

**Caracterización del comportamiento de vacas  
Brahman y sus encastes próximas al parto  
utilizando dispositivos GPS**

**Erika Tatiana Zuluaga Zuluaga**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Caracterización del comportamiento de vacas Brahman y sus encastes próximas al parto utilizando dispositivos GPS**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Erika Tatiana Zuluaga Zuluaga**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

# Caracterización del comportamiento de vacas Brahman y sus encastes próximas al parto utilizando dispositivos GPS

Presentado por:

Erika Tatiana Zuluaga Zuluaga

Aprobado:



Isidro Matamoros (Nov 8, 2020 10:06 CST)

---

Isidro A. Matamoros, Ph.D.  
Asesor Principal



---

Rogel Castillo, M.Sc.  
Director  
Departamento de Ciencia y  
Producción Agropecuaria



Francisco Maroto Molina (Nov 12, 2020 08:08 GMT+1)

---

Francisco Maroto, Ph.D.  
Asesor



---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Vicepresidente y Decano Académico

## **Caracterización del comportamiento de vacas Brahman y sus encastes próximas al parto utilizando dispositivos GPS**

**Erika Tatiana Zuluaga Zuluaga**

**Resumen.** Las empresas ganaderas tienen el reto de innovar en propuestas que ayuden al crecimiento y la transformación del sector. El objetivo del estudio fue caracterizar el comportamiento del ganado bovino alrededor del parto, a partir de la información recogida por dispositivos GPS. La investigación se realizó en la Unidad de Aprendizaje y Producción de Ganado de Carne, de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; se monitorearon 10 vacas en estado de gestación de raza Brahman y sus encastes, manejadas bajo un sistema rotacional intensivo. Los dispositivos GPS tuvieron una resolución temporal de 30 minutos, emitiendo 48 registros/día; que se usaron para analizar diariamente el comportamiento animal. La base de datos construida permitió monitorear el comportamiento individual y grupal de los animales antes, durante y después de la gestación. El día del parto el 80% de los animales, tuvieron una reducción en la longitud de la trayectoria. En el momento del parto, las vacas Brahman se alejaron del rebaño entre 80 y 200 metros, mientras que los encastes se alejaron hasta 320 metros. Los sensores tuvieron una emisión del 90% de los datos por día. Los dispositivos GPS tuvieron una alta eficiencia en la recolección y emisión de los datos a los servidores, de esta forma, permitieron la monitorización de varios indicadores de comportamiento animal; interesantes desde el punto de vista de cambios etológicos, relacionados con la ocurrencia del parto. Se recomiendan futuras investigaciones en sistemas extensivos, ya que el manejo continuo de los animales hace que el comportamiento natural cambie.

**Palabras clave:** Comportamiento animal, ganado de carne, gestación, monitoreo.

**Abstract.** Cattle companies have the major challenge of constant innovation to help the growth and transformation in this production sector. The goal of this investigation was to characterize cattle behavior around calving by using the information recovered by GPS devices. The study was carried out at the Meat Cattle Production Unit in the Pan-American Agricultural School, where 10 Brahman and crossbred pregnant cows were monitored. Cows were managed under an intensive rotational system. The GPS devices had a time resolution of 30 minutes, emitting 48 records per day, which were used to study daily animal. The gathered data base allowed to monitor the individual and group behavior before, during and after gestation. On Calving Day 80% of the animals had a reduction in the path length. During calving, Brahman cows moved away the main flock between 80 and 200 meters, while the crossbred cows moved away up to 320 meters. The sensors had a 90% data recovery rate. GPS devices had a high efficiency in data recording and emission to servers, allowing the monitoring of different indicators of animal behavior related to the occurrence of calving, which are interesting from an ethological point of view. It is recommendable to extend future research to extensive systems, as the excessive animal's management of rotational grazing systems makes natural behavior change.

**Key words:** Animal behavior, beef cattle, gestation, monitoring.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de Cuadro y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE CUADRO Y FIGURAS

Cuadro	Página
1. Descripción de los animales monitoreados. ....	5

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación del estudio. ....	3
2. Mapa de división de potreros. ....	4
3. Aplicación Digitanimal. ....	6
4. Componentes del collar. ....	7
5. Diagrama de la colocación correcta del dispositivo. ....	7
6. Número de registros por día para el collar AH930. ....	10
7. Número de registros por día para el collar AH931. ....	10
8. Número de registros por día para el collar AH932. ....	11
9. Número de registros por día para el collar AH933. ....	11
10. Número de registros por día para el collar AH934. ....	12
11. Número de registros por día para el collar AH935. ....	12
12. Número de registros por día para el collar AH936. ....	13
13. Número de registros por día para el collar AH937. ....	13
14. Número de registros por día para el collar AH938. ....	14
15. Número de registros por día para el collar AH939. ....	14
16. Longitud diaria total recorrida por el animal AH930 alrededor del parto. ....	16
17. Longitud diaria total recorrida por el animal AH931 alrededor del parto. ....	16
18. Longitud diaria total recorrida por el animal AH932 alrededor del parto. ....	17
19. Longitud diaria total recorrida por el animal AH933 alrededor del parto. ....	17
20. Posición del animal AH933 el día del parto. ....	18
21. Longitud diaria total recorrida por el animal AH934 alrededor del parto. ....	18
22. Posición del animal AH934 el día del parto. ....	19
23. Longitud diaria total recorrida por el animal AH935 alrededor del parto. ....	19
24. Posición del animal AH935 el día del parto. ....	20
25. Longitud diaria total recorrida por el animal AH936 alrededor del parto. ....	20
26. Longitud diaria total recorrida por el animal AH937 alrededor del parto. ....	21
27. Longitud diaria total recorrida por el animal AH938 alrededor del parto. ....	21
28. Longitud diaria total recorrida por el animal AH939 alrededor del parto. ....	22
29. Longitud diaria total recorrida por los animales encastados alrededor del parto. ....	23
30. Longitud diaria total recorrida por los animales Brahman alrededor del parto. ....	23
31. Distancia diaria recorrida por el animal AH930 alrededor del parto. ....	24

