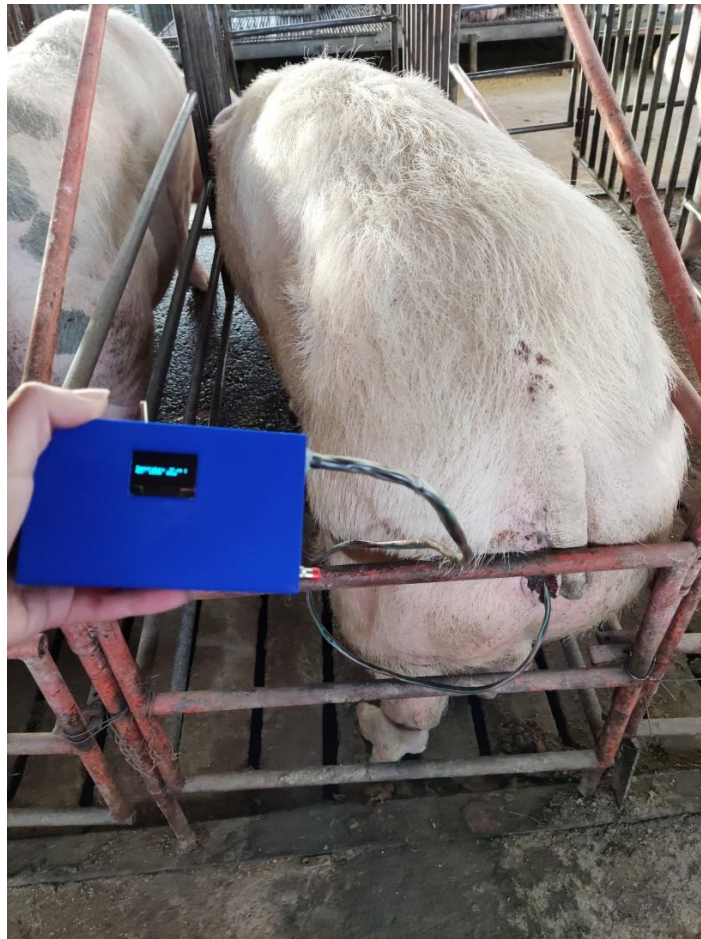




*Figura 22. CAD del dispositivo*

El prototipo cumplió su objetivo principal ya que fue capaz de detectar las fluctuaciones de REI y temperatura entre las hembras porcinas a lo largo de su ciclo estral en las unidades preestablecidas. En la Figura 23 se presenta el dispositivo en la Granja Aragón en una de las hembras porcinas observadas, para su uso se siguió el manual de usuario del prototipo, mismo que se encuentra dentro de los Anexos.





*Figura 23. Prototipo en funcionamiento.*

Las primeras mediciones de resistencia eléctrica y temperatura se comenzaron a realizar formalmente el día 25 de noviembre del 2019 y finalizaron el 31 de diciembre de ese mismo año, durante ese tiempo se observaron 10 hembras multíparas en edad reproductiva. Las primeras 5 cerdas se encuentran en el Cuadro 1, en el Cuadro 2 están las cerdas que por sus características favorables se fueron añadiendo al estudio.





Cuadro 2. Parte uno de las mediciones hechas en el 2019.

MEDICIONES 2019											
DÍA		ANIMAL 1		ANIMAL 2		ANIMAL 3		ANIMAL 4		ANIMAL 5	
		11		24		45		35205		34	
		REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura
1	25/11/19	0.170		0.075		0.050		0.163			
2	26/11/19	0.035	36.69	0.124	36.8	0.075	36.60	0.080	37.56	0.066	35.50
3	27/11/19	0.133	36.65	0.132	36.9	0.140	36.75	0.120	37.20	0.115	37.00
4	28/11/19	0.13	36.77	0.205	36.9	0.180	36.78	0.125	37.85	0.139	37.21
5	29/11/19	0.217	36.25	0.210	36.2	0.192	36.19	0.180	38.13	0.154	37.13
6	30/11/19	0.234	36.75	0.214	36.8	0.194	36.69	0.235	37.50	0.199	37.00
7	01/12/19	0.251	37.20	0.215	37.0	0.198	37.10	0.218	37.78	0.190	37.12
8	02/12/19	0.203	37.05	0.210	36.2	0.202	36.30	0.167	36.97	0.227	37.39
9	03/12/19	0.182	37.19	0.190	36.3	0.202	36.81	0.088	37.38	0.228	37.00
10	04/12/19	0.105	36.56	0.115	36.8	0.187	37.50	0.105	36.06	0.200	35.88
11	05/12/19	0.210	37.00	0.205	37.0	0.165	37.19	0.240	37.25	0.181	37.63
12	06/12/19	0.153	37.00	0.195	37.6	0.180	37.38	0.253	37.94	0.250	37.56
13	07/12/19	0.208	38.25	0.195	39.2	0.182	37.13	0.240	38.06	0.218	37.38
14	08/12/19	0.231	37.75	0.179	37.4	0.278	37.50	0.240	37.70	0.260	37.75
15	09/12/19	0.186	36.44	0.198	36.2	0.302	37.38	0.225	37.69	0.203	37.56
16	10/12/19	0.202	36.50	0.253	37.6	0.253	37.10	0.225	38.00	0.217	38.20
17	11/12/19	0.248	36.00	0.142	37.1	0.250	36.60	0.266	38.20	0.163	37.80
18	12/12/19	0.138	35.70	0.115	37.2	0.197	36.40	0.267	38.10	0.240	37.90
19	13/12/19	0.181	35.70	0.119	36.7	0.260	36.30	0.219	38.00	0.206	37.80
20	14/12/19	0.234	36.60	0.224	37.1	0.289	37.30	0.267	37.10	0.258	37.80
21	15/12/19	0.216	37.40	0.186	37.7	0.225	36.20	0.286	38.50	0.268	38.00
22	16/12/19	0.321	35.40	0.280	37.0	0.325	37.00	0.300	38.00	0.262	37.30
23	17/12/19	0.218	36.20	0.246	38.0	0.302	36.40	0.286	38.50	0.215	37.50
24	18/12/19	0.238	37.40	0.279	37.0	0.253	36.80	0.274	36.50	0.257	37.00
25	19/12/19	0.306	35.40	0.261	36.1	0.335	36.50	0.270	36.10	0.261	36.80
26	20/12/19	0.300	35.50	0.270	36.6	0.395	37.30	0.230	37.70	0.290	36.70
27	21/12/19	0.238	36.40	0.306	36.1	0.312	37.00	0.256	38.30	0.293	37.40
28	22/12/19	0.232	36.20	0.348	36.8	0.269	38.40	0.194	35.90	0.196	38.00
29	23/12/19	0.248	35.90	0.287	36.7	0.256	36.70	0.348	37.70	0.341	37.60
30	24/12/19	0.174	38.00	0.360	38.3	0.257	36.40	0.252	36.30	0.290	37.60
31	25/12/19	0.252	36.90	0.326	38.0	0.284	35.80	0.320	37.20	0.292	38.00
32	26/12/19	0.287	37.20	0.312	38.4	0.330	38.00	0.330	36.10	0.282	36.40
33	27/12/19	0.254	35.70	0.255	36.7	0.296	35.80	0.262	36.10	0.318	38.30
34	28/12/19	0.370	35.94	0.261	36.4	0.333	36.81	0.277	37.00	0.272	37.75
35	29/12/19										
36	30/12/19	0.252	38.66	0.289	38.7	0.333	37.34	0.260	39.10	0.278	37.79
37	31/12/19	0.310	37.54	0.331	37.8	0.304	38.14	0.330	38.60	0.330	38.20





