



**Estudio preliminar sobre la aplicabilidad de un dispositivo intraruminal para predecir eventos reproductivos en bovinos *Bos taurus* x *Bos indicus* en el trópico húmedo**

**Jessica Anahí Castañeda Marquez**

Proyecto de Graduación  
para obtener el título de  
Ingeniera Agrónoma  
con el grado académico de  
Licenciatura en Ciencias Agrícolas

Guácimo, Limón, Costa Rica

2025

La Universidad EARTH certifica que el Proyecto de Graduación titulado

Estudio preliminar sobre la aplicabilidad de un dispositivo intraruminal para predecir eventos reproductivos en bovinos *Bos taurus* x *Bos indicus* en el trópico húmedo

Presentado por

Jessica Anahí Castañeda Marquez

Reúne las condiciones para obtener el título de Ingeniera Agrónoma  
con el grado académico de Licenciatura

**Asesor**

Leslie Antonio González Grajales, Ph.D.

**Asesor**

Oswaldo Navarrete Carreño, M.Sc.

Diciembre 2025

## **Dedicatoria**

A Dios, por darme la sabiduría, fuerza y fortaleza para alcanzar mis metas y así lograr concluir con éxito cada uno de mis proyectos.

A mis padres y hermanas, por apoyarme en cada decisión y ser siempre un apoyo incondicional en el camino que he tomado.

A los amigos que conocí en mi trayecto por la Universidad, los cuales han aportado su grano de arena a mi formación, por ser mi compañía durante cuatro años y convertirse en mi familia.

A mi perro Dante, por esperar en casa cada agosto y diciembre para poder verme y recibirme con el cariño que solo un compañero fiel puede dar.

Finalmente, a cada persona; amigos, profesores, familia que estuvieron presentes durante toda la carrera y que hicieron que el tiempo fuera y lejos de casa no fuese tan difícil ayudándome a concluir con éxito mi carrera como profesional

## **Agradecimiento**

A Dios por ser mi roca firme, mi fortaleza, mi padre, mi amigo y mi lugar seguro, quien ayudó a cumplir la meta que hoy disfruto.

A mi papá Héctor, por ser mi sustento, mi ejemplo a seguir, por hacer el esfuerzo de apoyarme durante esta etapa tan importante, por no dejarme sola a pesar de las dificultades y buscar siempre la forma de decirme que sí a cada decisión tomada, por no desmayar y por guiarme a confiar en Dios y en mí para poder cumplir mis metas.

A mi mamá Norma, mis hermanas Grethel y Mónica, mis sobrinos Violeth, Emmet y Josué quienes fueron mi apoyo durante todo este tiempo, me acompañaron en cada proceso, confiaron en mí desde el día uno y nunca me dejaron sola.

A la familia que me dio la Universidad: Dayanara, Isabella, Juan Diego, Angélica, Estuardo, Ana Lucía, Flor. Ustedes formaron parte importante de mi formación por estar en buenos y malos momentos, por sumar conocimientos, valores y momentos que no se olvidaran.

A Vivian y Vinicio, por ser como unos padres para mí dentro de la universidad y acompañarme durante mi estancia aquí.

Al profesor Leslie quién desarrollo junto conmigo este proyecto y me acompañó durante los últimos dos años de la carrera como docente y amigo. Su vocación profesional y calidad humana han sido una inspiración constante a lo largo de este proceso.



## Resumen

En el trópico húmedo la ganadería enfrenta desafíos significativos derivados de las altas temperaturas y la humedad provocando estrés térmico en los animales, deteriorando los parámetros reproductivos y reduciendo la duración e intensidad del estro. Ante este panorama, el uso y la implementación de tecnologías de precisión, como los bolos intraruminales presentan una estrategia prometedora en el monitoreo en tiempo real de la temperatura, actividad del animal, detección del celo y predicción del parto. Sin embargo, la información y estudios sobre su aplicabilidad en el trópico húmedo en ganado *Bos taurus* x *Bos indicus* es limitada.

El estudio preliminar tuvo como objetivo examinar la aplicabilidad de las tecnologías de monitoreo como lo son los bolos, para la detección de celo y predicción de parto en el ganado en condiciones del trópico. La investigación fue de tipo observacional y longitudinal, llevada a cabo en la universidad EARTH, Costa Rica. Se monitorearon 10 vacas de la raza Girolando (*Bos taurus* x *bos indicus*). La validación del dispositivo se realizó mediante observación, vaginoscopía y ultrasonografía a los animales una vez detectadas las alertas, además se evaluó la influencia del índice de temperatura y humedad (ITH) en la emisión de las alertas.

Los resultados demostraron una alta variabilidad en el intervalo entre estros en algunos animales, ciclos regulares, ciclos largos (sugiriendo una posible absorción embrionaria) y cortos. La detección de alertas por el dispositivo pareció estar ligada a las variaciones de temperatura mientras que la baja tasa de detección de alertas de parto coincidió con un ITH superior a 75, pudiendo esto influenciar de manera negativa la efectividad de los dispositivos por la presencia de estrés térmico en los animales. Por otro lado, los celos con alerta se relacionaron con picos de temperatura intraruminal que radicaban en un cambio de 0.5 °C en la temperatura ruminal durante del celo y de 1 °C en la temperatura ambiental. En conclusión, la eficiencia del dispositivo para la detección de eventos reproductivos parece ser que se ve potencialmente comprometida por las condiciones ambientales del trópico húmedo y la variabilidad reproductiva intrínseca del ganado. Se requiere analizar investigaciones adicionales con tamaños de muestra más grandes para confirmar estos resultados.

**Palabras clave:** Bovinos, *Bos taurus*, *Bos indicus*, Bolo intraruminal, Estrés térmico, Celos, Parto, ITH.

## **Abstract**

In the tropical regions, livestock farming faces significant challenges due to high environmental temperatures as well humidity leading to heat stress in animals, deteriorating reproductive parameters and reducing the duration and intensity of estrus. Given this scenario, the use and implementation of precision technologies, such as intraruminal boluses represents a promising strategy for real-time monitoring of temperature, animal activity, estrus detection and calving prediction. However, information and studies on their applicability in the humid tropics whit *Bos taurus* x *Bos indicus* cattle are limited.

The preliminary study aimed to examine the applicability of monitoring technologies such as boluses for detecting estrus and predicting calving in cattle under tropical conditions. This observational and longitudinal study was conducted at EARTH University in Costa Rica. Then Girolando cows were evaluated during of period of sixth months. The alerts were validated through visual observation, vaginoscopy, and ultrasonography of the reproductive tract. In addition, the effects of the temperature and humidity index (THI) on the emission of calving alerts were described.

The results revealed considerable variability in the interval between estrous cycles among some animals, long cycles (suggesting possible embryo absorption) and short cycles. The detection of alerts by the device appeared to be linked to temperature variations. The low detection rate of calving alerts coincided with an ITH greater than 75, and this condition could negatively affect the effectiveness of the ruminal device due to the occurrence of heat stress in the cows. On the other hand, alert estrus was associated with intraruminal temperature peaks that were based on a change of 0.5 °C in ruminal temperature during estrus and 1 °C in ambient temperature. In conclusion, the efficiency of the device for detecting reproductive events was probably compromised by the environmental conditions and the intrinsic reproductive variability of cattle. Further research with larger sample sizes is required to confirm these findings.

**Keywords:** Cattle, *Bos taurus*, *Bos indicus*, intraruminal bolus, heat stress, heat, calving, THI.

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>v</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Objetivos</b> .....	<b>3</b>
2.1    Objetivos Específicos .....	3
<b>3 Metodología</b> .....	<b>4</b>
3.1    Lugar del estudio .....	4
3.2    Diseño del estudio .....	4
3.3    Descripción de actividades.....	4
3.3.1    Selección de los animales.....	4
3.3.2    Colocación de los bolos intraruminales .....	5
3.3.3    Manejo general del ganado.....	6
3.3.4    Monitoreo mediante la aplicación Moonsyst.....	6
3.3.5    Vaginoscopía .....	7
3.3.6    Ultrasonografía .....	7
3.3.7    Protocolo de sincronización e inseminación artificial .....	7
3.3.8    Toma de los datos meteorológicos .....	8
3.3.9    Toma de datos generales de la investigación .....	8
3.3.10    Relación con el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) .....	8
3.3.11    Análisis estadístico .....	9
<b>4 Resultados</b> .....	<b>10</b>
4.1    Ciclicidad del ganado verificado mediante alertas.....	10
4.2    Evaluación relación temperatura ambiental vs temperatura ruminal e ITH .....	15
4.2.1    Parto.....	15
4.2.2    Celo.....	17
<b>5 Discusión</b> .....	<b>19</b>
<b>6 Conclusión</b> .....	<b>23</b>
<b>7 Literatura Citada</b> .....	<b>24</b>
<b>8 Anexos</b> .....	<b>27</b>
Anexo 1. Valores de Índice de temperatura y humedad. ....	27



## 1 Introducción

La ganadería en Costa Rica representa una de las actividades más relevantes dentro del sector agropecuario, con un gran impacto en el desarrollo económico y social de las zonas rurales. A lo largo de la cadena de valor de carne y leche se generan empleos y bienestar económico, desde el productor primario hasta la industria de procesamiento y la comercialización de productos de valor agregado (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). Este sector se ha consolidado como una de las actividades importantes formando parte del Producto Interno Bruto (PIB) del país con una participación aproximada del 4 %, según los datos de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (Carmona, 2024). Según datos recientes, el hato nacional asciende a 1 510 563 animales, de los cuales el 59.7 % corresponde a ganado de carne, el 18.8 % a ganado de leche y el 21.4 % a doble propósito (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2024).

No obstante, las condiciones climáticas del trópico plantean importantes desafíos para la producción bovina. Siendo el caso de los trópicos húmedos, que son áreas bioclimáticas dentro de la zona tropical y su característica principal son temperaturas persistentemente altas y una elevada humedad del aire (Oke et al., 2021). La combinación de altas temperaturas y humedad provocan estrés térmico, lo que impacta directamente en el bienestar animal, la eficiencia y parámetros reproductivos. De acuerdo con Armstrong (1994), el estrés térmico ocurre cuando las condiciones ambientales superan la zona de confort del animal, lo que genera alteraciones fisiológicas y de comportamiento.

Como menciona De-Rensis et al. (2015), el estrés térmico provoca alteración de los procesos fisiológicos que incluye además de la reducción de leche, efectos duraderos como el deterioro de la fertilidad. De igual manera reduce la duración y la intensidad del estro, altera el desarrollo folicular y aumenta la tasa de apoptosis (muerte celular) en los folículos antrales y preantrales (Krishnan et al., 2017). Estos efectos se presentan tanto en hembras como en machos, afectando la gametogénesis, la ovulación, la implantación y en general, la capacidad reproductiva del hato (Castaño et al., 2014).