32. Distancia diaria recorrida por el animal AH931 alrededor del parto. ....	25
33. Distancia diaria recorrida por el animal AH932 alrededor del parto. ....	25
34. Distancia diaria recorrida por el animal AH933 alrededor del parto. ....	26
35. Distancia diaria recorrida por el animal AH934 alrededor del parto. ....	26
36. Distancia diaria recorrida por el animal AH935 alrededor del parto. ....	27
37. Distancia diaria recorrida por el animal AH936 alrededor del parto. ....	27
38. Distancia diaria recorrida por el animal AH937 alrededor del parto. ....	28
39. Distancia diaria recorrida por el animal AH938 alrededor del parto. ....	28
40. Distancia diaria recorrida por el animal AH939 alrededor del parto. ....	29
41. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH930 alrededor del parto. ....	30
42. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH931 alrededor del parto. ....	30
43. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH932 alrededor del parto. ....	31
44. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH933 alrededor del parto. ....	31
45. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH934 alrededor del parto. ....	32
46. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH935 alrededor del parto. ....	32
47. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH936 alrededor del parto. ....	33
48. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH937 alrededor del parto. ....	33
49. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH938 alrededor del parto. ....	34
50. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH939 alrededor del parto. ....	34
51. Cantidad de pasos diarios del animal AH930 arriba de 25 y 50 metros. ....	35
52. Cantidad de pasos diarios del animal AH931 arriba de 25 y 50 metros. ....	35
53. Cantidad de pasos diarios del animal AH932 arriba de 25 y 50 metros. ....	36
54. Cantidad de pasos diarios del animal AH933 arriba de 25 y 50 metros. ....	36
55. Cantidad de pasos diarios del animal AH934 arriba de 25 y 50 metros. ....	37
56. Cantidad de pasos diarios del animal AH935 arriba de 25 y 50 metros. ....	37
57. Cantidad de pasos diarios del animal AH936 arriba de 25 y 50 metros. ....	38
58. Cantidad de pasos diarios del animal AH937 arriba de 25 y 50 metros. ....	38
59. Cantidad de pasos diarios del animal AH938 arriba de 25 y 50 metros. ....	39
60. Cantidad de pasos diarios del animal AH939 arriba de 25 y 50 metros. ....	39
61. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH930 expresado en ha. ....	40
62. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH931 expresado en ha. ....	41
63. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH932 expresado en ha. ....	41
64. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH933 expresado en ha. ....	42
65. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH934 expresado en ha. ....	42
66. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH935 expresado en ha. ....	43
67. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH936 expresado en ha. ....	43
68. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH937 expresado en ha. ....	44
69. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH938 expresado en ha. ....	44

70. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH939 expresado en ha.....	45
71. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo de los animales encastados expresado en .....	46
72. rango de hogar de los animales Brahman usando el mínimo polígono convexo. ....	46
73. Distancia respecto a los otros animales del collar AH930 21 días antes del parto. ....	47
74. Distancia respecto a los otros animales del collar AH930 el día del parto. ....	48
75. Distancia respecto a los otros animales del collar AH931 el día del parto. ....	48
76. Distancia respecto a los otros animales del collar AH932 el día del parto. ....	49
77. Distancia respecto a los otros animales del collar AH933 el día del parto. ....	49
78. Momento del parto del animal AH933 respecto a los demás animales. ....	50
79. Distancia respecto a los otros animales del collar AH934 el día del parto. ....	50
80. Distancia respecto a los otros animales del collar AH935 21 días antes del parto. ....	51
81. Distancia respecto a los otros animales del collar AH935 el día del parto. ....	51
82. Momento del parto del animal AH935 respecto a los demás animales. ....	52
83. Distancia respecto a los otros animales del collar AH936 el día del parto. ....	52
84. Distancia respecto a los otros animales del collar AH937 21 días antes del parto. ....	53
85. Distancia respecto a los otros animales del collar AH937 el día del parto. ....	53
86. Distancia respecto a los otros animales del collar AH938 el día del parto. ....	54
87. Momento del parto del animal AH938 respecto a los demás animales. ....	54
88. Distancia respecto a los otros animales del collar AH939 el día del parto. ....	55



# 1. INTRODUCCIÓN

La población mundial está en continuo crecimiento. En el 2019, fue estimada en 7,700 millones de habitantes. Se espera que para el año 2050 ascienda un 34%, llegando a un total de 9,700 millones de habitantes (Organización de las Naciones Unidas, ONU 2019). En este contexto, para América Latina y el Caribe (ALC) se espera un incremento del 18%, estimando un total de 762 millones de habitantes (ONU 2019). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2011) el incremento de la producción de alimentos debe ser del 70% en las próximas tres décadas para lograr suplir la demanda de alimentos de la creciente población.

En este sentido, el sector ganadero tiene el reto de innovar en propuestas que ayuden al crecimiento y la transformación pecuaria, logrando suplir la demanda de proteína animal para consumo humano (OECD y FAO 2019). Se considera que la demanda de carne y leche está influenciada por el número de habitantes de un país y el poder adquisitivo de los mismos (Thornton 2010; Wright *et al.* 2012). Actualmente la demanda en países desarrollados es mayor, pero estimaciones realizadas para el año 2028 aseguran una demanda cuatro veces mayor en países en vía de desarrollo, debido al aumento acelerado en la población (OECD y FAO 2019).