Cuadro 3. Parte 2 de las mediciones hechas en el 2019.

		MEDICIONES 2019										
		ANIMAL 6		ANIMAL 7		ANIMAL 8		ANIMAL 9		ANIMAL 10		
		62		17		29		58		35139		
		REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura	REI	Temperatura	
DÍA	1	25/11/19										
	2	26/11/19										
	3	27/11/19										
	4	28/11/19										
	5	29/11/19										
	6	30/11/19										
	7	01/12/19	0.114		0.146							
	8	02/12/19	0.233	37.22	0.155	37.62						
	9	03/12/19	0.087	36.81	0.150	38.25						
	10	04/12/19	0.153	37.13	0.160	37.38						
	11	05/12/19	0.143	37.13	0.170	37.81						
	12	06/12/19	0.199	38.06	0.245	37.19						
	13	07/12/19	0.192	37.75	0.192	37.63						
	14	08/12/19	0.167	37.56	0.245	37.38						
	15	09/12/19	0.182	37.80	0.343	37.81	0.181	37.13	0.175	37.03		
	16	10/12/19	0.181	37.30	0.184	37.20	0.175	37.30				
	17	11/12/19	0.212	38.10	0.148	37.60	0.257	37.80	0.253	36.80		
	18	12/12/19	0.180	37.40	0.221	38.00	0.150	37.70	0.259	37.00		
	19	13/12/19	0.177	37.80	0.136	37.80	0.136	37.60	0.126	37.40		
	20	14/12/19	0.333	37.60	0.277	38.10	0.227	37.10	0.237	37.30		
	21	15/12/19	0.240	37.90	0.249	37.90	0.237	37.90	0.252	38.00		
	22	16/12/19	0.305	37.90	0.300	38.00	0.282	38.00	0.237	37.10		
	23	17/12/19	0.239	38.00	0.301	36.40	0.216	37.60	0.251	36.60		
	24	18/12/19	0.270	38.60	0.264	38.20	0.198	36.10	0.258	38.20	0.286	37.20
	25	19/12/19	0.295	35.80	0.281	36.60	0.190	37.00	0.334	36.50	0.266	36.30
	26	20/12/19	0.218	36.90	0.306	37.10	0.330	37.00	0.245	37.90	0.259	37.50
	27	21/12/19	0.226	37.00	0.365	37.50	0.249	37.10	0.234	37.70	0.176	37.00
	28	22/12/19	0.294	37.00	0.224	36.80	0.318	37.00	0.216	38.10	0.268	36.50
	29	23/12/19	0.334	37.80	0.267	35.70	0.319	37.80	0.272	37.80	0.356	37.70
	30	24/12/19	0.283	37.30	0.242	37.60	0.253	37.60	0.237	36.90	0.290	37.20
	31	25/12/19	0.264	36.70	0.264	37.90	0.226	36.40	0.232	37.50	0.353	38.60
	32	26/12/19	0.291	36.30	0.301	35.60	0.249	38.60	0.292	36.70	0.338	37.60
	33	27/12/19	0.236	37.00		37.00	0.280	36.80	0.265	35.40	0.297	38.20
	34	28/12/19	0.308	37.19	0.304	37.38	0.278	36.13	0.342	36.88	0.312	36.44
	35	29/12/19										
	36	30/12/19	0.271	38.40	0.226	38.33	0.343	38.21	0.261	35.70		
	37	31/12/19	0.262	37.20	0.301	35.92	0.268	38.00	0.275	36.65		

#### 4.2 Resistencia Eléctrica Intravaginal (REI)

En la Figura 24 se ven todos los valores de la Resistencia Eléctrica obtenidos de los diez animales durante el 2019. Se obtuvieron valores promedio de 0.247 MΩ con valores máximos promedio de 0.321 MΩ y mínimos de 0.141 MΩ, valores





que comúnmente se determinaron en el periodo del destete al inicio de la gestación.