Por ello existe en el ambiente ganadero una creciente preocupación sobre el grado en el que, los actuales cambios climáticos puedan afectar el futuro de las producciones a través de cambios en la fisiología, comportamiento, producción y bienestar (Oke et al., 2021). Es indispensable la prevención de los efectos del estrés por calor que debe de ser considerados durante toda la etapa reproductiva del animal (Briggs & Rood, 2021).

Frente a este panorama, resulta indispensable implementar estrategias de manejo que permitan mitigar el impacto del estrés térmico y mejorar la productividad en condiciones tropicales. Esto puede minimizarse utilizando estrategias que faciliten en términos de manejo y mano de obra suplementaria (Temple et al., 2015). Una de las herramientas más prometedoras es el uso de tecnologías de precisión aplicadas a la ganadería, que faciliten la captura, almacenamiento y análisis de información confiable para la toma de decisiones (Blasco, 2014). En este sentido, la identificación electrónica y el monitoreo mediante bolos intraruminales representan un avance significativo. Estos dispositivos, diseñados para poder ubicarse en el aparato digestivo del animal,

permiten recolectar datos en tiempo real relacionados con la temperatura ruminal, la actividad, el consumo de agua y otros indicadores fisiológicos relevantes (Moonsyst, 2025). Con esta información es posible detectar el celo, predecir el momento del parto, monitorear la salud y dar seguimiento al bienestar animal (Lizziero, 2018).

Pese a su potencial, la aplicación de bolos intraruminales en el trópico húmedo aún ha sido poco documentada, especialmente en ganado cruzado *Bos taurus* x *Bos indicus*, el cual constituye una parte importante de los sistemas productivos de Costa Rica. Este punto es de gran interés ya que la fisiología reproductiva difiere considerablemente en ambas razas. Por ejemplo, el ganado *Bos indicus* presenta un celo de menor duración que el *Bos taurus*, lo que dificulta su detección visual, sin embargo, las razas cebuinas muestran niveles más altos en hormonas asociadas con un mayor potencial reproductivo a comparación de las razas europeas (Stojsin et al., 2016). Estas diferencias resaltan la importancia de validar herramientas tecnológicas que permitan superar las limitaciones asociadas a las condiciones ambientales y al comportamiento reproductivo de los animales.

Este estudio busca mediante análisis observacional analizar los datos que los dispositivos intraruminales brindan para el control reproductivo de los animales, esta información ayuda a detectar de manera oportuna el celo y/o identificar de manera temprana las alteraciones en el sistema del animal, permitiéndole a los ganaderos tomar decisiones tempranas. Es importante tener información precisa que busque garantizar que la implementación de programas de manejo acompañado del uso de tecnologías permitan la rastreabilidad individual de los animales, conociendo su estado actual e histórico (Cascante & Fallas, 2021). La aplicación de estas tecnologías no solo contribuye a mejorar los índices reproductivos y reducir pérdidas económicas, sino que también promueve una ganadería más sostenible, basada en el uso de herramientas de precisión para el manejo del hato en condiciones desafiantes como el trópico húmedo.

## **2 Objetivos**

Examinar la aplicabilidad de tecnologías de monitoreo intraruminales para la detección de celo y predicción del parto en ganado *Bos taurus* x *Bos indicus* en condiciones del trópico húmedo.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Confirmar la ciclicidad del ganado bovino mediante el análisis de las alertas generadas por la aplicación de monitoreo de temperatura intraruminal.
- Analizar la relación entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y su efecto en la detección de celos y partos en vacas mediante el sistema de monitoreo intraruminal.
- Determinar la eficiencia del dispositivo intraruminal en la identificación de celos y partos del ganado bovino bajo condiciones de trópico húmedo.

### **3 Metodología**

#### **3.1 Lugar del estudio**

La investigación se llevó a cabo en la Unidad Académica de Producción Animal -UAPA-, ubicada dentro del campus de la Universidad EARTH, Las Mercedes, Guácimo, provincia de Limón, Costa Rica 10.219774, -83.591633 (Google Maps, s.f.). El clima de la universidad cuenta con una temperatura promedio anual de 25 °C y una humedad relativa de 84.22 % (EARTH, 2024).

#### **3.2 Diseño del estudio**

El diseño del presente estudio fue de tipo observacional y longitudinal, basado en la monitorización continua de vacas *Bos indicus* x *Bos taurus* mediante el uso de bolos intraruminales equipados con sensores. Estos dispositivos permitieron la medición de la temperatura intraruminal, detección de celo, consumo de agua y predicción del momento de parto. Se seleccionó un grupo de vacas secas, en estado avanzado de preñez. Los datos recopilados por los bolos fueron comparados con mediciones como observación del comportamiento, vaginoscopía, ultrasonografía transrectal y registros reproductivos, con el fin de validar su precisión en la detección de celo, ovulación y predicción del parto, además de realizar prácticas de sincronización e inseminación para poder controlar el momento del celo en ciertos animales.

#### **3.3 Descripción de actividades**

##### **3.3.1 Selección de los animales**

Para el estudio, se utilizaron un total de 10 vacas en estado reproductivo (preñez y periparto) las cuales fueron monitoreadas mediante el bolo con el objetivo de predecir un parto entre las primeras 24 horas y controlar el celo dentro del periodo en el que este se presentó. Los animales fueron seleccionados bajo las mismas condiciones para poder comparar la información de manera homogénea. Esto permitió la comparación uniforme de los datos obtenidos, generando así referencias válidas para los fines de la investigación tal y como se muestra en el Cuadro 1.

En el Cuadro 1 se indican los animales seleccionados para el estudio y el estado en el que se encontraban al inicio y final del proyecto.

**Cuadro 1.** Vacas Girolando seleccionadas para el proyecto (ID bolo: número de identificación de cada bolo utilizado por animal y el estado reproductivo inicial ER(I) y Estado reproductivo final ER(F).

N° animal	N° Bolo	ER (I)	ER (II)
187-9	10330	P	V
28-8	10332	P	V
38-8	10331	P	V
11789	9562	P	V
12048	10333	P	V
12107	10334	P	P <sup>†</sup>
12114	10338	P	V
12116	10335	P	V
35-2	10336	P	P <sup>†</sup>
9-51	10337	P	P <sup>†</sup>

P: preñada del ciclo anterior, P<sup>†</sup>: preñada luego de un nuevo ciclo estral, V: vacía.

Para el estudio se utilizaron 10 animales de la raza Girolando, un cruce entre ganado *Bos taurus* x *Bos indicus*. Todos los animales utilizados se encontraban en periodo de secado al iniciar el proyecto (antes de entrar a etapa parto). Durante el tiempo del estudio los animales pasaron la etapa pre-parto, parto y post parto hasta llegar nuevamente a presentar celo y realizar la inseminación correspondiente.

La selección del número de animales se basó en varios criterios, entre ellos: el estado reproductivo (preñez avanzada), la disponibilidad de información sobre la gestación, manejo del hato (criterios productivos y nutricionales), dietas y la pertenencia a una raza definida. Así se eligieron animales que se encontraron bajo el mismo sistema de manejo.

### 3.3.2 Colocación de los bolos intraruminales

La colocación de los bolos intraruminales se llevó a cabo durante las primeras horas de la mañana con el uso de una pistola de aplicación especializada, la labor se realizó bajo los cuidados respectivos tanto para el animal como para las personas que realizaron la administración del bolo. El procedimiento consistió en colocar el bolo en la pistola de aplicación, insertándolo suavemente en la cavidad oral del animal, ejerciendo una leve presión y una vez alcanzada la faringe se liberó el bolo al encontrarse en el punto más alejado. Posteriormente los animales fueron monitoreados durante 24 horas controlando posibles casos de regurgitación del dispositivo. Para garantizar la

correcta colocación del aparato se proporcionó agua y alimento al ganado durante el periodo de observación posterior a la aplicación.

### **3.3.3 Manejo general del ganado**

El estudio se realizó en la finca pecuaria que opera bajo un sistema de producción de leche y cría. Dentro del manejo del ganado lechero se llevaban a cabo dos ordeños correspondientes a las 7:00 a.m. y 4:00 p.m. Los potreros disponibles se manejaban bajo un sistema de rotación, con duraciones de uso específicos dependiendo del tipo de pasto establecido. La nutrición del ganado se basó en una dieta a base de pastos y una ración de concentrado contribuyentes al mantenimiento nutricional de 8 kg al día divididos en los dos ordeños, acompañado de una porción aproximada de 2 kg de silo de maíz por animal durante la mañana. El suministro de agua para todos los animales dentro de la finca fue *ad libitum*, esto tanto en los potreros como en las salas de espera de pre-ordeño y post-ordeño. Los animales preparto se manejaban en potreros distintos a los de las vacas del ordeño para mejor control y dos semanas antes de la fecha prevista de parto se llevaban a potreros más cercanos al casco central de la finca pecuaria para su monitoreo. Los animales postparto ingresaban al grupo de vacas de leche para poder continuar con la producción siempre respetando el tiempo de retiro de la leche por calostro.

### **3.3.4 Monitoreo mediante la aplicación Moonsyst**

Mediante alertas y notificaciones recibidas en los dispositivos electrónicos en los cuales se encontraba la aplicación, se obtuvieron y registraron las alarmas de cada evento reproductivo como el parto y/o el celo. Dichas alarmas se monitorearon y se reconfirmaron haciendo una visita a la finca pecuaria y observando a los animales. El dispositivo utilizado guardó la información para cada animal y con ello se pudieron obtener datos certeros de lo que se quería evaluar. Todas las alarmas fueron confirmadas para poder evaluar la eficacia de estas.

#### **3.3.4.1 Monitoreo alrededor del parto**

La aplicación mediante una alerta informó el momento previo en el cual la vaca entraría en proceso de parto. Para confirmar esta alarma se realizó el informe al encargado de finca en ese momento para la verificación del estado del animal. Luego de corroborar el estado del animal se procedió a realizar el protocolo de partos. La información relacionada al parto fue recopilada por la finca y de igual forma se actualizó en el sistema para seguir con el monitoreo de la etapa reproductiva. Esta alerta fue validada o no mediante la observación de los animales.

#### **3.3.4.2 Monitoreo de Celos**

De manera similar a la detección del parto, el sistema proporcionó información identificando el momento preciso en el que el animal entraba en celo. Estos datos fueron utilizados para optimizar la programación de la inseminación artificial, asegurando que el procedimiento se realizara en el momento óptimo para maximizar la tasa de preñez, ya que el dispositivo genera información del porcentaje de éxito al momento de la inseminación. Cuando el sistema generó la alarma, la información fue notificada y verificada por la finca pecuaria para realizar la práctica informando al encargado para realizar el procedimiento. La validación de esta variable se realizó mediante la observación, determinación de cambios físicos en el tracto reproductivo de la hembra

(vaginoscopia), y ultrasonografía para correlacionar la alerta de celo con el tamaño folicular y presencia de aumento o disminución en la ecogenicidad del útero. Así mismo, la vaginoscopia ayudó a visualizar el fluido vaginal, apertura del cérvix y coloración de la mucosa vaginal para efectivamente determinar la eficacia del dispositivo intraruminal.