Consecuentemente, la clave del desarrollo ganadero está en potenciar su producción impactando tres aspectos: la alimentación, la reproducción y la sanidad animal (Acero Adámez 2019). La industria ganadera debe implementar sistemas que mejoren las técnicas ancestrales de cría, con el objetivo de disminuir los costos de producción y aumentar el rendimiento de los hatos (Barriuso *et al.* 2018; Norton *et al.* 2019). Existen diferentes parámetros que ayudan a medir la productividad del sector ganadero. Por ejemplo, las producciones de carne bovina basan su rentabilidad en la capacidad de obtener una cría por año, así como en el crecimiento y desarrollo de esta (Morales Gavarrete *et al.* 2009; Acero Adámez 2019). Para mejorar estos parámetros se debe trabajar fuertemente en los aspectos productivos y reproductivos del hato (Dargatz y Dewell 2004; Ritter *et al.* 2019).

En la etapa reproductiva, se estima que la causa principal de la muerte de crías es debido a partos distócicos (Patterson *et al.* 1987; Alejo *et al.* 2007). Problemas como la distocia y la muerte fetal impactan fuertemente la productividad del hato (Bicalho *et al.* 2007, 2008). Es crucial la incorporación de estrategias que adopten el uso de herramientas avanzadas. Las mismas, servirán como instrumento al ganadero para reaccionar en caso de que el animal presente problemas al momento del parto (Saint-Dizier y Chastant-Maillard 2015; Wehrend *et al.* 2006). Actividades como la monitorización constante de los animales promueve la intensificación sostenible de la ganadería identificando los problemas que afectan el éxito de la producción (Bautista-Martínez *et al.* 2017).

Uno de los principales pilares zootécnicos de la producción bovina es el manejo (Palomera 2019). En la actualidad este pilar debe tener una relación estrecha con los avances tecnológicos (García *et al.* 2018), siendo esta una herramienta de gestión que permite al ganadero tomar decisiones respaldadas por etología animal (Halachmi 2015; Garcia *et al.* 2018). El concepto de ganadería de precisión (PLF por sus siglas en inglés), está fundamentado en la monitorización continua de los animales, durante todas las etapas productivas (Wathes *et al.* 2008; Halachmi y Guarino 2016). La

PLF tiene como objetivo crear un sistema de gestión avanzado en tiempo real, que monitoree y controle la producción, reproducción, sanidad y bienestar animal (Cumby y Phillips 2001; Berckmans 2014).

Bajo el concepto de la PLF se han venido implementando tecnologías en los sistemas productivos. Herramientas como cámaras de video, micrófonos, sistemas de posicionamiento global (GPS) y acelerómetros, son las más referenciadas en estudios técnico-científicos recientes (Berckmans 2014). La implementación de estas herramientas ha servido de base para el conocimiento del comportamiento animal (Halachmi 2015; Halachmi y Guarino 2016). El análisis de los datos obtenidos como resultado de la adopción de estas tecnologías, generalmente se almacenan y analizan utilizando el internet de las cosas (IoT) y las herramientas de Big Data (Caia *et al.* 2016). Consecuentemente, brindan información sobre las condiciones del ganado y dan una idea más clara de las acciones de manejo, que se pueden realizar para potenciar el rendimiento del animal (Vivallo *et al.* 2009).

En la actualidad han comenzado a aparecer trabajos científicos sobre etología alrededor del parto. Estas investigaciones han consistido en observaciones directas del animal en su proceso de gestación (Maltz y Antler 2007; Jensen 2012; Severud *et al.* 2015). También se han monitoreado utilizando diferentes dispositivos tecnológicos que han ayudado a registrar cambios en el comportamiento del ganado antes, durante y después del parto (Rørvang *et al.* 2017). La caracterización etológica es la base para el desarrollo de sistemas de ganadería de precisión que permiten detectar automáticamente el momento de un parto inminente (Rutten *et al.* 2015).

Los cambios del comportamiento animal más significativos se observan principalmente en el día real del parto en comparación a días anteriores (Saint-Dizier y Chastant-Maillard 2012). El día del parto la vaca busca alejarse del rebaño (Lidfors *et al.* 1994; Proudfoot *et al.* 2014). Se presenta una disminución de la temperatura corporal y vaginal (Aoki *et al.* 2005; Burfeind *et al.* 2011). El proceso de alimentación y rumia decae, la vaca está más inquieta (Rørvang *et al.* 2017). El nivel de actividad que el animal realiza aumenta en comparación a días anteriores (Jensen 2012). Otro factor que la vaca tiene en cuenta al momento del parto es el ambiente. Las vacas prefieren dar a luz en lugares donde ya ha ocurrido un parto anteriormente, debido a señales quimiorreceptoras que hacen que la vaca tenga preferencia por estos lugares (Jensen y Rørvang 2018).

Las investigaciones mencionadas anteriormente, se caracterizan por haber estudiado animales en sistemas confinados, con el fin de facilitar las actividades rutinarias de manejo y la toma de datos. En términos de la monitorización del parto en animales a campo abierto, sólo se han encontrado algunos trabajos que utilizan dispositivos GPS en animales salvajes, como los alces y los caribúes (Severud *et al.* 2015; Hepler 2019). Los objetivos del estudio fueron:

- Validar la efectividad de la recolección de los datos emitidos de los sensores GPS a los servidores.
- Evaluar la posibilidad de detectar el momento del parto con base en los datos de comportamiento del animal recogidos por collares GPS diseñados para su uso en ganado de carne en pastoreo.

## 2. METODOLOGÍA

### Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en la Unidad de Aprendizaje y Producción de Ganado de Carne, en el área conocida como El Rodeo situada en el departamento de Francisco Morazán, Tegucigalpa, Honduras (Figura 1). El sitio tiene una extensión de 31.14 ha manejado bajo un sistema rotacional intensivo, con una altitud de 787 msnm, una precipitación anual de 1,023 mm y una temperatura promedio de 24 °C.