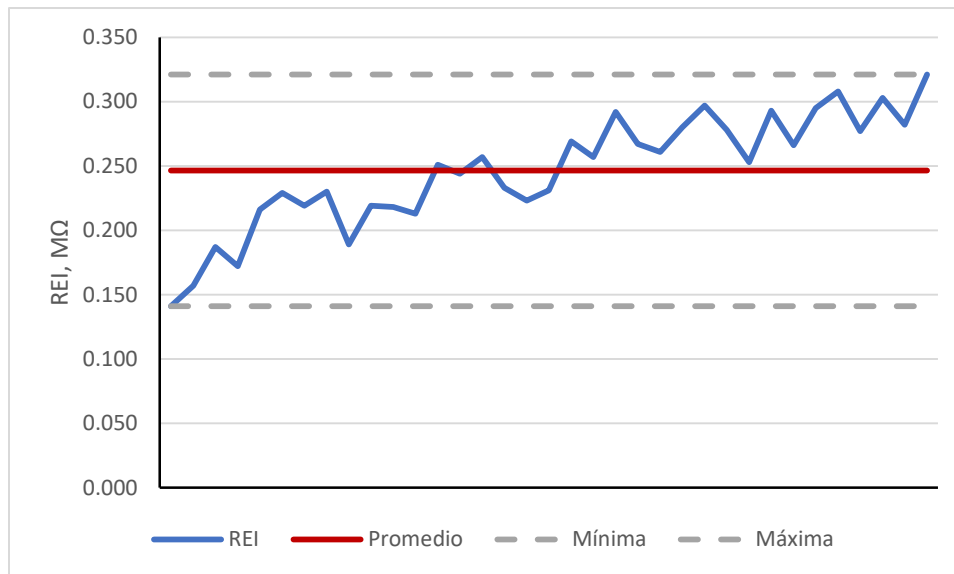


Figura 24. Valores de Resistencia Eléctrica Intravaginal (REI) observados en las 10 hembras

En complemento a la Figura 24, la Figura 25 ayuda a percibir de manera más clara y concisa los valores de la Resistencia Eléctrica Intravaginal, donde igualmente muestra los valores máximos y mínimos por día, de las diez hembras observadas.

El crecimiento positivo de los valores es evidente y por ende indica que las hembras fueron preñadas, o de lo contrario existirían valores negativos con relación al promedio indican el reinicio del ciclo, tal como se mencionaba anteriormente, cerca del día dieciocho o diecinueve del ciclo hay una pequeña caída, más notable en unas hembras que otras, en respuesta a que el cuerpo sufre cambios hormonales para mantener el embarazo.



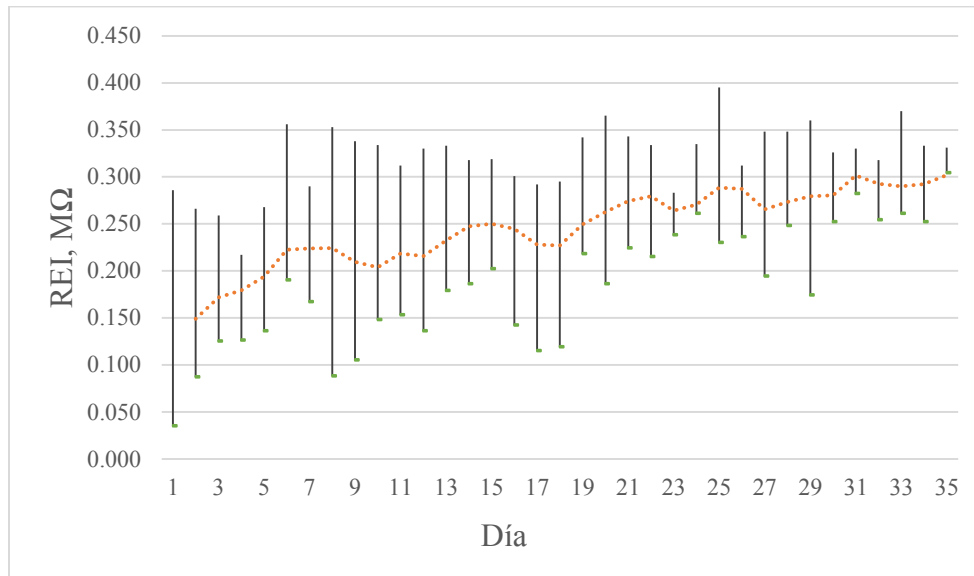


Figura 25. Comparativa de los valores promedios con máximos y mínimos de REI.

### 4.3 Temperatura Intravaginal (TIV)

La temperatura máxima observada en los animales fue de  $38.31^{\circ}\text{C}$ , con media de  $37.20^{\circ}\text{C}$  y una y un mínimo de  $36.5^{\circ}\text{C}$ . Se observó un descenso relativamente considerable de  $0.70^{\circ}\text{C}$  entre la temperatura intravaginal promedio y la temperatura mínima que indicó, en general, el inicio del estro (Figuras 26 y 27).



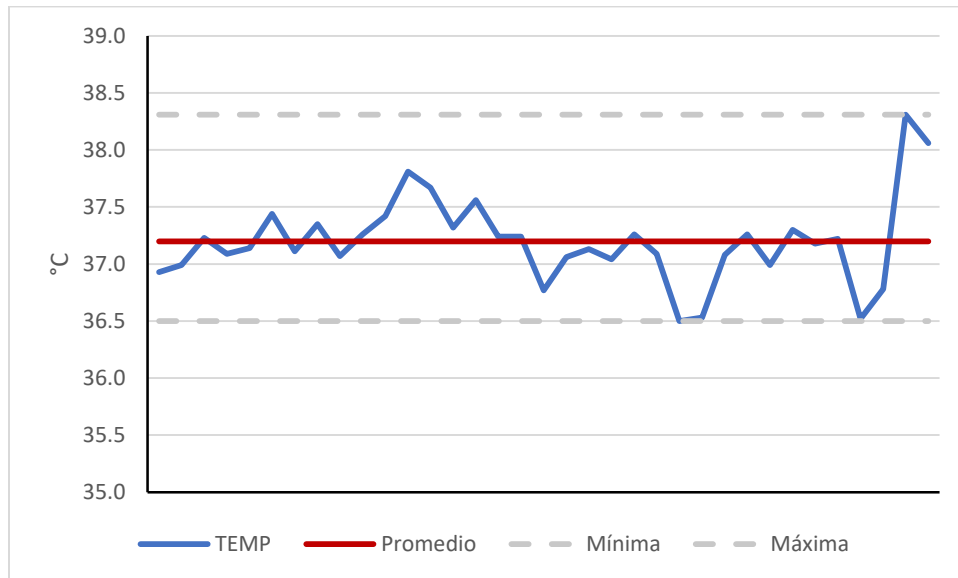
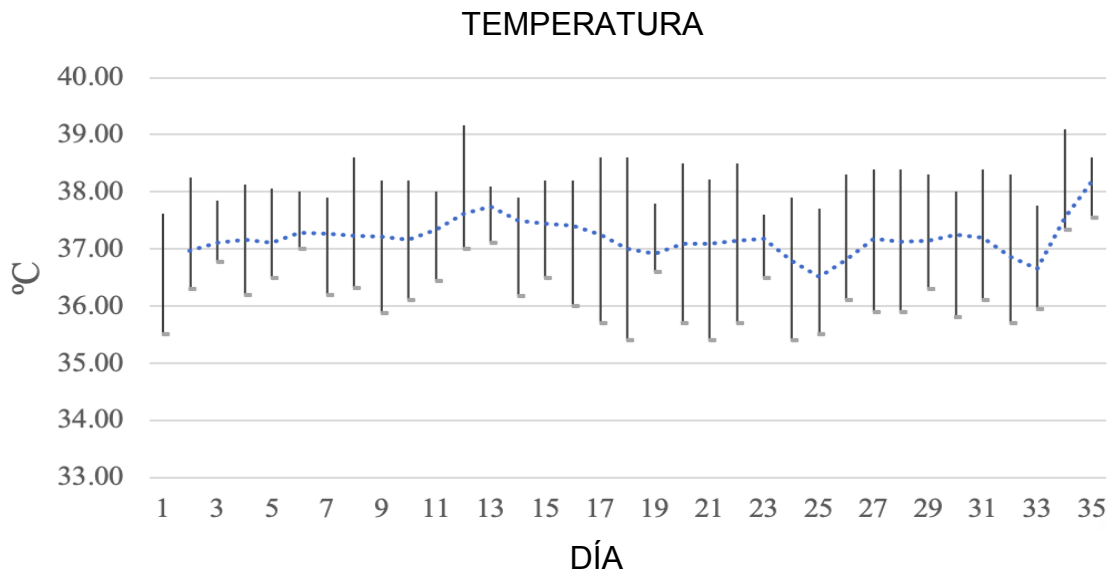