La fecha de la inseminación fue cargada al sistema para seguir recopilando los datos de la investigación.

### **3.3.5 Vaginoscopia**

Con el fin de evaluar la alerta de celo y confirmarla se realizaron vaginoscopias para observar el tracto reproductivo de la vaca. La vaginoscopia permite la evaluación endoscópica intravaginal que ayuda en el diagnóstico de trastornos del tracto genital bovino de las hembras (Jaques et al., 2023). Este es un procedimiento que sirvió para determinar patologías en vagina, cérvix y vulva. Además, se puede observar en la pared vaginal características como: color, olor. En el cérvix se puede evaluar posición, anomalías, adherencias y cuerpos extraños (Radostits et al., 2002). El procedimiento es sencillo y permite la inspección de la parte caudal de la vagina, aunque puede llegar a generar molestias en algunos animales por un periodo breve (Jaques et al., 2023).

Este procedimiento se realizó en los animales al momento de presentar alarma de celo para poder determinar estado del tracto vaginal, coloración y apertura del cérvix, presencia de mucosidad. Con estos datos se determinó si la vaca se encontraba o no en celo.

### **3.3.6 Ultrasonografía**

El uso de la ultrasonografía transrectal se ha implementado en bovinos para poder explicar los mecanismos que ocurren durante la reactivación ovárica posparto, el ciclo estral, estimular el número de folículos en el caso de transferencia de embriones y tratamientos de superovulación e identificar quistes foliculares o luteales (Gutiérrez & Báez, 2013).

La ultrasonografía se realizó en el momento en el que el dispositivo emitió una alerta de celo, esto fue validado por medio de una revisión visual de un folículo dominante en la imagen y un mes y quince días después de la inseminación se volvió a realizar la ultrasonografía para confirmar el diagnóstico de la preñez. Se utilizó un ecógrafo portátil (Easi-Scan-Go, IMV Technologies, Francia) conectado a un teléfono celular por medio de Wifi.

### **3.3.7 Protocolo de sincronización e inseminación artificial**

Con el fin de mejorar los niveles en la eficiencia reproductiva del hato, dentro de la finca se han implementado protocolos de sincronización e inseminación que buscan cumplir y ayudar a que los animales puedan satisfacer el objetivo de producir al menos una cría al año. El protocolo que se realizó se detalla a continuación:

Día 0: este día se colocó un dispositivo intravaginal impregnado de progesterona + 2 mg de Benzoato de estradiol.

Día 8: a este tiempo se retiró el dispositivo y se colocó 1 mg de cipionato de estradiol; 400 UI de eCG (gonadotropina coriónica equina, Sergon®, Bioveta) 500 µg mg de cloprostenol.

Día 10: se procedió a realizar la inseminación convencional a  $\pm$  50 horas después del retiro del implante o con semen sexado a  $\pm$  60 horas.

### **3.3.7.1 Técnica de inseminación artificial**

Se seleccionó el semen con las características deseadas para la inseminación. Luego, se descongelaron las pajillas que contenían el semen elegido en un contenedor con agua tibia a 37 °C (manteniendo la temperatura constante). Las pajillas fueron depositadas durante 30 segundos dentro del agua y posteriormente se procedió a sacar la pajuela, secarla y colocarla dentro de la pistola de inseminación cortando la parte superior de la pajilla y ajustándola adecuadamente al dispositivo. Posteriormente se preparó la vaca en uno de los cepos dentro del corral circular de la finca pecuaria. Finalmente, se limpió el área perineal, se introdujo una mano en el recto para poder manipular y guiar la pistola de inseminación a través de la vulva y el cérvix y finalmente se depositó el semen en el útero con una descarga controlada.

### **3.3.8 Toma de datos meteorológicos**

Para poder relacionar los cambios de temperatura reflejados por el bolo intraruminal y el estado del animal, se utilizaron datos de la estación meteorológica de la universidad de temperatura y humedad, relacionándolos con los días en los que los sensores generaron la alerta. Los datos utilizados fueron de temperatura 24 horas antes del evento, la temperatura durante el evento y después de 24 horas, esto con el fin de observar los cambios que pudieron haberse generado durante el tiempo de duración del evento reproductivo. Estos parámetros fueron comparados con la temperatura ruminal del animal obtenida por el bolo durante los mismos momentos.

### **3.3.9 Toma de datos generales de la investigación**

Durante los 6 meses de duración del proyecto se tomaron los datos mediante la aplicación Moonsyst. Estos fueron registrados durante los momentos en el que el dispositivo generó una o varias alarmas. Para el procesamiento de toda la información la aplicación almacenó los datos para posteriormente descargarlos. La frecuencia con la que los bolos generaron información fue variable según el alcance del bolo al panel de recepción general (200 m) y dependiente de la actividad de cada uno de los animales, sin embargo, toda la información fue almacenada y luego procesada por el sistema. En caso de tener datos atípicos o fuera del rango normal se realizó la visita a la finca para el monitoreo del animal, toma de los datos y verificación del estado de salud en el que se encontraba la vaca.

Toda la información fue trasladada a una base de datos en el programa Excel que funcionó como referencia para el análisis y correlación de datos estadísticamente.

### **3.3.10 Relación con el Índice de Temperatura y Humedad (ITH)**

El índice de temperatura y humedad (ITH) es utilizado para evaluar el estado de estrés térmico de los animales. Esta es una alternativa que ayuda a determinar si se presentan condiciones adversas asociadas al estrés calórico de las vacas (López et.al., 2016). Según los datos del índice (Anexo 1) dentro de este se consideraron “normales” valores entre 65 a 74, se consideraron como “alerta” valores entre 75 a 78, valores entre 79 a 83 se consideraron como “peligro” y valores  $\geq$  83 se consideraron “emergencia”.

Este índice ayudó a verificar el comportamiento de los animales y poder visualizar si existió o no afectación en la detección de alarmas referentes a los índices presentados por animal.

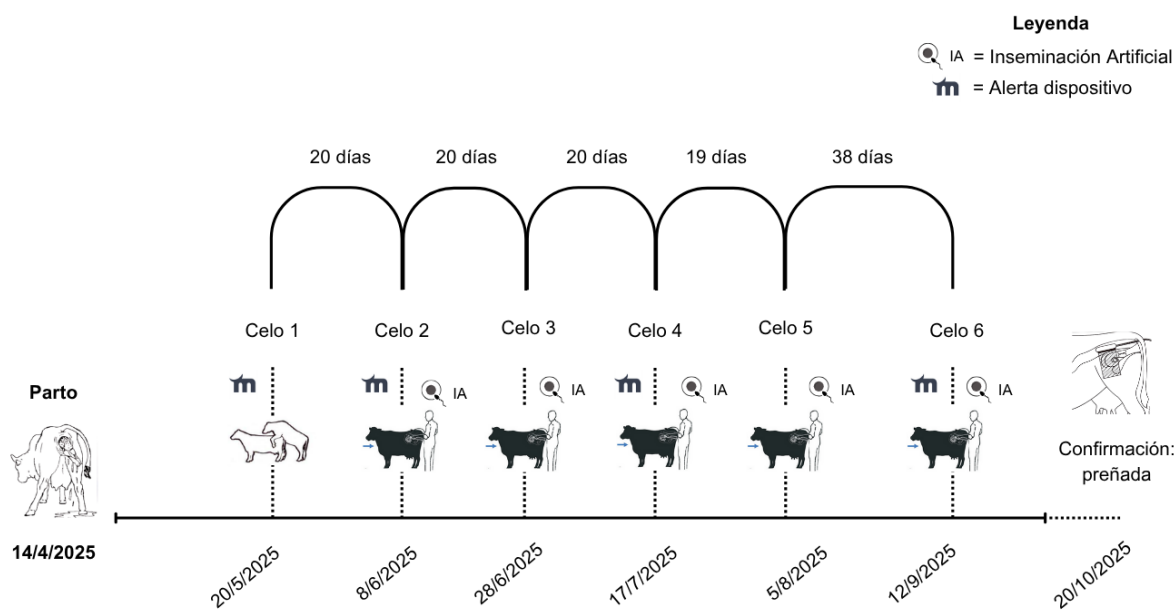
### **3.3.11 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos durante el proyecto, se realizaron evaluaciones de correlación de Pearson y varianza (ANOVA) de medidas repetidas para comparar las temperaturas 24 h antes, durante y 24 horas después de cada evento reproductivo monitoreado. El uso de la correlación de Pearson permitió establecer una relación entre la temperatura intraruminal y temperatura ambiental. Este coeficiente de correlación es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente (Camacho, 2007).

## 4 Resultados

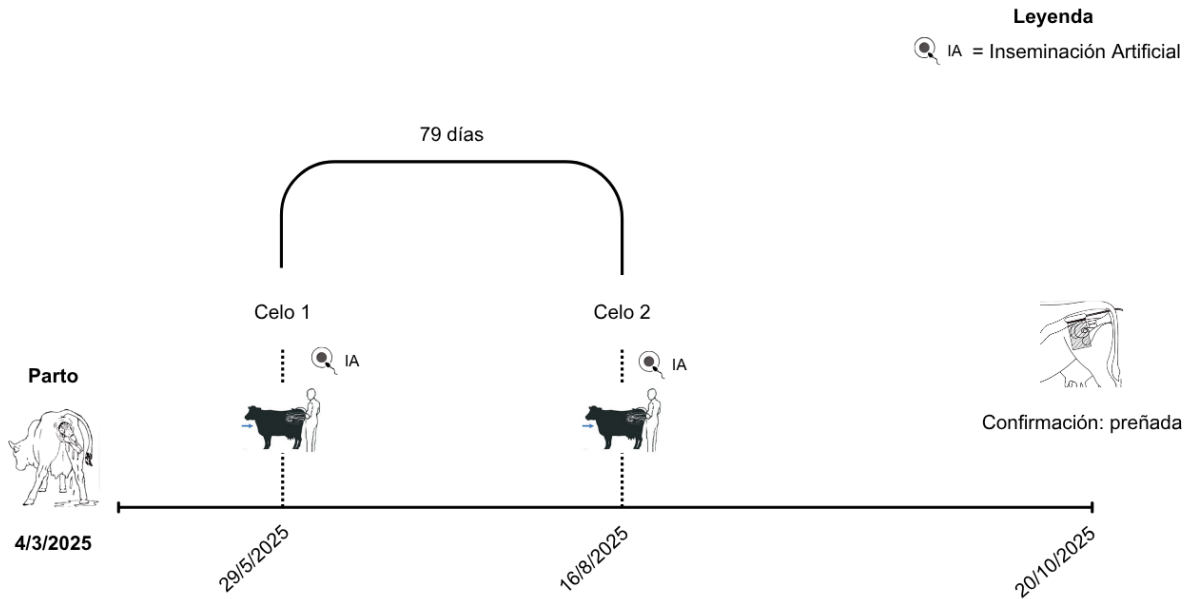
### 4.1 Ciclicidad del ganado verificado mediante alertas

En la Figura 1 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 9-51 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Durante este periodo, se identificaron cinco celos con una duración promedio entre ciclos de 20 días, mientras que el intervalo entre el quinto y sexto celo fue de 38 días. Asimismo, se observa el número de alertas emitidas por el dispositivo durante la detección de cada celo, registrándose cuatro alertas de un total de seis celos detectados. La figura también detalla los celos en los que se realizó la inseminación artificial, así como las fechas de ocurrencia de los eventos y la fecha programada para la revisión de preñez de la vaca.