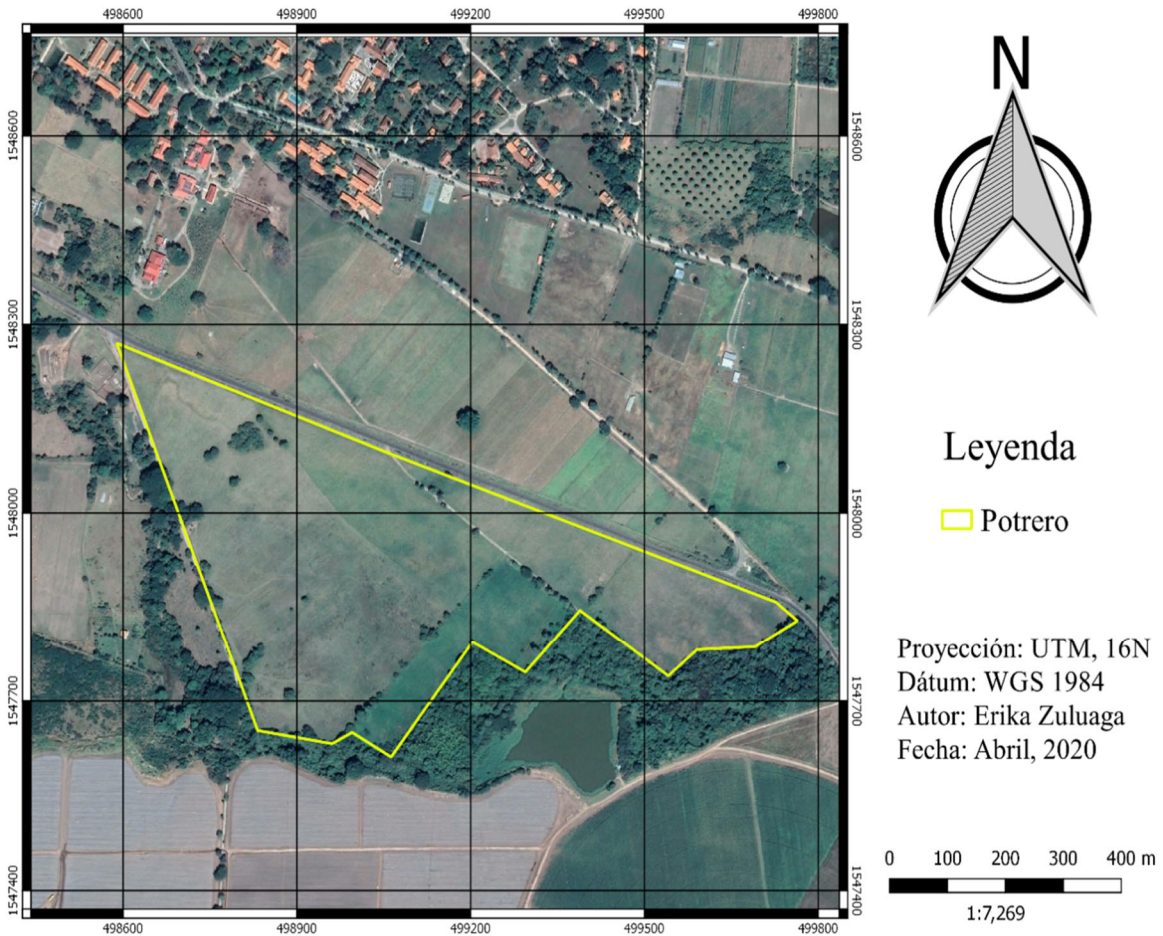


Figura 1. Mapa de ubicación del estudio.

El potrero está dividido en 16 parcelas, las cuales tienen una medida de aproximadamente 1.6 ha exceptuados los potreros 14, 15 y 16 que tienen dimensiones de aproximadamente 3 ha, establecidas con pasto *Panicum maximum* variedades Mombaza y Tobiata; y *Cynodon nlemfuensis* variedad Estrella (Figura 2).