Figura 26. Temperatura Intravaginal promedio observada durante el periodo post destete – inicio de la gestación

Es conveniente considerar las condiciones en las que vive el animal al momento del estudio, ya que, si en encuentran libres, o no tienen una sombra para resguardarse puede influir levemente en las mediciones, además que son propensos, al igual que la mayoría de los mamíferos, a termo regularse. Sin embargo, para el presente estudio, al estar todos los animales bajo las mismas condiciones y cuidados de confinamiento y bajo techo se decidió eliminar estas variables al estudio.

Asimismo, se presenta en la figura 27, los valores promedio diarios de las diez hembras con sus respectivos valores máximos y mínimos. El día 1 representa el inicio del estro y como se puede observar se observa un leve descenso de la temperatura del día 17 al día 19 postestro, lo cual podría ser un referente de inicio de la gestación.





#### 4.4 Relación REI - TIV

Con base en los valores de la resistencia eléctrica intravaginal y la temperatura a lo largo del ciclo estral se presenta en la Figura 28 cómo se secciona el ciclo estral en sus cuatro fases de acuerdo a lo publicado por Yilma y Sobiraj (2011), el estro está mostrado en color verde teniendo una duración aproximada de 2 días, en color morado se encuentra el metaestro que dura aproximadamente 7 días, el diestro se representa en el color rojo y dura aproximadamente 9 días, y por último está la parte del proestro que dura aproximadamente 3 días. Los valores de REI muestran una relación inversa con las concentraciones reportadas de estradiol, mientras que los valores de progesterona presentan una relación directa con la

*Figura 27. Comparativa de los valores promedios con máximos y mínimos de Temperatura.*

temperatura intravaginal registrada en este estudio (Figura 28 y Cuadro 4).





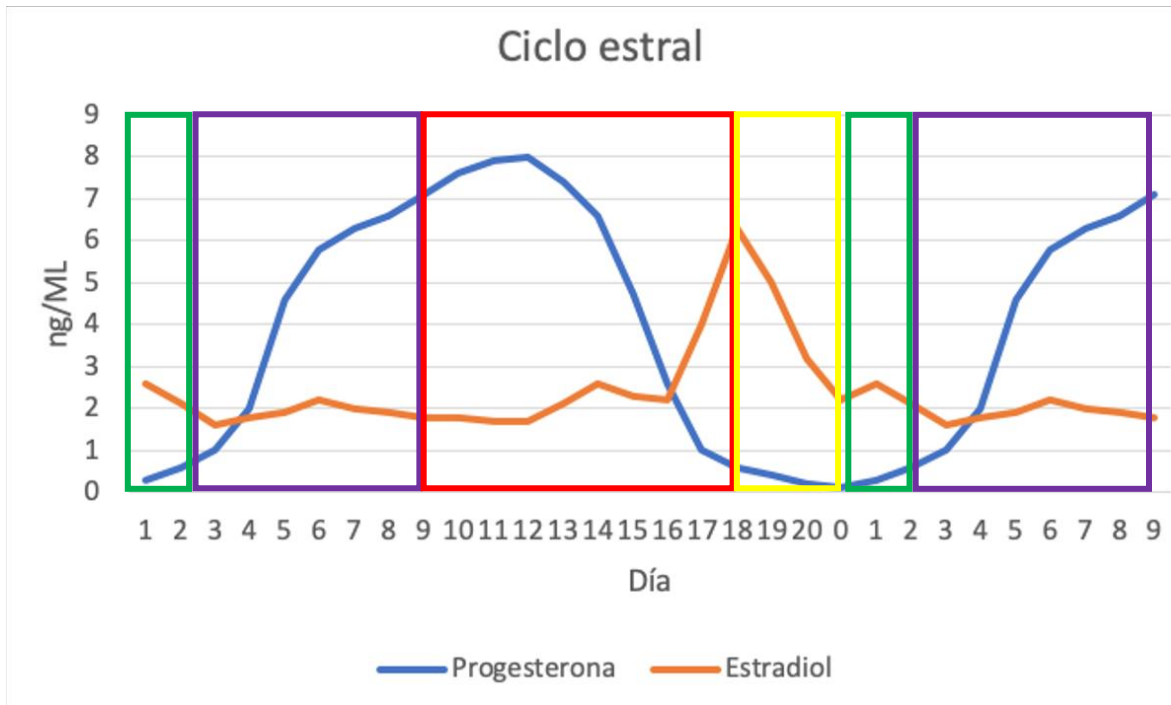


Figura 28. Representación de las fases del comportamiento ideal del ciclo estral sin fecundación con base a Yilma y Sobiraj, 2011 .