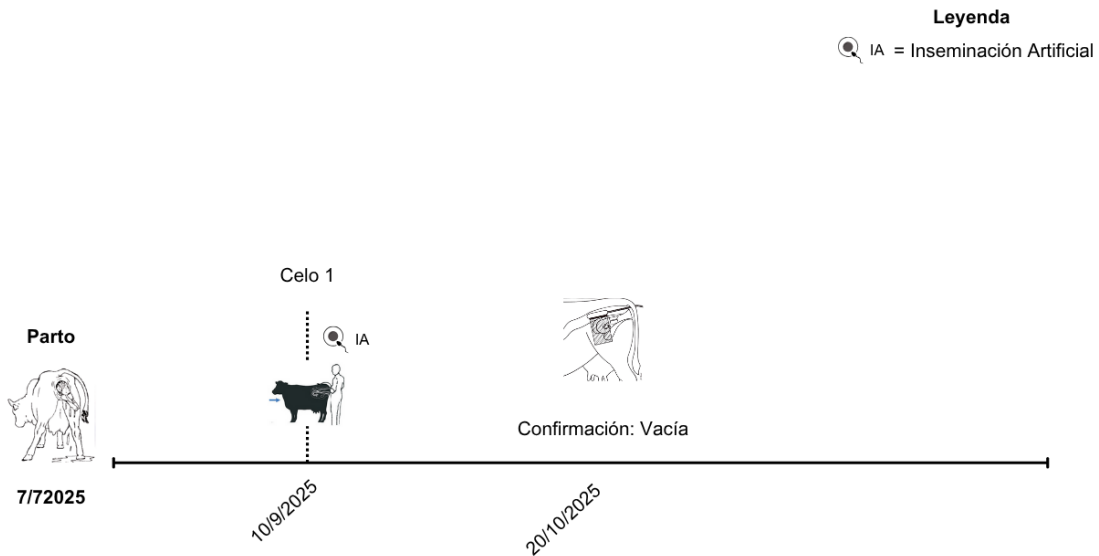
**Figura 1.** Ciclo reproductivo de la vaca 9-51 durante la duración del estudio.

En la Figura 2 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 35-2 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. En la figura se identifican dos celos, con un intervalo de 79 días entre ambos. No se registraron alertas de detección de celo emitidas por el dispositivo intraruminal. Asimismo, se muestra la fecha prevista para la revisión de preñez posterior a la última inseminación. En ambos celos se detalla que se realizó el procedimiento de inseminación artificial al momento de cada evento.



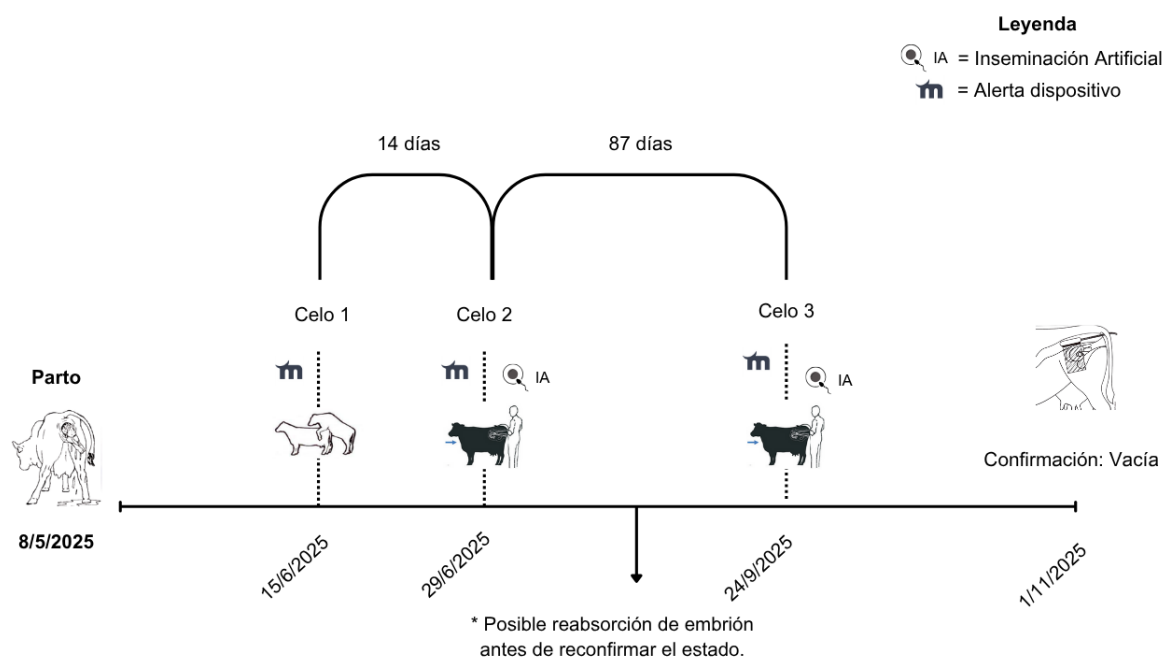
**Figura 2.** Ciclo reproductivo de la vaca 35-2 durante la duración del estudio.

En la Figura 3 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 28-8 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Se identificaron un solo celo, sin registro de alerta emitido por el dispositivo intraruminal. Asimismo, se observa que en el celo presentado se realizó el procedimiento de inseminación artificial. Al cierre del experimento, la vaca se evaluó para confirmar preñez y como resultado de la evaluación esta se encontró vacía.



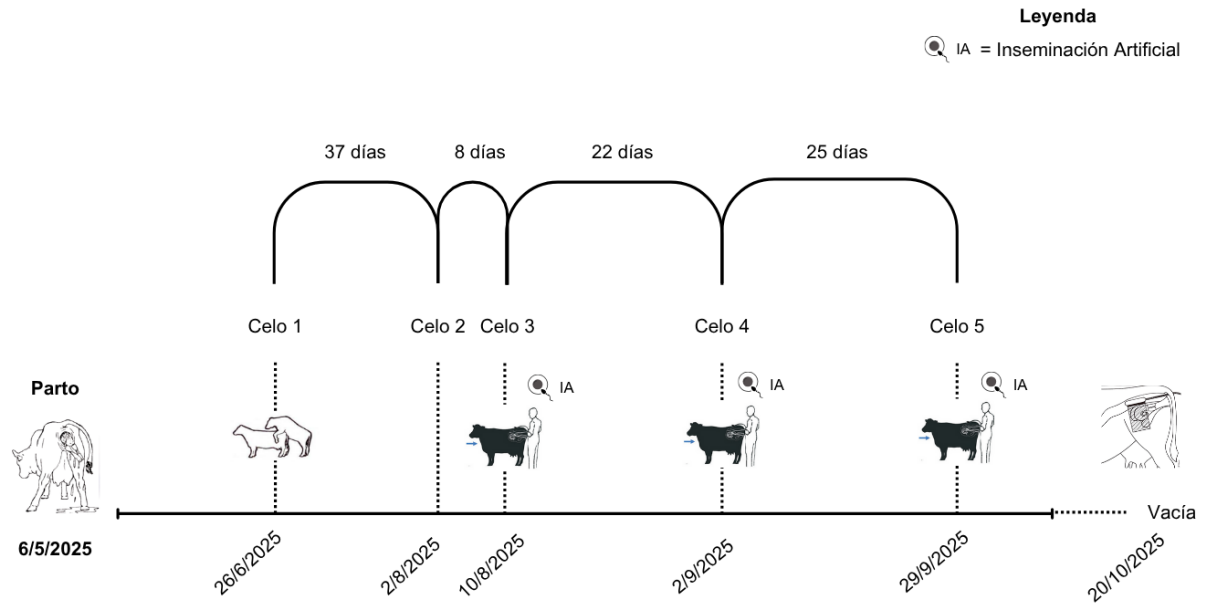
**Figura 3.** Ciclo reproductivo de la vaca 28-8 durante la duración del estudio.

En la Figura 4 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 38-8 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Se identificaron tres celos, con un intervalo de 14 días entre el primero y el segundo, y de 87 días entre el segundo y el tercero, periodo durante el cual se menciona la posible reabsorción embrionaria. Asimismo, se detallan las inseminaciones realizadas durante la presentación de los celos y las alertas emitidas por el dispositivo a lo largo del ciclo reproductivo del animal. Finalmente, se indica la fecha prevista para la confirmación de preñez posterior a la última inseminación.



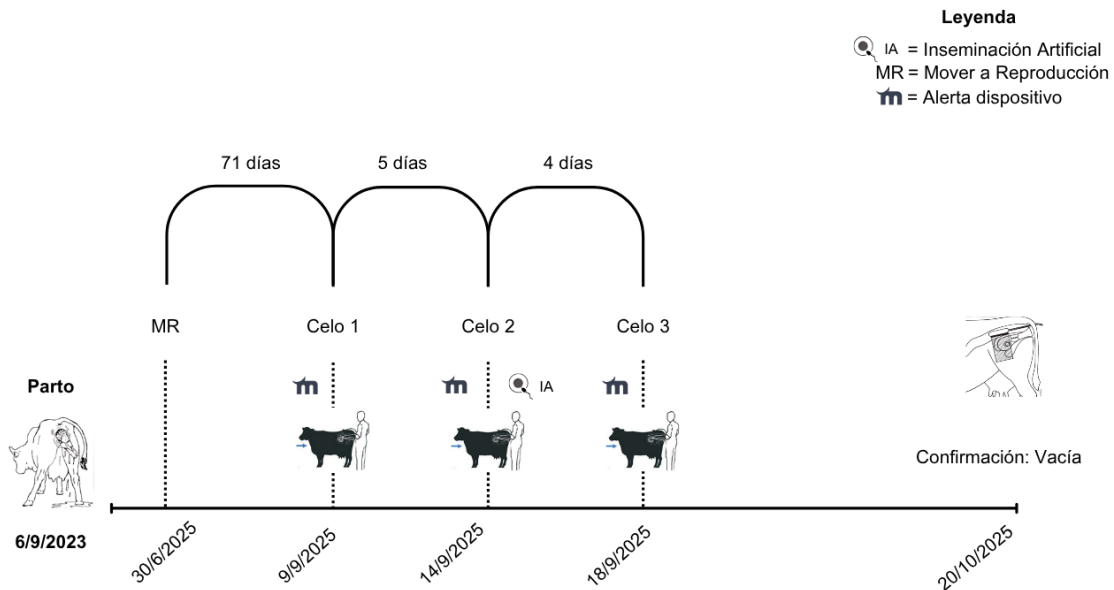
**Figura 4.** Ciclo reproductivo de la vaca 38-8 durante la duración del estudio.