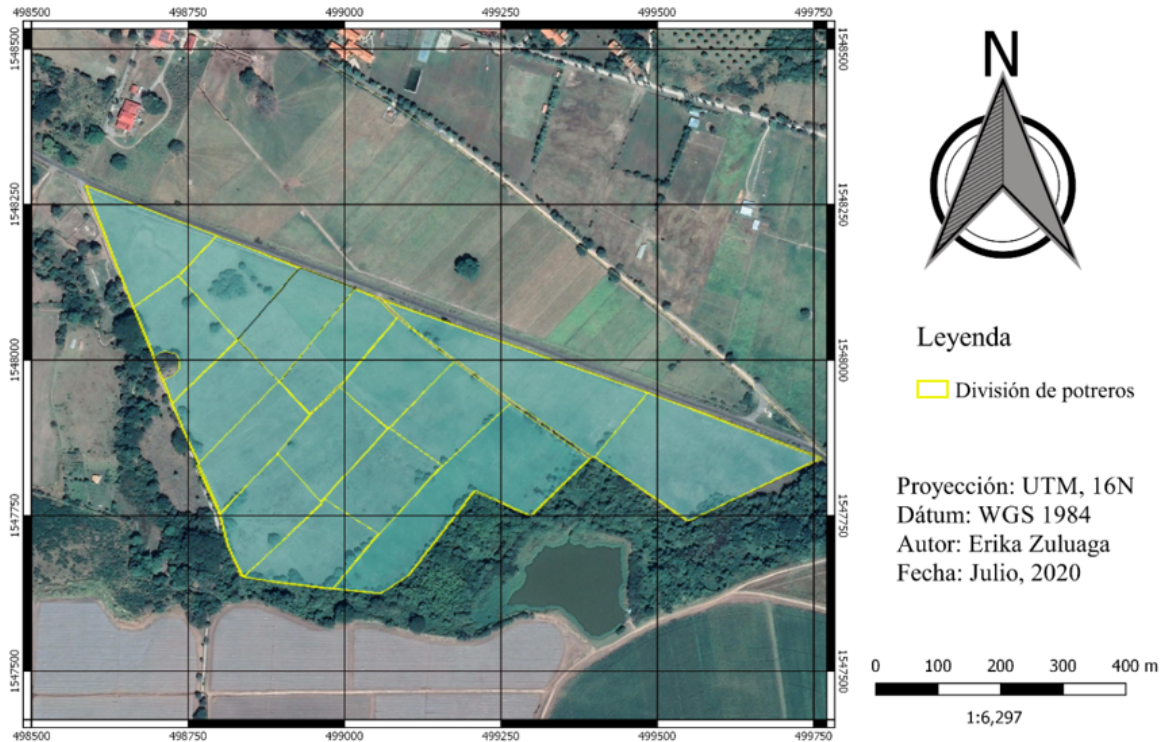


Figura 2. Mapa de división de potreros.

### Animales monitoreados

Durante el estudio se monitorearon 10 vacas en estado de gestación del hato de ganado de carne ubicado en Zamorano, donde se cuenta con una vacada Brahman, que es una raza pura adaptada al calor y una vacada que se maneja en un programa de cruzamiento para generar amalgamas genéticas, donde se utilizan razas adaptadas al calor (Senepol, Brahman, Tuli, entre otras) y razas europeas (Charolais, Simmental y Angus rojo, entre otras) para manejar un 50% de composición génica adaptada al calor y un 50% de influencia europea para mejorar fertilidad, precocidad y calidad de canal.

La elección de estos animales se realizó en forma aleatoria de un grupo de 50 vacas que estaban próximas al parto, donde se tomaron cinco vacas Brahman y cinco vacas encastadas para un total de 10 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los animales monitoreados.

<b>Nombre</b>	<b>Animal</b>	<b>Collar</b>	<b>Raza</b>	<b>Lactancias</b>
TZ 20346	1220	AH930	Encaste	4
TZ 20417	1054	AH931	Brahman	4
TZ 20428	836	AH932	Brahman	6
TZ 20322	824	AH933	Brahman	6
TZ 20380	1223	AH934	Encaste	4
TZ 20393	1001	AH935	Encaste	6
TZ 20239	1231	AH936	Encaste	4
TZ 20375	909	AH937	Encaste	6
TZ 20419	1065	AH938	Brahman	5
TZ 20447	805	AH939	Brahman	5

Los animales estuvieron monitoreados por el personal de la unidad de ganado de carne y los estudiantes que estaban en ese momento en la unidad, teniendo un control visual diario de los animales para detectar el momento del parto.

### **Dispositivo tecnológico de monitoreo**

Los dispositivos tecnológicos utilizados son la muestra de la revolución tecnológica aplicada a los animales de producción (ganadería de precisión). Estos dispositivos fueron creados por la empresa Digitanimal SL (España) para la monitorización del ganado vacuno, ovino, caprino y equino.

En el presente estudio se utilizaron los dispositivos creados para ganado vacuno. Estos dispositivos cumplen con la función de monitorear y localizar los animales en tiempo real, captando la información durante las 24 horas del día y enviándola a los servidores de la empresa, los cuales reciben la información, la analizan y la muestran en una plataforma donde se puede consultar los datos de manera virtual, accediendo a los mismos en la web o mediante una aplicación en el teléfono móvil que ha sido desarrollada para Android e iOS.

La aplicación desarrollada por Digitanimal SL tiene un formato muy amigable para los usuarios. El acceso a esta plataforma se puede hacer simultáneamente en varios dispositivos, mostrando al ganadero la siguiente información:

- Identificación del collar
- Temperatura superficial
- Distancia recorrida por el animal diariamente y un promedio semanal
- Comportamiento del animal
- Actividad del animal diaria y promedio semanal
- Fecha y hora del registro tomado

Esta aplicación permite al ganadero crear recintos, demarcando las zonas donde deben estar los animales, para enviar alertas en caso de que los animales salgan de este recinto, siendo ésta una herramienta muy valiosa en aquellos lugares donde el robo del ganado es un gran problema.