	Estro	Metaestro	Diestro	Proestro
REI	0.1490 MΩ	0.2058 MΩ	0.2320 MΩ	0.2723 MΩ
Temperatura	36.9605 °C	37.2042 °C	37.3647 °C	37.0766 °C

Cuadro 4. Valores de REI y temperatura según las fases del ciclo estral porcino.

Es importante destacar que los valores medidos de diestro y proestro son mayores que los esperados ya que las hembras fueron preñadas y por lo tanto no se retornó al estro, si no que los valores hormonales se mantuvieron con el objetivo de sostener el embarazo.





Se presentan a continuación los valores de REI y temperatura intravaginal IV (Figura 29) donde se recogen las mediciones de resistencia y temperatura intravaginales con los valores mínimos y máximos por día del total de la población, así como su promedio en la primera columna de cada variable. Se observan valores iniciales contrastantes en el estro mínimos para REI y elevados para TIV y un pico alrededor del día 25 en la REI con un descenso notorio en la TIV, lo cual podría estar asociado a la reabsorción embrionaria de los embriones que mueren por múltiples causas (Pallás, 2008).

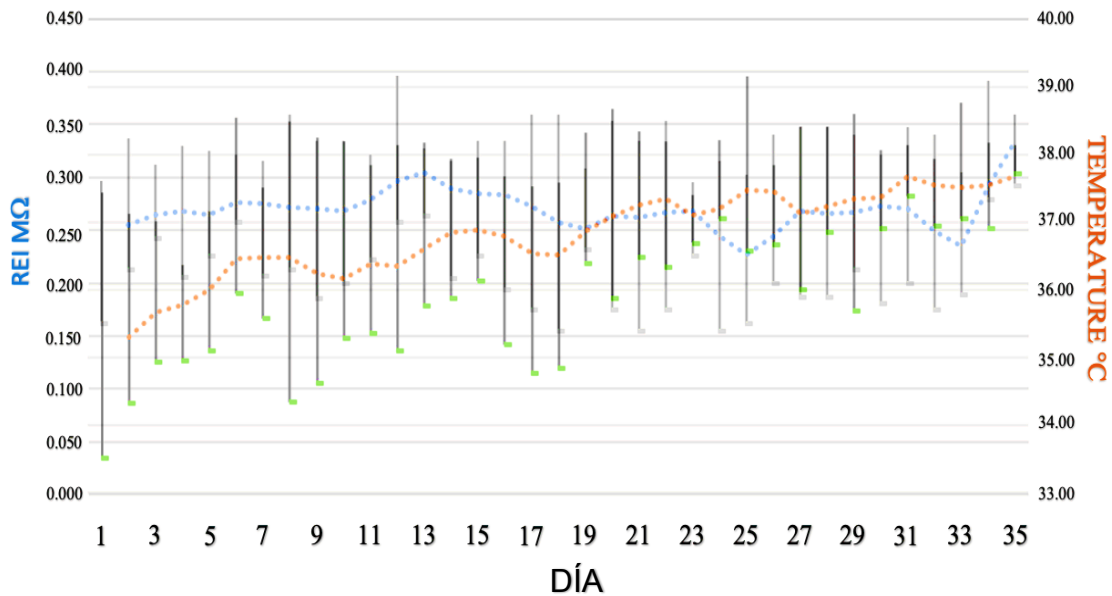


Figura 29. Comparación de Temperatura y REI con valores máximos y mínimos.

#### 4.5 Análisis Estadístico

Se obtuvieron las medidas descriptivas y la correlación entre las variables REI y TIV. La desviación estándar de cada variable mostró poca desviación con respecto a los valores medios, lo cual indica que la REI puede ser utilizada con relativa confianza y facilidad para la detección de estro, aunque la TIV mostró





valores menos diferenciados durante el periodo de medición lo cual podría impedir su utilización práctica para la detección del estro en las hembras porcinas.

Los valores descriptivos obtenidos para la resistencia intravaginal y temperatura intravaginal fueron  $\bar{x}_{REI} = 0.246 \pm \sigma_{REI} = 0.0438$  y  $\bar{x}_{temp} = 37.20 \pm \sigma_{temp} = 0.3797$ , respectivamente; que indican que los datos se localizan con poca dispersión con relación a los valores promedio.

Cuando se considera el periodo completo de mediciones, contrario a lo esperado, en este estudio no se encontró correlación ente la REI y la TIV ( $r = 0.0370$ ), por consiguiente el coeficiente de determinación es prácticamente cero  $R = 0.14\%$ . Sin embargo, esto podría deberse al tamaño de muestra que por dificultades de disponibilidad de hembras en condiciones fisiológicas similares no pudo ser mayor, por lo que no se descarta que con más datos este valor pueda elevarse.





## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La temperatura y la resistencia eléctrica intravaginales son variables que sí pueden ser interpretadas por el hombre, por lo que a consecuencia este dispositivo ayuda a comprender el comportamiento del ciclo estral y detectar también el primer día del estro con el fin de maximizar la producción porcina en las pequeñas y medianas empresas.

La REI puede ser utilizada para determinar con éxito el inicio del estro en las hembras porcinas.

La tecnología utilizada en este dispositivo puede ser replicada y ajustada interna y externamente al servicio de otras especies, es decir, se puede utilizar para conocer el ciclo reproductivo en vacas, caballos, ovejas o cabras, por ejemplo, por lo que está sujeto a la mejora continua y a una especialización completa, o integración con más áreas del conocimiento, por lo que no se cierra la puerta a ningún especialista que desee usar esta investigación como punto de apoyo.

Se recomienda apostar por esta tecnología ya que es económicamente accesible, replicable y confiable para los sectores más desfavorecidos que pretenden potencializar su producción porcina.





## LITERATURA CITADA

Abrams, R. M. & Bazer, F. W. (1973). Cyclic variations in vaginal thermal conductance in ewes.

Ackman, J. J. (1993). Complex bioelectric impedance measurement system for the frequency range from 5 Hz to 1 MHz.