En la Figura 5 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 187-9 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Durante el periodo de estudio se identificaron cinco celos, con intervalos de 37 días entre el primero y el segundo, 8 días entre el segundo y el tercero, 22 días entre el tercero y el cuarto, y 25 días entre el cuarto y el quinto. Se registraron tres inseminaciones artificiales, correspondientes a los últimos tres celos, sin alertas emitidas por el dispositivo intraruminal en ninguno de ellos. Finalmente, se indica la fecha programada para la revisión del animal con el fin de confirmar la preñez posterior a la última inseminación



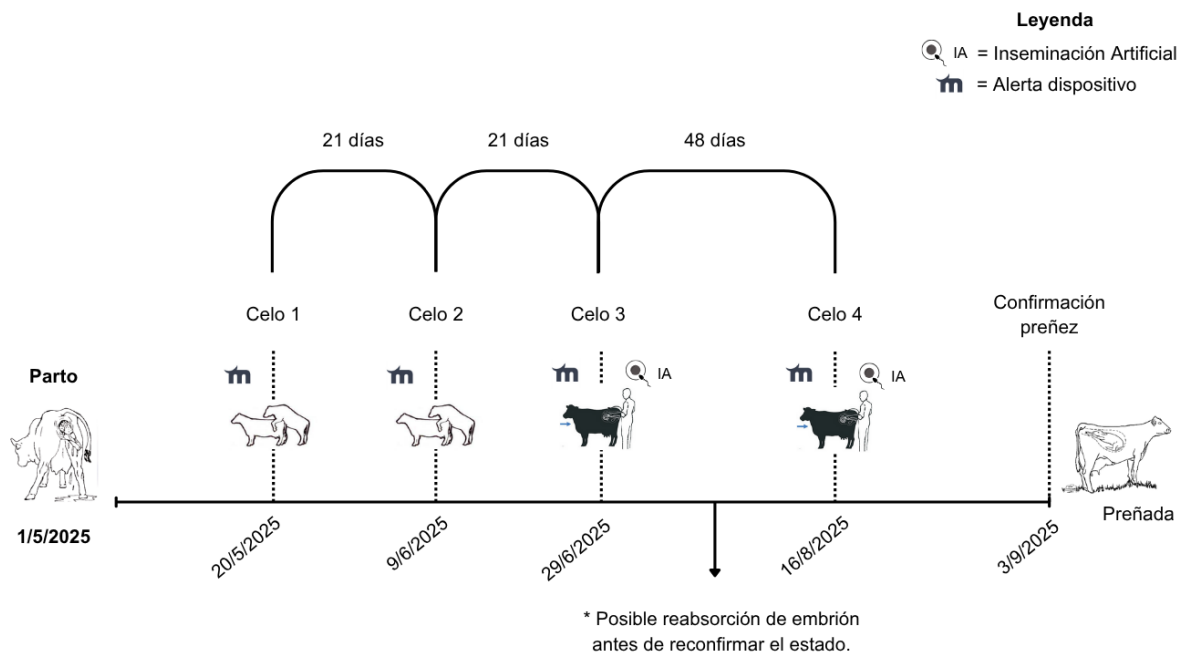
**Figura 5.** Ciclo reproductivo de la vaca 187-9 durante la duración del estudio.

En la Figura 6 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 12048 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Inicialmente, se observa la sigla MR, la cual indica que el animal fue asignado al grupo de reproducción dentro de la aplicación del dispositivo, con el propósito de recibir alertas de celo. Posteriormente, se registraron tres celos: el primero el 9 de septiembre, el segundo cinco días después, y el tercero cuatro días posteriores al segundo. Asimismo, se reportan las alertas generadas por el dispositivo durante estos eventos, y se señala la fecha programada para la confirmación de preñez tras el último celo observado.



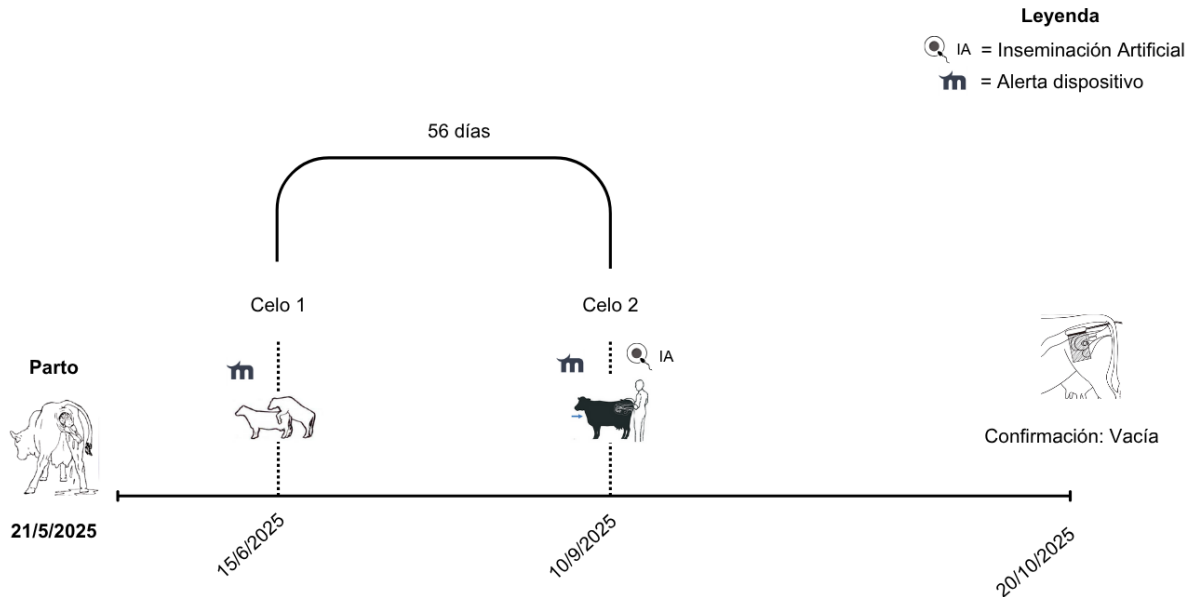
**Figura 6.** Ciclo reproductivo de la vaca 12048 durante la duración del estudio.

En la Figura 7 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 12107 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Se registraron cuatro celos, con intervalos de 21 días entre el primero y el tercero, y una diferencia de 48 días entre el tercero y el cuarto celo, atribuida a la posible reabsorción embrionaria. Finalmente, se indica la fecha en la que se confirmó la preñez del animal. Asimismo, se detallan las alertas emitidas por el dispositivo durante la ocurrencia de estos eventos.



**Figura 7.** Ciclo reproductivo de la vaca 12107 durante la duración del estudio.

En la Figura 8 se presenta la cronología de la ciclicidad reproductiva de la vaca 12116 después del parto, utilizando datos de observación de celo, alertas del dispositivo intraruminal y acciones de manejo como inseminaciones. Durante el periodo de estudio se detectaron dos celos, con un intervalo de 56 días entre ellos. En el primer celo no se realizó el procedimiento de inseminación artificial, mientras que en el segundo celo sí se llevó a cabo. Asimismo, se detallan las alertas emitidas por el dispositivo durante la ocurrencia de estos eventos.

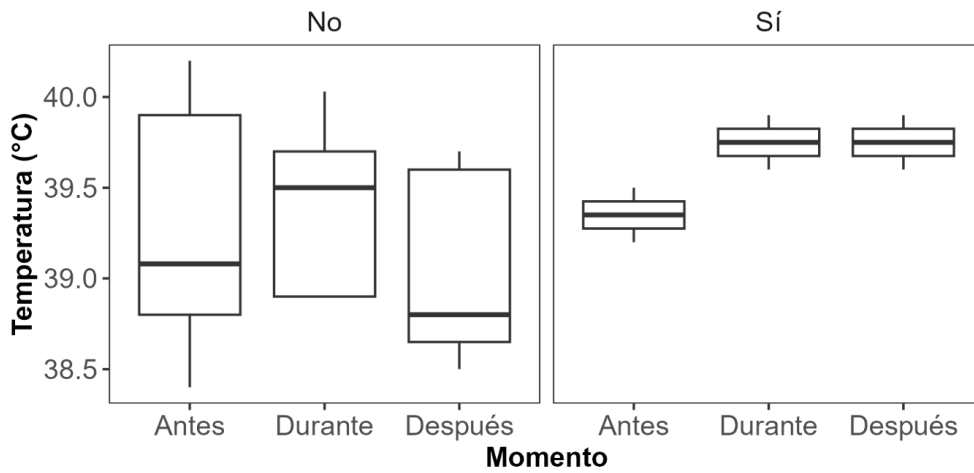


**Figura 8.** Ciclo reproductivo de la vaca 12116 durante la duración del estudio.

## 4.2 Evaluación de la relación temperatura ambiental vs temperatura ruminal e ITH

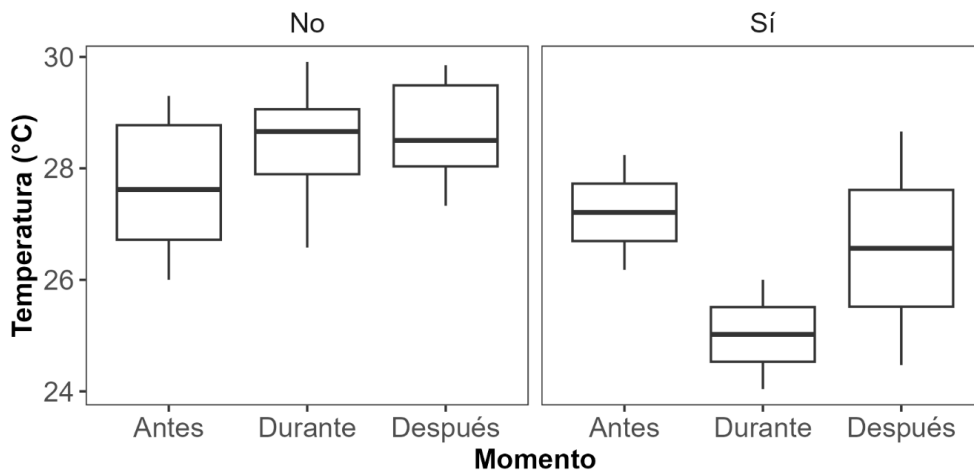
### 4.2.1 Parto

En la Figura 9 se presenta un gráfico de caja que muestra la variación de la temperatura intraruminal (°C) detectada por el bolo al momento del parto comparándose 24 horas antes, durante y 24 horas después. Se separaron por la presencia (Sí) o la ausencia (No) de las alertas obtenidas por los dispositivos. Se observó que en el grupo que presentó alertas (Sí, n= 2) la temperatura intraruminal se mantuvo consistente entre 39.3 a 39.7 °C con una muy pequeña variación en los tres momentos. En comparación, el grupo que no evidenció la alerta (No, n= 7) presentó temperaturas más bajas con un rango medio de 38.8 a 39.5 °C. Se muestra también que el grupo que no presentó las alertas muestra un descenso en la media de temperatura después del parto llegando a los 38 °C aproximadamente, mientras el grupo que sí mostró alerta mantuvo niveles de temperatura alrededor de los 39 °C.