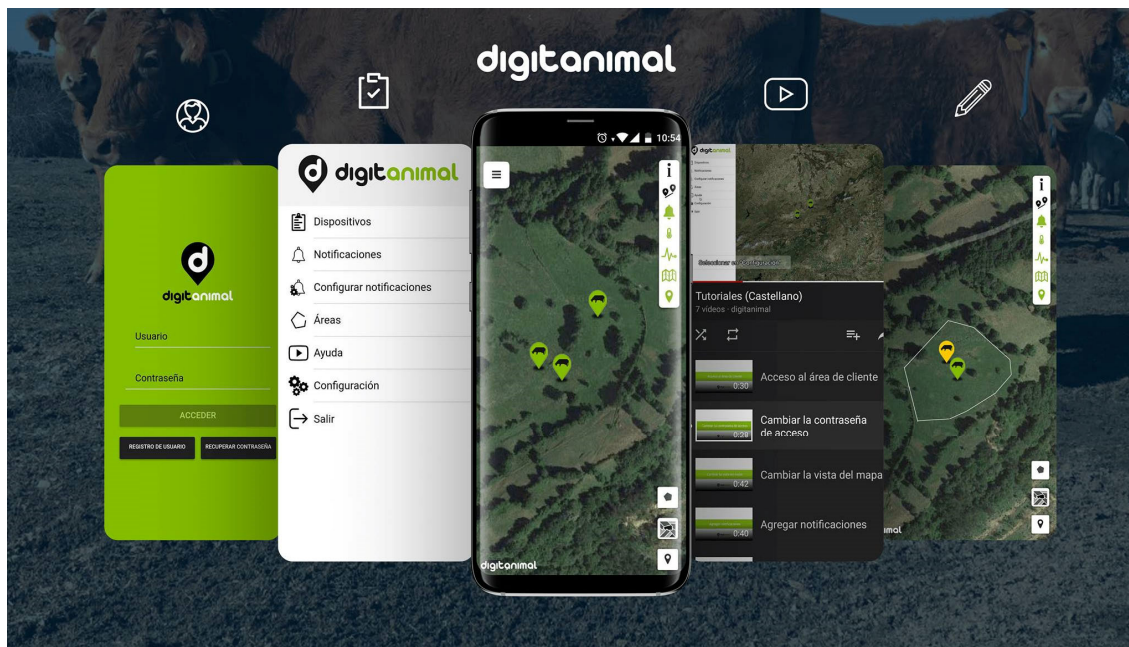


Figura 3. Aplicación Digitanimal.

A continuación, se describen las partes del collar:

- Correa con dos hebillas
- Dispositivo Digitanimal, el cual tiene un cajeado IP65, lo que significa que tiene protección total contra partículas de polvo y salpicadura de agua, aspecto relevante para la investigación debido a que estos dispositivos estuvieron expuestos a condiciones de lluvia y partículas de polvo durante el periodo que se tomaron los datos. Estos dispositivos están conformados por tres diferentes sensores: GPS, acelerómetro triaxial y sonda de temperatura. El GPS indica la posición del animal (latitud y longitud), y tarda como máximo un minuto en conectarse con los satélites y dar un dato de posición, el acelerómetro triaxial registra la aceleración media en cada uno de los ejes del espacio X, Y, Z durante un periodo de 20 segundos. Además, se registra la desviación estándar y el máximo de todos los valores registrados durante estos 20 segundos para cada eje, la sonda de temperatura registra la temperatura superficial del animal.
- Pesa, la cual sirve de contrapeso para mantener la posición adecuada del dispositivo
- Batería VB de 6,000 mAh con una vida útil de aproximadamente un año.



Figura 4. Componentes del collar.

### Instalación del dispositivo

La correcta instalación del dispositivo es necesaria para su correcto funcionamiento. Luego de encender el dispositivo se procedió a su instalación. Los dispositivos se colocaron el día 17 de octubre de 2019. Lo primero que se realizó fue identificar las letras y números de codificación que tiene cada dispositivo para garantizar la posición adecuada al momento de ponerlo en el cuello del animal, la posición correcta del montaje debe ser en la parte izquierda del cuello de las vacas a la altura de los ojos. Se pone de tal manera que la codificación del dispositivo se pueda leer al ver de frente al animal tal como se muestra en la Figura 5.

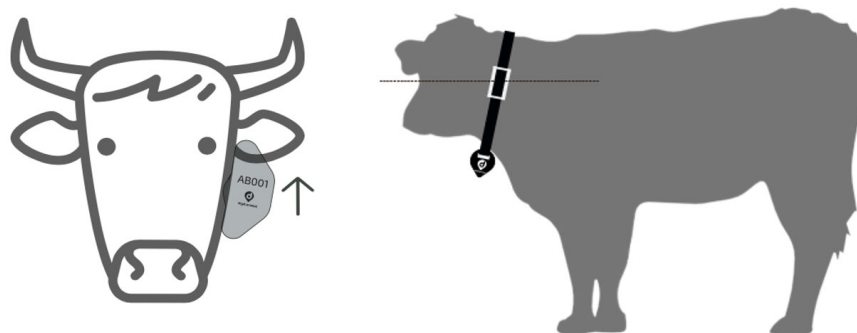


Figura 5. Diagrama de la colocación correcta del dispositivo.

Se recomienda dejar pasar siete días luego de la instalación mientras el dispositivo se adapta al animal, para que empiece a emitir datos más confiables y no cree falsas alarmas. Para esta investigación se tomaron en cuenta los datos que se registraron desde el día 31 de octubre de 2019 hasta el día 3 de febrero de 2020.

### **Conectividad del dispositivo**

Respecto a la conectividad, la empresa Digitanimal SL utiliza principalmente la red Sigfox, que es la red del internet de las cosas que más se usa en España, siendo esta la mejor opción ya que potencia la duración de la batería. Debido a que en Honduras aún no se ha desplegado una red Sigfox, los dispositivos del ensayo utilizaron conectividad GSM (Global System for Mobile communications) es decir, usan la cobertura de datos de los celulares para enviar la información a internet, garantizando así llegar a la totalidad del territorio.

### **Preprocesamiento e integración de datos**

Los datos capturados por el collar fueron registrados en las bases de datos de la empresa: Posteriormente fueron enviados en un documento con formato de texto que contiene los datos de los tres sensores: GPS, acelerómetro triaxial y sonda de temperatura. Los datos emitidos por la sonda de temperatura y acelerómetro triaxial no serán discutidos en este trabajo. La investigación se basó principalmente en los datos sobre la ubicación del ganado bovino para encontrar indicadores que ayuden a detectar el parto, los cuales fueron rastreados por el sensor GPS, registrando la ubicación en coordenadas geográficas (longitud y latitud), las cuales fueron transformadas a coordenadas UTM, para poder realizar el análisis en el programa estadístico RStudio y el programa de georreferenciación QGIS. Para el procesamiento de los datos se han analizado dos factores, el primero fue la eficiencia de transmisión de los datos del collar a los servidores y el segundo fue sobre el comportamiento de los animales monitoreados.