Alvarín, J. (2016). Sistema de medida de impedancia de bajo coste.

Basile, U. (2018). Vagina impedance checker MK-12.

Belstra, B., Flowers, B., Todd, M. & Singleton, W. (2008). *Detection of estrus or heat.*

Bertin, S. (2008). Resistencia eléctrica en mucus vaginal durante el ciclo estral en vacas.

Breniuc, L. & David, V. (2014). Wearable impedance analyzer based on AD593.

Carrasco, L. C. (2008). Actividad de siete exoglicosidasas, concentración de proteínas y cambios de volumen, en el fluidooviductal de las especies bovina y porcna a lo largo del ciclo estral. p.75

Dusza, L., Opalka, M., Kamińska, B., Kamiński, T. & Ciereszko, R. E. (1996). The relationship between electrical resistance of vaginal mucus and plasma hormonal parameters during periestrus in sows.

Fathalla, M., Younis, L. & Jawad, N. (1987). Progesteron concentration and ovascan reading during the estrus cycle in arabian mares.

Hidalgo, D. M., Cassar, G., Manjarin, R., Domínguez, J. C., Friendship, R. M. & Kirkwood, R. N. (2015). *Relationship between vaginal mucus conductivity and time of ovulation in weaned sows.*





- Higuera, M. (2018). Perspectivas de 2018 en la producción porcina.
- Juan, M. & Ruiz, M. (2015). Ética de la investigación con animales, gaceta CONBIOÉTICA.
- Kyle, B. L., Kennedy, A. D. & Small, J. A. (1997). Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows.
- Lemke, J. K. (1985). *Patent N°4,498,481*.
- Luño, V., Gil, L., Jerez, R. A., Malo, C., González, N., Grandía, J. & de Blas, I. (2013). Determination of ovulation time in sows based on skin temperature and genital electrical resistance changes.
- Luño, V., Gil, L., Jerez, R. A., Malo, C., Galé, I. & de Blas, I. (2012). Crystallisation pattern of vestibular mucus and its relation to vestibular electrical resistance in cycling sow.
- Mc Donald, L. E. & Pineda, M. H. (1991). *Endocrinología veterinaria y reproducción*.
- Muromachi, K. (2015). Rat impedance checker Model MK-11.
- Ojarand, J., Min, M. & Koel, A. (2019). Multichannel electrical impedance spectroscopy analyzer with microfluidic sensors
- Pérez, N. (2016). Estudio comparativo para determinación del periodo fértil en *Canis Familiaris* mediante la resistencia eléctrica del moco vaginal y progesteronemia.
- Pinhero, L.C. (1980). Los cerdos: Textos de agronomía y veterinaria.





- Pliquett, U. & Barthlel, A. (2012). Itterfacing the AD5933 for bio-impedance measurements with front ends providing galvanostatic or potentiostatic excitation.
- Porras, A. & Páramo, R. (2009) Manual de prácticas de reproducción animal.
- Quesada, L., León, C., Betancourt, J. & Nicolau, E. (2016). Elementos teóricos y prácticos sobre la bioimpedancia eléctrica en la salud.
- Ramos, S. D., Lee, J. M. & Peuler, J. D. (2001). An inexpensive meter to measure differences in electrical resistance in the rat vagina during the ovarian cycle.
- Rezáč, P., Kukla, R. & Pöschl, M. (2002). Effect of sow parity on vaginal electrical impedance.
- Rezáč, P., Vašíčková, D. & Pöschl, M. (2003). Changes of electrical impedance in vaginal vestibule in cyclic sows.
- Ruiz, M. E., Rivera, B. & Ruiz, A. (1998). Reproducción animal: Métodos de estudio en sistemas.
- Scolari, S. C. (2010). Investigation of skin temperature differentials in relation to estrus and ovulation in sows using a thermal infrared scanning technique.
- Scolari, S. C., Clark, S. G., Knox, R. V., & Tamassia, M. A. (2010). Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography.
- Soede, N. M., Hazeleger, W., Broos, J. & Kemp, B. (1996). Vaginal temperature is not related to the time of ovulation in sows.
- Tadesse, M., Thiengtham, J., Pinyopummin, A., Prasanpanich, S. & Tegegne, A. (2011). The use of Vaginal Electrical Resistance to diagnose estrus and





early pregnancy and its relation with size of the dominant follicle in dairy cattle.

Velázquez, J. (2011). Evaluación de la conductividad eléctrica vaginal en cerdas púberes y cerdas púberes ovariectomizadas e inducidas al estro con estradiol libre administrado vía intracerebroventricular.

Wilde, O. R., De la Vega, A. C., Cruz, M. L., Albarracín, G. & Escalante, F. (2004). Variación de la conductividad eléctrica vaginal (CEV) durante la sincronización con progesterona y 17-b estradiol en yeguas.

Yamauchi, S., Nakamura, S., Yoshimoto, T., Nakada, T., Ashitzawa, K., & Tatemoto, H. (2009). Prediction of the estrous cycle and optimal insemination time by monitoring vaginal electrical resistance (VER) in order to improve the reproductive efficiency of the Okinawan native Agu pig.

Yilma, T. & Sobiraj, A. (2011). Study on the relationships of intravaginal electrical impedance and plasma level of progesterone and estradiol-17b in estrus synchronized sows in prediction of the optimal insemination time in pig.

Yoo, S. (2017). A low-cost, portable, web-based impedance spectroscope for agricultural applications.