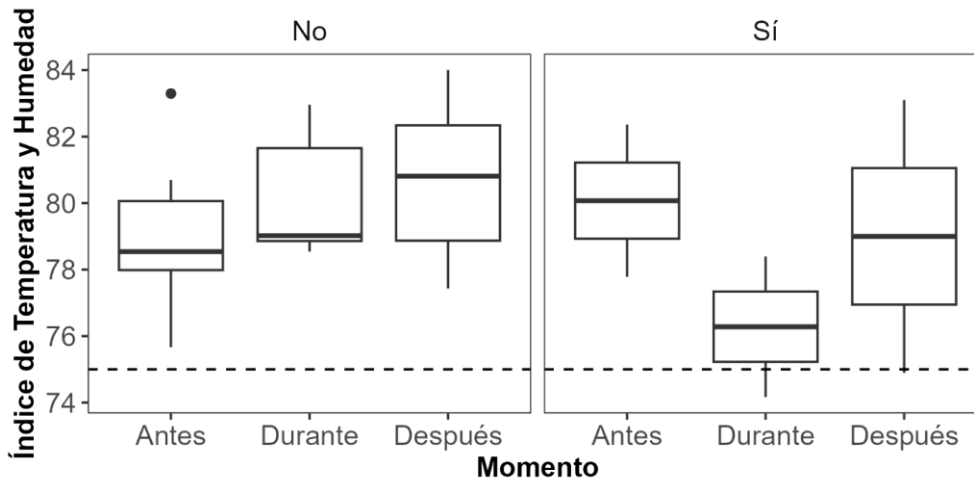
**Figura 9.** Temperatura intraruminal detectada por el bolo en tres diferentes momentos: 24 horas antes, durante y 24 horas después del parto.

En la Figura 10 se presenta el gráfico de distribución de la temperatura ambiental (°C) durante el periparto comparándose en tres diferentes momentos 24 horas antes del parto, durante el parto y 24 horas después de que este ocurriera. Se separaron por condición tanto los animales que detectaron el celo por alerta (Sí) y los que no detectaron alerta al momento (No). En el grupo de animales en los que no se detectó la alerta, los días contaron con temperaturas consistentes oscilando entre 27.8 y 28.5 °C a lo largo de los tres momentos e indica una poca variabilidad térmica. En el grupo donde sí detectó la alerta, se nota que hubo una disminución significativa en la temperatura ambiental oscilando desde una temperatura de 27.2 a un mínimo de 25 °C durante el parto.



**Figura 10.** Temperatura ambiental en tres diferentes momentos: 24 horas antes, durante y 24 horas después del parto.

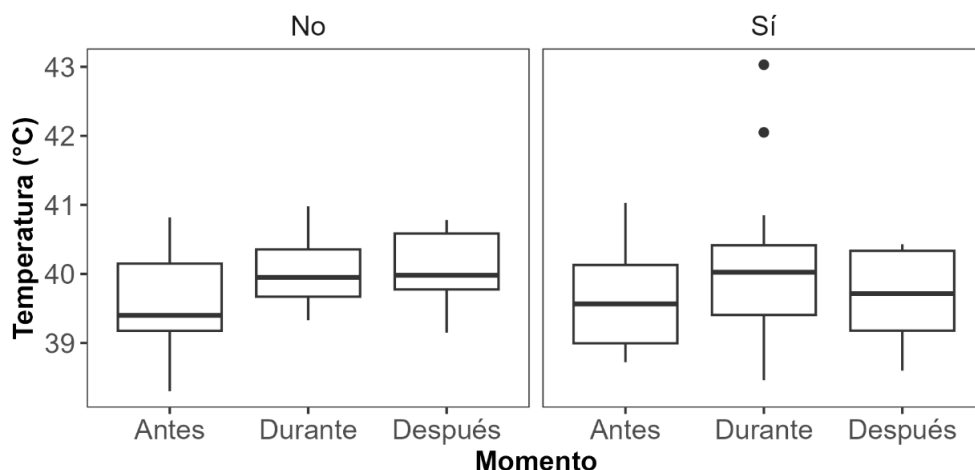
En la Figura 11 se muestran los valores del índice de temperatura y humedad (ITH) al cual las vacas estuvieron expuestas durante el parto. Según muestra la Figura el ganado estuvo expuesto a condiciones de estrés térmico moderado a severo al observar las medias por encima del valor ITH 75 durante los tres diferentes momentos. El grupo en el cual la alerta de parto no fue detectada (“No”), presentó condiciones ambientales que dieron como resultado un ITH mediano entre 78.5 a 81. Por el contrario, en el grupo en donde la alerta sí fue detectada (“Sí”), se mostró una variación de temperaturas que dio como resultado valores de ITH hasta 76.2 durante el parto, siendo este el valor más bajo registrado para este evento.



**Figura 11.** Índice de temperatura y humedad (ITH) de los animales en tres diferentes momentos: 24 horas antes, durante y 24 horas después del parto.

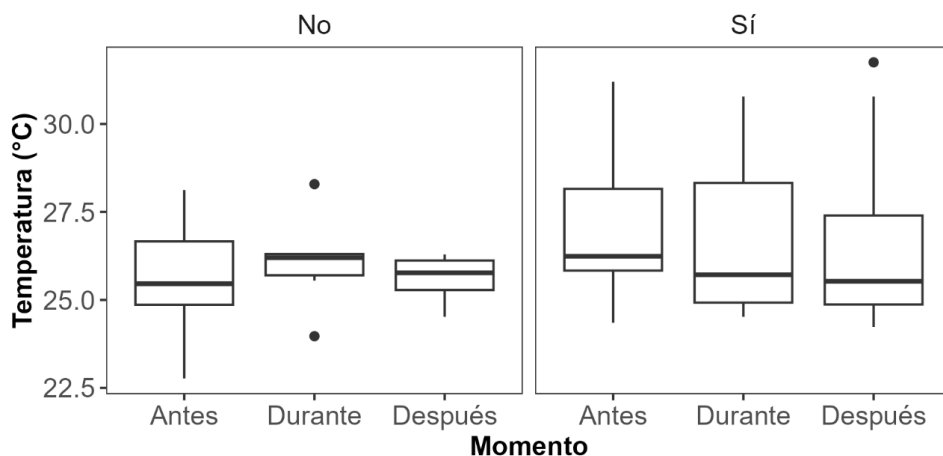
#### 4.2.2 Celos

En la Figura 12 se muestran los valores de temperatura reportados por el bolo intraruminal (°C) al momento en que los animales presentaron celos. Dichos valores están distribuidos en tres momentos, 24 horas antes de presentar celos, durante el celo y 24 horas posteriores. Estas mediciones se dividieron en dos grupos: los celos que presentaron alertas “Sí” (n= 16) y los celos que no fueron detectados mediante alertas “No” (n= 7). Si bien, en ambos grupos se experimenta un aumento en la media de la temperatura durante el evento alcanzando temperaturas de hasta 40 °C, en el grupo que no detectó alertas hubo un aumento moderado durante el celo (40.04 °C) en comparación con el día anterior y mantuvo la temperatura elevada después de que este ocurriera (40.06 °C). En comparación con los celos en donde sí fueron detectados por el dispositivo, se presentaron valores de 39.65 °C antes del evento con un aumento gradual durante el evento de 40.13 °C, y una pequeña disminución después del evento alcanzando un promedio de 39.69 °C. Se presentaron valores atípicos (outliers) con picos de temperatura entre 42 a 43 °C durante el celo con alarmas detectadas.



**Figura 12.** Gráfico de cajas sobre la temperatura detectada por el bolo intraruminal en los animales del estudio en tres momentos; 24 horas antes del celo, durante el celo y 24 horas posteriores. Los celos de los animales fueron separados en dos grupos: detectados con alerta “Sí” y los celos no detectados con alerta “No”.

En la Figura 13 se muestran los valores de temperatura ambiental (°C) durante los celos presentados por los animales comparados en tres diferentes tiempos, 24 horas antes del celo, durante el celo y 24 horas después. La identificación del estro se agrupó en dos categorías según la detección del bolo: “Sí” (con alerta) y “No” (sin alerta). En el grupo de celos que no fueron detectados por la alerta se observó una temperatura antes del evento de 25.6 °C un aumento en la temperatura en los momentos durante (26.06 °C) y una disminución después del celo (25.6 °C). En los celos en los que sí se detectaron alertas, los valores de temperatura se caracterizaron por una mayor variabilidad en comparación con las vacas en donde no se emitió una alerta (esto se observa por la amplitud de las cajas del gráfico) a lo largo de los tres momentos (antes = 27.03, durante = 26.6, después = 26.5 °C)



**Figura 13.** Gráfico de cajas sobre la temperatura ambiental presentada durante la presencia de celos, durante tres momentos 24 horas antes del celo, durante el celo, y 24 horas posteriores. Los celos de los animales fueron separados en dos grupos; celos con alerta detectada “Sí” y celos sin alerta detectada “No”.

## 5 Discusión

El presente estudio preliminar analizó los hallazgos obtenidos a partir de la implementación de un dispositivo intraruminal para el monitoreo y la detección de eventos reproductivos específicamente parto y celo, en ganado lechero del cruce *Bos taurus* x *Bos indicus*. La relevancia de estos resultados se centra en la validación del funcionamiento del bolo, lo cual permite desarrollar y proponer soluciones tecnológicas que optimicen la eficiencia reproductiva y mejoren la rentabilidad de una finca lechera.

Los resultados obtenidos sobre la ciclicidad del ganado reflejan la cantidad de celos presentados por animal y la duración en días que hubo entre cada uno de ellos. La duración entre los celos y la detección tuvo una variación significativa entre animales. El promedio en la duración del ciclo estral de las vacas es comúnmente de 21 días, con una desviación estándar de 2.3 días, es decir con celos que duran 17 a 25 días (Bavera, 2005). Las variaciones presentaron ciclos normales con duración entre ellos de 20 a 25 días tal y como se muestra en la Figura 1, con un ciclo estral normal y repetibilidad de celo cada 20 días.