Lo primero que se hizo fue un preprocesamiento de los datos en donde se cambió la hora de los registros ya que los collares registran la hora UTC. Se restaron seis horas para coincidir con la hora de Honduras. También se seleccionaron los días con al menos 36 datos (75% de los datos posibles). Para analizar el comportamiento animal se usaron dos paquetes desarrollados en el lenguaje de programación R: adehabitatHR y trajr, estos dos paquetes tienen un conjunto de métodos para estudiar el uso del espacio y la selección de hábitat de los animales, se ha usado el paquete trajr para remuestrear las trayectorias (para tener la posición de cada animal a las horas en punto y media, ya que los dispositivos no están sincronizados entre sí) y después se suavizaron dichas trayectorias según los algoritmos disponibles en el paquete trajr y adehabitat de R-studio.

Para analizar la trayectoria de cada animal se consideró la longitud, que es el largo del camino que recorre el animal a lo largo de un periodo de tiempo determinado en metros, la distancia es la línea recta entre el punto de inicio y el punto final de la trayectoria, el “straightness” o índice de rectitud, es un indicador de que tan recto o tortuoso fue el desplazamiento del animal, este índice sale de la siguiente fórmula:  $D/L$ , donde D es la distancia de la trayectoria y L la longitud de la trayectoria, este índice va en valores de cero a uno en donde cero indican un camino muy tortuoso y el uno son los caminos rectos (Bovet y Benhamou 1988; Benhamou 2004).



Para el rango de hogar de los animales se utilizó el Mínimo Polígono Convexo (MPC) que engloba todas las posiciones diarias del animal (Calenge *et al.* 2006). Este indicador se calculó englobando el 100, 80 o 60% de los puntos para evitar el efecto de posiciones extremas o errores del GPS (Getz *et al.* 2007). El 100% de los datos engloba todos los puntos, este indicador al englobar todos los puntos tiene más amplio margen de error, si hay un punto muy alejado que se sale del área, ese punto va a hacer que crezca mucho el área, la estimación será más grande de lo real, MCP 80 o 60 solo engloba al 80 y el 60% de los datos que sería el área dónde están la mayoría de los datos.

Para esta investigación se utilizó el MCP 80 ya que las medidas de las parcelas donde estaban los animales se ajustaban más a este rango, otro factor que se calculó mediante el programa estadístico fueron el número de pasos por encima de 25 metros (N25) entendiendo que el paso es la distancia recorrida por el animal cada media hora, que es la resolución temporal de los collares y lo mismo para el número de pasos por encima de 50 metros (N50) y la distancia entre animales el día del parto respecto al rebaño.

### **Análisis estadístico**

La base de datos generada se analizó aplicando estadística descriptiva. En primer lugar, a través de gráficos de líneas se analizó la pérdida de datos capturados por días y por periodos de seis horas. Para analizar el comportamiento animal, en primera instancia se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica QGIS (SRC: WGS84: UTM 16N (32616) para proyectar las posiciones de cada animal y para demarcar la zona en la cual se desplazó el ganado en el tiempo de registro.

Las variables relacionadas al comportamiento se midieron utilizando el software estadístico RStudio versión 3.6.2, este software cuenta con paquetes como adehabitatHR que sirven para el análisis de datos de comportamiento animal (Calenge *et al.* 2006). También se usó el paquete de trajr, para el análisis del camino recorrido por los animales en movimiento, denominado como la trayectoria (Benhamou 2004).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Datos perdidos

En las siguientes figuras se muestran los datos capturados por los dispositivos desde el día 31/10/2019 hasta el día 3/02/2020, el registro de los datos se hacía cada media hora, generando un máximo de registros por día de 48 datos los cuales están descritos a continuación:

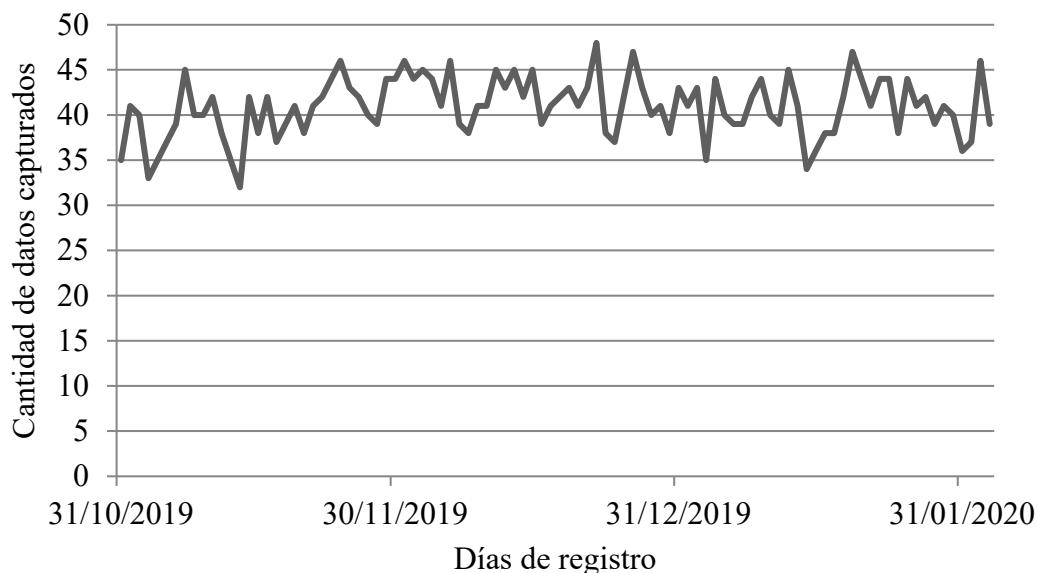


Figura 6. Número de registros por día para el collar AH930.