## ANEXOS

### Programación del dispositivo

Se presenta parte del programa que permitió la integración de los sensores y el envío de datos a través de Thinspeak.

```
//INCLUDE INCLUDE INCLUDE
```

```
//Thingspeak
```

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#define myPeriodic 15 //in sec | Thingspeak pub is 15sec
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 2 // DS18B20 on arduino pin2 corresponds to D4 on  
physical board
```

```
//Display
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

```
Adafruit_SSD1306 display(-1);
```

```
// EXTRAS EXTRAS EXTRAS EXTRAS
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```





```
DallasTemperature DS18B20(&oneWire);
float prevTemp = 0;
const char* server = "api.thingspeak.com";
String apiKey ="I5TY245BL3M7PLZ3";
const char* MY_SSID = "Telcel-1EB9";
const char* MY_PWD = "3E5D6YB2Q5Y";
int sent = 0;
float temp;
int PinA0 = 0;
int lectura = 0;
int Ve = 3.3; // Tensión en la NODEMCU ESP.
float VR2 = 0;
float R1 = 1000000;
float R2 = 0;
float I = 0;
float relacion = 0;

//PROMEDIO SENSOR
const int numReadings = 10;
int readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int readIndex = 0; // the index of the current reading
int total = 0; // the running total
int average = 0; // the average
int inputPin = A0;

//VOID SETUP VOID SETUP VOID SETUP
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  connectWifi();
  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
```





```
readings[thisReading] = 0;
}
}
void dataShow(void){
// initialize with the I2C addr 0x3C
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);

// Clear the buffer.
display.clearDisplay();
// Display Text
display.setTextSize(1.5);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,28);
display.print("Temperatura: ");
display.print (temp = DS18B20.getTempCByIndex(0));
display.println(" C");
display.print("REI: ");
display.print(average);
display.print(" Ohms");
display.display();
delay(500);
display.clearDisplay();
}

// VOID LOOP VOID LOOP VOID LOOP

void loop()
{
float temp;
//char buffer[10];
```





```
DS18B20.requestTemperatures();
temp = DS18B20.getTempCByIndex(0);
//String tempC = dtostrf(temp, 4, 1, buffer);//handled in sendTemp()
Serial.print(String(sent)+" Temperature: ");
Serial.println(temp);
sendTeperatureTS(temp);
int count = myPeriodic;
while(count--)
delay(100);
dataShow();
lectura = analogRead(PinA0);
if(lectura)
{
relacion = lectura * Ve;
VR2 = (relacion)/1024.0;
relacion = (Ve/VR2) -1;
R2= ((R1 * relacion)/100000);
//I = Ve / (R1 + R2) * 1000;
//Serial.print("VR2: ");
//Serial.println(VR2);
Serial.print("R2: ");
Serial.println(R2);
Serial.print(average);
//Serial.print("I: ");
//Serial.print(I); Serial.println(" mA");
delay(500);}
{
//PROMEDIO
// subtract the last reading:
total = total - readings[readIndex];
```





```
// read from the sensor:
readings[readIndex] = R2;
// add the reading to the total:
total = total + readings[readIndex];
// advance to the next position in the array:
readIndex = readIndex + 1;

// if we're at the end of the array...
if (readIndex >= numReadings) {
// ...wrap around to the beginning:
readIndex = 0;
}

// calculate the average:
average = total / numReadings;
// send it to the computer as ASCII digits
Serial.println(average);
delay(50); // delay in between reads for stability
}
}

//WIFI WIFI WIFI
void connectWifi()
{
Serial.print("Connecting to "+MY_SSID);
WiFi.begin(MY_SSID, MY_PWD);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
delay(100);
Serial.print(".");
}
}
```





```
Serial.println("");
```

```
Serial.println("Connected");
```

```
Serial.println("");
```

```
}//end connect
```

```
// ENVIO INTERNET ENVIO INTERNET ENVIO INTERNET
```

```
void sendTemperatureTS(float temp)
```

```
{
```

```
WiFiClient client;
```

```
if (client.connect(server, 80)) { // use ip 184.106.153.149 or api.thingspeak.com
```

```
Serial.println("WiFi Client connected ");
```

```
String postStr = apiKey;
```

```
postStr += "&field2=";
```

```
postStr += String(average);
```

```
postStr += "&field1=";
```

```
postStr += String(temp);
```

```
postStr += "\r\n\r\n";
```

```
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
```

```
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
```

```
client.print("Connection: close\n");
```

```
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
```

```
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
```

```
client.print("Content-Length: ");
```

```
client.print(postStr.length());
```

```
client.print("\n\n");
```





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