Se registraron intervalos anormalmente largos mayores a 24 días, con casos extremos de 79 días (Figura 2), 87 días (Figura 4) y 56 días (Figura 8). Por el contrario, se observaron intervalos entre celos anormalmente cortos con periodos de 14,8,5 y 4 días (Figuras 4,5,6), atípicos para un ciclo completo normal. Estos ciclos cortos se detectaron por alertas y/o confirmación a partir de vaginoscopia y ultrasonografía además de la observación de signos de celo en finca, por lo que la manifestación del estro sin que ocurriera una ovulación pudo haber influido en la detección de falsas alarmas. Según menciona Hernández (2016), las vacas no gestantes deberían mostrar estro cada 21 a 24 días, y para confirmar la preñez se palpan entre 40 a 45 días después de la inseminación. Conforme a esta información, se puede argumentar que la repetición irregular de celos en los animales puede deberse a la detección tardía del momento del estro generando que los animales repitieran celo luego de 21 días tal es el caso de la vaca 9-51 (Figura 1).

Por otro lado, cuando existe un intervalo entre celos más largo luego de un ciclo estral regular podría explicarse por una reabsorción embrionaria. Como menciona Bavera (2000), la mortalidad embrionaria es responsable en un 50 % del retorno del celo; y se sospecha en toda hembra que retorna al celo postservicio después de un plazo superior a la duración normal del ciclo estral. En el caso de la vaca 38-8 (Figura 4) y la vaca 12107 (Figura 7) se puede evidenciar el cumplimiento de este argumento ya que en ambos casos luego de una inseminación en el periodo de espera para la confirmación de la preñez, se volvió a presentar celo después de los 21 días; por lo que puede deberse a la posible reabsorción embrionaria durante este periodo.

En el presente estudio la duración del ciclo estral fue altamente variable entre animales, presentando ciclos normales, ciclos largos por posibles problemas de salud reproductiva (reabsorción embrionaria) y ciclos cortos que pueden ser asumidos a la observación de signos sin presencia de celo o alertas definidas como falso negativas por parte del bolo.

Durante el parto se evaluó la relación entre la temperatura intraruminal detectada por el bolo, la temperatura ambiental y el índice de temperatura y humedad (ITH), diferenciando alertas en el dispositivo (“Sí”) y aquellos que no lo hicieron (“No”).

En el grupo de animales que sí presentaron alerta al momento del parto en cuanto a la temperatura ruminal, se mantuvo en un rango de 39 °C antes del evento; sin embargo, durante y después de este la temperatura aumentó considerablemente. En comparación al grupo de animales que no presentó alerta, se registraron temperaturas antes del parto de alrededor de 39 °C en donde se mostró una muy pequeña variación durante y después manteniendo valores por encima de los 39 °C. Debido al carácter preliminar del estudio y al limitado número de animales participantes, no es posible establecer argumentos concluyentes que expliquen la ausencia de diferencias en los promedios de temperatura intraruminal antes y después del parto en ambos grupos. Sin embargo, una probable explicación podría radicar en la influencia que ejercen las elevadas temperaturas ambientales en la temperatura interna del animal (Hafez, 2000).

Para ilustrar el concepto anterior, se comparó la información emitida por el bolo con la temperatura ambiental en esos mismos tres momentos durante al rededor parto. En la Figura 10, se evidenció la variación de temperaturas que se observaron durante el periodo de parto. En el grupo de animales que no presentó alerta, la temperatura del ambiente se mantuvo consistente entre 27 a 28 °C indicando poca variabilidad térmica durante los tres momentos. En contraste, en el grupo que sí presentó alerta, la temperatura fue variable durante los tres momentos. Por ejemplo, antes del parto la temperatura ambiental se encontraba en un rango de 27 °C mientras que, durante el parto, esta temperatura tuvo un valor promedio de 25 °C, subiendo nuevamente después de presentarse el parto. Este hallazgo podría sugerir que el patrón de detección de las alertas por parte del dispositivo intraruminal se asociaría a la exposición a condiciones de temperaturas moderadas al momento del parto. Por ejemplo, la mayoría de los estudios que han reportado una disminución en la temperatura corporal 24 horas antes del parto en bovinos, han sido conducidos bajo condiciones de clima continental (Aoki et al., 2005), mientras que estudios llevados a cabo con animales en condiciones tropicales son muy limitados. La utilización de la temperatura corporal para la predicción del parto en bovinos es muy limitada, pero ayuda a generar valores predictores de momentos reproductivos en ganado. Burfeind et al. (2011) en su estudio sobre la validez de los cambios preparto de temperatura vaginal y rectal para predecir el parto en vacas lecheras detalló que hubo una disminución de temperatura vaginal y rectal más bajas el día del parto en comparación con las registradas 24 y 48 horas antes. Esto demuestra que la variabilidad en la temperatura es un factor determinante en la predicción de eventos y en la detección de alertas por parte del bolo.

En el caso de las alertas del celo, se realizó la misma comparación entre la temperatura reportada por el bolo y la temperatura ambiental, evidenciando variaciones en ambas temperaturas. En la Figura 12 se evidenció la poca variación de temperatura detectada por el bolo durante los celos presentados en el grupo de animales en donde sí se presentaron alertas mientras que, en el grupo de animales con celos no reportados por el dispositivo hubo una variación de temperaturas

entre los 39.5 a 40 °C en los tres momentos. En el grupo que sí presentó alertas se mostró una temperatura entre 39.5 a 40 °C antes y durante el celo, disminuyendo de manera gradual después de este. También se pudieron evidenciar valores atípicos con temperaturas que llegaron hasta los 42 °C a 43 °C en el grupo que sí presentó alertas durante el celo. Pero para ello se debe evaluar el factor ambiental. En este caso la Figura 13, indica que en el grupo de animales con celos que no tuvieron alerta se muestra un aumento de la temperatura durante y después del celo en comparación con la temperatura ambiental registrada 24 horas antes, mientras que en el caso del grupo que sí presentó alerta, la temperatura ambiental disminuyó alrededor de 1 °C durante el celo en comparación con la reportada el día previo a la manifestación de evento, por lo tanto, esta actividad sería capturada y transformada por una alarma o señal por el dispositivo. Un estudio realizado por Rodríguez (2017), sugiere que animales que son expuestos a temperaturas ambientales más frescas muestran más fácilmente sintomatología asociada al celo al concentrarse menos en disipar el calor asociado a las altas temperaturas.

Las variaciones en las temperaturas ruminales y ambientales pueden en conjunto ser la respuesta al estrés del animal y asociarse a la no detección de alertas por parte del bolo. Esto se puede relacionar con el índice de temperatura y humedad (ITH) que combina la temperatura del animal con la temperatura y humedad relativa del ambiente. En este caso se evaluó el ITH al momento del parto.

En el parto (Figura 11) en ambos grupos en los que se detectó alerta y en los que no se detectó alerta se observa que el ITH es mayor a 75, esto quiere decir que la posibilidad de predecir estrés térmico era alta. Gangora & Hernández (2010) mencionan en su estudio sobre la reproducción de las vacas y la afectación por altas temperaturas ambientales; en donde el aumento en la temperatura al parto puede retardar o suspender el proceso. Esto puede responder a que solo el 22 % de los partos de los animales incluidos en el presente estudio fueron detectados por una alarma emitida por el bolo.

En un estudio de Córdova et al. (2016) sobre las consecuencias del estrés calórico en la reproducción bovina, se reportó que el estrés térmico tiene repercusiones en la reproducción animal, tanto en su comportamiento sexual como en su fertilidad, los cuales se ven afectados por el estrés térmico ya que compromete el eje del hipotálamo afectando la pulsatilidad de las gonadotropinas. Consecuentemente está condición incide de manera negativa sobre la expresión de signos de celo por que se generan alteraciones en el crecimiento folicular y conducen a la inhibición del desarrollo embrionario. En el presente estudio, es posible que un número moderado de animales presentaron celo, pero el mismo no fue reportado con una alerta por el sistema Moonsyst. No se detectaron cambios en la vaca (sensores por actividad) puesto que el animal se encontraba bajo la influencia de estrés térmico constante, lo que pudo inhibir la detección del celo y por lo tanto no presentar alertas. Esto también podría responder a la irregularidad de los ciclos estrales presentes en varios animales del estudio como se evidencia en las Figuras 2, 4, 6 y 8 y la variación en los ciclos estral, como resultado del estrés del animal afectando posibles problemas de salud (reabsorción embrionaria). Wolfenson & Roth (2000), mencionan en su estudio sobre la alteración de la reproducción por estrés térmico que contribuye a la baja fertilidad;

además de alterar las concentraciones de progesterona, las altas temperaturas comprometen la función endometrial llegando a provocar la interrupción de la gestación. Esto podría haber sucedido en las vacas que luego de inseminadas volvieron a presentar celo por una posible reabsorción embrionaria.

El bolo intraruminal utilizado en el estudio detecta alarmas por medio de sensores de movimiento y también de la variación de temperaturas. Como menciona Vakulya et al. (2022) en un artículo sobre bolos ruminales en ganado lechero, estos dispositivos ruminales suelen medir la temperatura, y esta es una de las primeras variables que se pueden medir digitalmente. Sin embargo, no se puede asumir que los bolos no detectaron la alerta por el cambio de temperaturas ya que existen estudios previos que denotan que la actividad conductual de los animales puede afectar las mediciones. Estudios han reportado el uso de dispositivos intraruminales en bovinos junto con sensores colocados en las patas de los animales. Sin embargo, se observaron fallos en la transmisión de datos cuando los animales se encontraban echados, registrándose la pérdida de más del 60% de la información enviada a la estación receptora. Esto evidenció que la posición del animal y las condiciones del entorno pueden obstaculizar la transmisión de la señal. Además, se ha señalado que la composición del contenido ruminal y los tejidos corporales también pueden influir en la calidad y precisión de los datos obtenidos (Ipema et al., 2008).

Los resultados obtenidos mediante los análisis muestran que la variación entre las temperaturas ruminales y ambientales pudieron influenciar la detección de partos y celos. Por otro lado, la cantidad limitada de unidades de evaluación influyó en la recopilación de datos, ya que solo se utilizaron 10 animales de los cuales se obtuvieron nueve observaciones para la emisión de alertas de parto y 23 observaciones para la detección del celo. Y aunque no se reporten publicaciones utilizando este tipo de bolos en condiciones tropicales, se podrían mejorar los resultados y la comparación de estos a través de un aumento en el tamaño de la muestra, ya que se tiende a mejorar la precisión y confiabilidad del estudio (Ko & Lim, 2021). Por ello, aumentar el número de animales podría mejorar la robustez de los datos y la confiabilidad del estudio; además de conducir un pequeño estudio en condiciones tropicales, pero a más bajas temperaturas ambientales para disminuir el posible efecto de ellas sobre las variables expuestas en este estudio preliminar.

## **6 Conclusión**

El estudio demostró que la duración del intervalo entre estros en ganado *Bos taurus* x *Bos indicus* es altamente variable, registrando ciclos regulares (20 a 24 días) hasta intervalos anormalmente largos (87 días), sugiriendo la ocurrencia de reabsorción embrionaria o detección tardía, e intervalos relativamente cortos (4 a 8 días) que pudieron asociarse a manifestaciones de celo sin ovulación o falsas alarmas. En la evaluación de las variables térmicas se reveló que la detección de alertas por parte del dispositivo intraruminal (bolo) podría estar ligada a las variaciones en la temperatura ambiental. En las alertas de celo la presencia de picos de temperatura intraruminal extremos con periodos de inestabilidad térmica ambiental podría estar relacionada, mientras que los celos sin alerta estarían siendo favorecidos por condiciones ambientales más estables. Por otro lado, al parto, la baja detección en la tasa de alertas coincidió con el ITH superior a 75, indicando la posible influencia negativa del estrés térmico en la efectividad del dispositivo. Esto podría sugerir que la robustez del bolo se ve comprometida por las condiciones ambientales extremas y la variabilidad en la reproducción de los animales.

## 7 Literatura Citada

- Aoki, M., Kimura, K., Suzuki, O. (2005). Predicting time of parturition from changing vaginal temperature measured by data-logging apparatus in beef cows with twin fetuses. *Animal reproduction science*, 86(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.046>
- Armendano, J. (2015). *¿Cuándo se generan condiciones de estrés por calor en bovinos para carne?* Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/clima\\_y\\_ambientacion/99-estres\\_por\\_calor\\_bovinos\\_para\\_carne.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/99-estres_por_calor_bovinos_para_carne.pdf)
- Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Revista Journal of Dairy Science*, 77(7), 2044-2059. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- Bavera, G. (2000). *Mortalidad Embrionaria*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/cria/19-mortalidad\\_embriionaria.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/19-mortalidad_embriionaria.pdf)
- Bavera, G. (2005). *Ciclo Estrual*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/cria/03-ciclo\\_estrual.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/03-ciclo_estrual.pdf)
- Blasco, J. (2014). *Estudio de factibilidad constructiva de un bolo biométrico intra-ruminal implantable en animales bovinos*. Facultad Regional Rosario. [https://www.froo.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/Actas\\_JIT2014.pdf](https://www.froo.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/Actas_JIT2014.pdf)
- Briggs, R. & Rood, K. (2021). *Heat Stress and Reproduction in Beef Cattle*. Utah State University. [https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3250&context=extension\\_curall](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3250&context=extension_curall)
- Burnfeind, O., Suthar, VS., Voigtsberger, R., Bonk, S., Heuwieser, W. (2011). Validity of prepartum changes in vaginal and rectal temperature to predict calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(10), 5053-5061. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4484>
- Camacho, C. (2007). Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson. <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Carmona, T. (2024, 7 de noviembre). *El sector ganadero se beneficia de las innovaciones tecnológicas desarrolladas por la UCR*. Universidad de Costa Rica. <https://n9.cl/55e72>
- Cascante, S. & Fallas, M. (2021). *Plan Nacional para el Mejoramiento Genético del Ganado Bovino de Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L10-11114.pdf>
- Castaño, F., Rugeles, C., Betancur, C., Ramirez, C. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Biosalud*. 13 (2), pp. 84-94. <https://n9.cl/b06v2>
- Cordova, A., Iglesias, A., Ruiz, C., Guerra, J., Inzunza, C., Villa, E., Juárez, M., Gómez, A., Cansino, G., Olivares, J., Espinosa, R., Velázquez, V. (2016). Consecuencias del estrés calorico sobre la reproducción del ganado vacuno. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(1). 89-101. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_RCCV.2016.v10.n1.52555](http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n1.52555)
- De Rensis, F., Garcia, I., López, F. (2015). Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*. 84(5), 659-666. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.04.021>
- Gangora, A. & Hernández, A. (2010). La reproducción de las vacas se afecta por las altas temperaturas ambientales. U.D.C.A. *Actualidad & Divulgación Científica*. 13 (2), pp. 141-151. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a17.pdf>
- Google Maps. (s.f.). [Universidad EARTH]. Recuperado el 05 de febrero de 2025. <https://n9.cl/4lhj9>

- Gutiérrez, D. & Báez, G. (2013). La ultrasonografía en bovinos. *Respuestas*, 19 (1), 99-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5364505>
- Hafez, E. (2000). *Reproduction in farm animals*. Lippincott willians & Wilkins. [https://cuvas.edu.pk/cuvas\\_libraries/ebooks/Reproduction%20In%20Farm%20Animals%20HAFEEZ.pdf](https://cuvas.edu.pk/cuvas_libraries/ebooks/Reproduction%20In%20Farm%20Animals%20HAFEEZ.pdf)
- Hernández, J. (2016). *Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros*. DCV F. Abril Braulio Ortiz. [https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia\\_Clinica.pdf](https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). Encuesta nacional agropecuaria: resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina. <https://admin.inec.cr/sites/default/files/2024-10/reagropecENAPECUARIO2023-01.pdf>
- Ipema, A., Goense, D., Hogewerf, P., Houwers, H., Van Roest, H. (2008). Pilot study to monitor body temperature of dairy cows with a rumen bolus. *Computers and electronics in agricultura*, 64(1), 49-52. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.009>
- Jaques, G., Moura, B., Batista, R., Almeida, O., Oliveira, F., Maia, P. (2023, 07 de septiembre). *New mehtod of video-assisted vaginoscopy in Nellore heifers*. Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vms3.1232#pane-pcw-figures>
- Krishnan, G., Bagath, M., Pragna, P., Vidya, M., Aleena, J., Archana, R., Sejian. & Bhatta, R. (2017). Mitigation of the Heat Stress Impact in Livestock Reproduction. En R. Payan (Ed.), *Theriogenology* (pp. 64-78). InTech. <https://www.intechopen.com/chapters/55491#>
- Ko, M., & Lim, C. (2021). Consideraciones generales para la estimación del tamaño de la muestra en estudios con animales. *Revista Coreana de Anestesiología*, 74(1), 23-29. <https://ekja.org/journal/view.php?doi=10.4097/kja.20662>
- Lizziero, M. (2018). *Bolos intraruminales, la base de un sistema muy rápido*. Sitio argentino de producción animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_organica\\_y\\_trazabilidad/44-bolos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_organica_y_trazabilidad/44-bolos.pdf)
- López, G., Brizuela, A., Rondán, G., Lissaso, C., Kemerer, A., Santos, M. (2016). Determinación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) para vacas lecheras, en el departamento Nogoyá, Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1-2), 57-65. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/179549/CONICET\\_Digital\\_Nro.1885208c-8fff-429c-8f39-bfe3ed2758f4\\_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/179549/CONICET_Digital_Nro.1885208c-8fff-429c-8f39-bfe3ed2758f4_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (2023). *Estrategia de ganadería sostenible para las cadenas productivas de carne y leche*. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2844>
- Moonsyst. (2025). *System Features & Monitoring Points* [Software]. <https://moonsyst.com/bolus>
- Oke, O., Uyanga V., Iyasere O., Oke, F., Majekodunmi B., Logunleko, M., Abiona, J., Nwosu, E., Abioja, M., Daramola, J., Onagbesan, O. (2021). Environmental stress and livestock productivity in hot-humid tropics: Alleviation and future perspectives. *Journal of Thermal Biology*. 100. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030645652100245X?via%3Dihub>
- R Core Team. (2025). RStudio (2024.12.1.) [Software]. <https://www.r-project.org/>
- Radostits, O., Mayhew, J., Houston, M. (2002). *Técnicas de exploración clínica. Examen y Diagnóstico Clínico en Veterinaria*. Elsevier science. <https://books.google.com.gt/books?id=LbCb4qLs64EC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Recce, S., Huber, E., Notaro, U., Rodríguez, F., ortega, H., Rey, F., Signorini, M., Salvetti, N. (2021). Association between heat stress during intrauterine development and the calving-to-

conception and calving-to-first-service intervals in Holstein cows. *Theriogenology*. 162; 95-104.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X21000108?via%3Dihub>

Rodríguez, E. (2017). *Efecto del estrés calórico sobre el comportamiento reproductivo en ganado Holstein-friesian durante el periodo de verano* [Tesis de Medico Veterinario]. Instituto Tecnológico de Sonora. <https://n9.cl/r68my3>

Stojsin, A., Mahboubi, K., Costa, N., Gillis, D., Carter, T., Neal, M., Miranda, M., Ohashi, O., Favetta, L., King, A. (2016). Systemic and local anti-Mullerian hormone reflects differences in the reproduction potential of Zebu and European type cattle. *Animal Reproduction Science*. 167; 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.003>

Temple, D., Bargo, F., Mainau, E., Ipharraguerre, I., Manteca, X. (2015). Efectos del Estrés por Calor en la producción de las vacas de leche: una visión práctica. Animal welfare education centre. <https://awecadvisors.org/wp-content/uploads/2023/09/fs12-es.pdf>

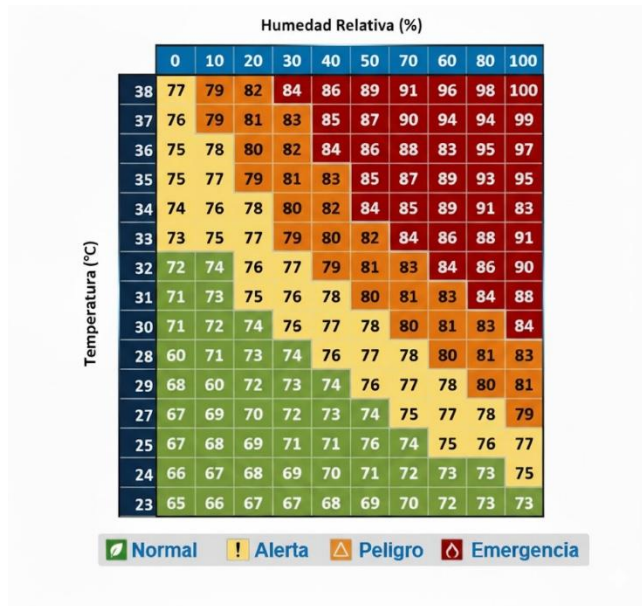
Universidad EARTH. (2025). Base de datos climáticos [documento en Excel].

Vakulya, G., Hajnal, E., Udvardy, P., Simon, G. (2024). In-Depth development of a versatile rumen bolus sensor for dirty cattle. *Sensors*, 24, 6976. <file:///C:/Users/62C01LA/Downloads/sensors-24-06976-v2.pdf>

Wolfenson, D., & Roth, Z. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Animal reproduction science*, 60-61, 535-547. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0)

## 8 Anexos

### Anexo 1. Valores de Índice de temperatura y humedad.



Nota. Adaptado de Valores de Índice de temperatura y humedad [Figura], por Armendano, J., 2015, Sitio Argentino de Producción Animal.