```
client.print(postStr);
```

```
delay(100);
```

```
}//end if
```

```
sent++;
```

```
client.stop();
```

```
}//end send
```



## Circuito

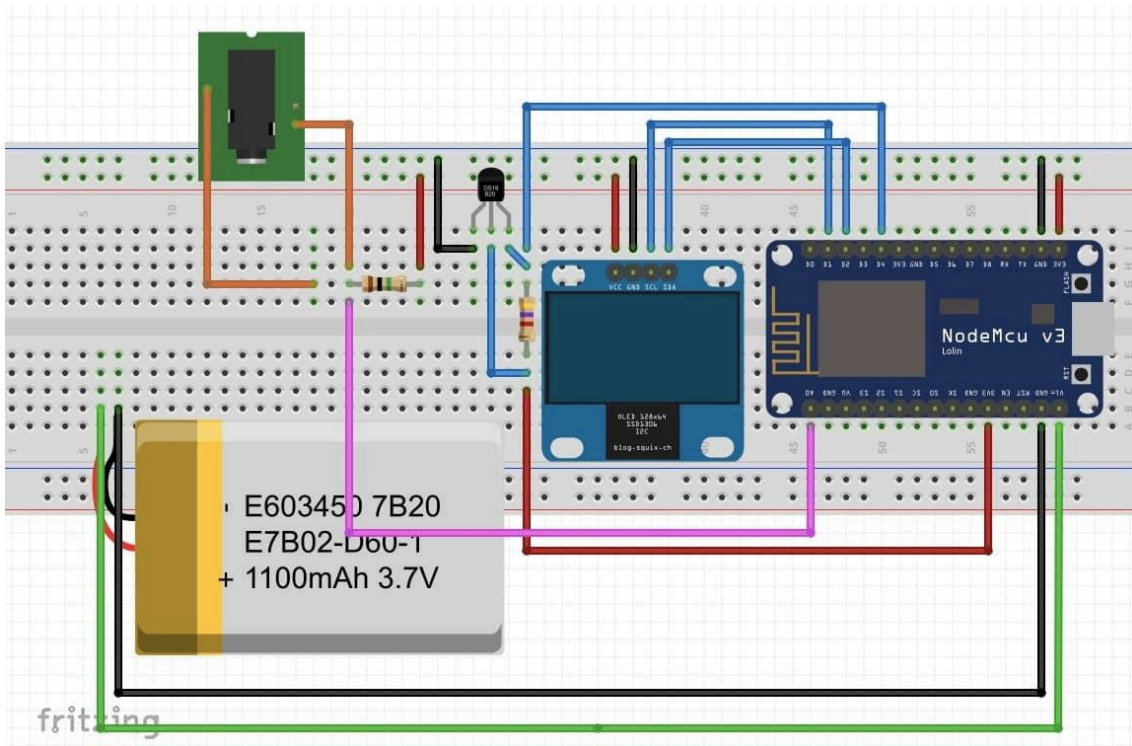


Figura 30. Circuito final para el prototipo funcional.







**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®





## Aplicación de artículo en la revista JART

Como parte de la maestría se buscó la publicación y difusión de los conocimientos y tecnología desarrollada, por lo que se mandó el artículo "Detection of swine estrus by intravaginal electrical resistance and temperatura using a low'cost system with Wireless communication" a la revista electrónica Journal of Applied Research and Technology (JART).

**De:** [Dr. Gabriel Ascanio](#)  
**Enviado:** viernes, 8 de enero de 2021 11:52 a. m.  
**Para:** [Manuel Ismael Mata Escobedo](#)  
**Asunto:** [JART] Submission Acknowledgement

Manuel Ismael Mata:

Thank you for submitting the manuscript, "Detection of swine estrus by intravaginal electrical resistance and temperature using a low-cost system with wireless communication" to Journal of Applied Research and Technology. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <http://www.jart.icat.unam.mx/index.php/jart/authorDashboard/submission/1381>  
Username: mime

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Dr. Gabriel Ascanio

---

The following message is being sent from the Journal of Applied Research and Technology.

Figura 31. Aplicación a la revista JART.





## Manual de operación del dispositivo

### Programación del equipo

Para poder comenzar a utilizar el equipo es necesario configurarle la red wifi para que los datos puedan transferirse, para esto es necesario utilizar un cable de datos micro USB y conectarlo directamente a la tabla de desarrollo, la ranura está ubicada en la parte lateral del dispositivo. Después de acceder al código de programación y se modifican la red y la contraseña de la red. Se vuelve a compilar y cargar el archivo a la placa. Asegúrese de que sean los datos correctos y que la pila del dispositivo esté cargada.

### Encendido

Para el encendido únicamente se debe de cambiar la posición del switch del lado izquierdo al lado derecho, después de unos segundos la pantalla se iluminará y comenzará a hacer mediciones del ambiente, por lo que los valores pueden empezar a cambiar un poco. Cuide que las puntas no estén en contacto con metales o fluidos al momento de encender el dispositivo.

### Carga

El dispositivo cuenta con una batería interna recargable, por lo que sólo debe conectarse el cargador en la ranura que se encuentra por la parte frontal, cerca del usuario. Al momento de conectarse a la luz, el indicador de la batería se enciende en color verde por la parte lateral izquierda del dispositivo. Cargar después de cada uso.





### **Reinicio de lecturas entre un animal y otro**

El dispositivo cuenta con un botón “reset” ubicado en la parte delantera, cerca del usuario. Para que se graben las lecturas entre una y otra medición es necesario oprimir este botón pasado al menos 1 minuto, cuando las lecturas que haga el dispositivo ya sean más estables y arrojen valores más cercanos entre ellos. Solo se debe presionar fuertemente una vez el botón rojo del *reset* y en la pantalla podrá verse que los valores regresan a cero.

### **Limpieza**

Es necesario utilizar agua oxigenada o alcohol al 90% para limpiar la probeta antes y después de cada uso en cada cerdo para reducir al máximo la propagación de bacterias, virus y hongos entre las cerdas.

### **Conexión en dispositivos móviles**

Descargue la aplicación móvil ThingView Free, introduzca el canal 993736 y los valores comenzarán a reflejarse en su dispositivo móvil. Para activar alertas de sonido o vibración sólo es necesario indicarlo en la misma aplicación.

### **Uso en animales**





Antes de iniciar las mediciones es recomendable que la punta del dispositivo se encuentre completamente limpia y seca para evitar contagios en los animales y para tener mediciones más precisas.

1. Sujetarse el dispositivo con las correas sobre la parte superior del antebrazo izquierdo.
2. Sostener con la mano derecha la punta del dispositivo y situarse en la parte trasera del animal en un ángulo propicio para poder insertar la punta flexible.
3. Introducir la punta del dispositivo por la vulva de la cerda. Es necesario hacerlo de forma tranquila, separando los labios vaginales preferentemente con la mano izquierda para que las puntas entren suave. El animal cuenta con moco vaginal que ayuda como lubricante, por lo que puede resultar sencillo una vez conocida la anatomía del aparato reproductor. Introducir la punta únicamente hasta el punto señalado en la probeta, es decir, 8 centímetros, de la vulva hacia adentro, para tener mejores mediciones.
4. Encender el dispositivo. La pantalla se iluminará con valores nulos y comenzará a hacer la medición. El sensor encargado de la REI promedia los valores medidos para tener mejor exactitud, por lo que es necesario dejar dentro del animal el aparato por lo menos 1 minuto hasta que los valores se estabilicen y muestren sólo una pequeña variación entre ellos.
5. Tome nota del valor de temperatura y de REI, este último suele repetirse dos veces cuando se ha llegado al punto. Antes de retirar la probeta de la hembra presione el botón reset para que los valores se envíen a la plataforma y al dispositivo móvil.
6. Limpie la punta entre una medición y otra.





7. Para apagarlo sólo cambie de posición el switch de encendido a apagado y guarde su dispositivo. Se recomienda limpiar externamente el dispositivo lo más frecuente posible.

### **Precauciones**

- No deje caer el dispositivo al suelo o sobre superficies mojadas, manténgalo en un área sin exceso de humedad. Límpielo frecuentemente. No lo presione o deje peso sobre la pantalla.
- Úsese con cuidado, sin intenciones de lastimar al animal.
- Jamás introducir más de 8 cm la probeta. Úsese paralelo al animal, no introducir en ángulo.
- Abrir los labios vulvares para evitar que se moleste a la hembra.

### **Notas**

No se requiere tener estudios especializados para utilización de este dispositivo, pero se solicita tener cuidado con el manejo animal.