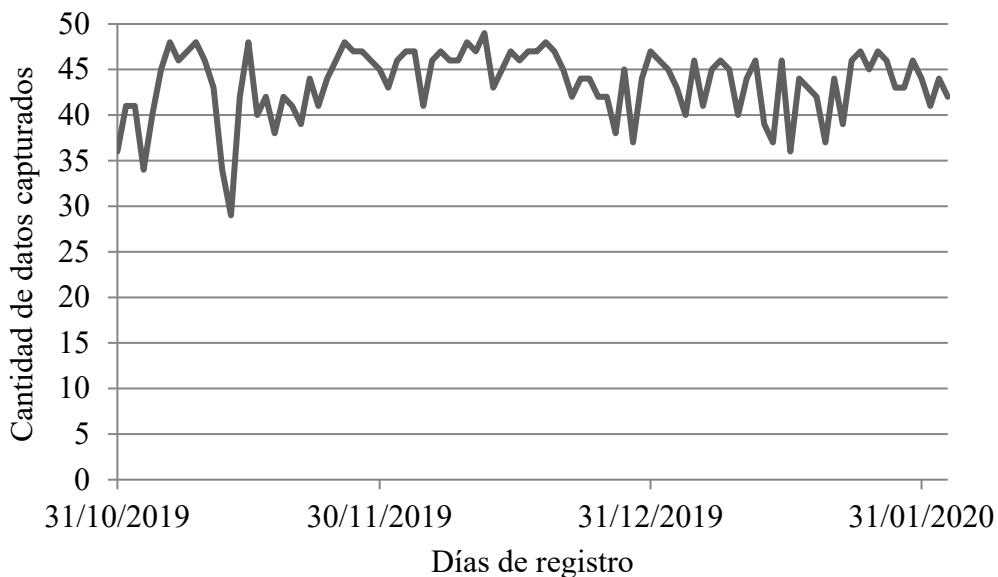


Figura 7. Número de registros por día para el collar AH931.

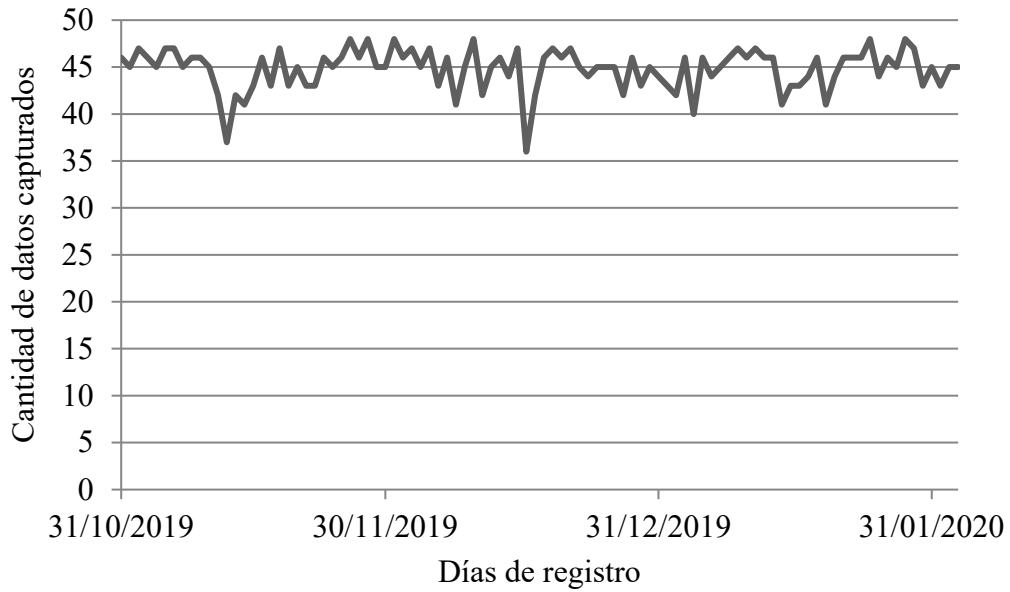


Figura 8. Número de registros por día para el collar AH932.

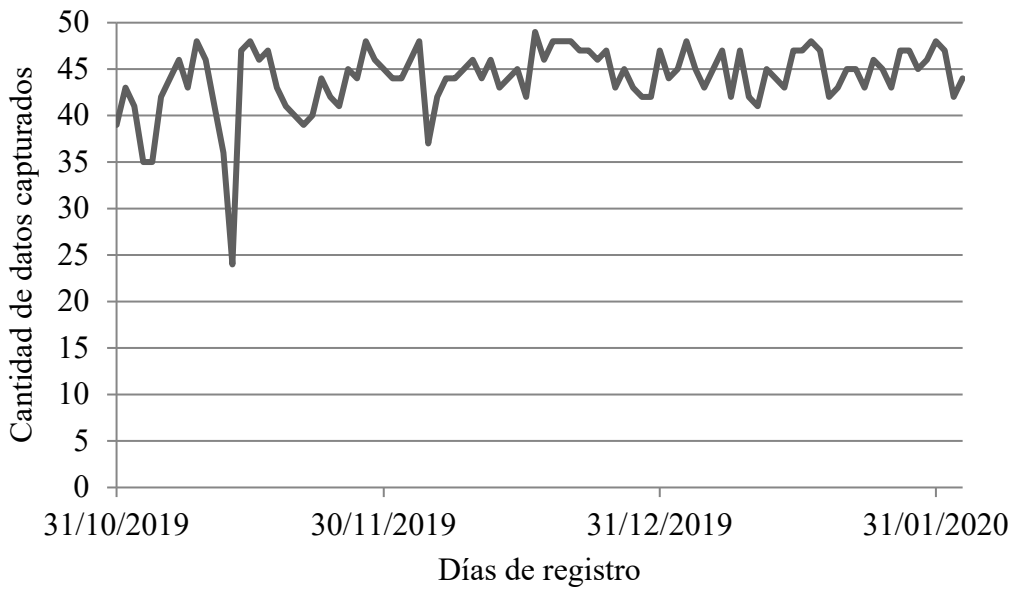


Figura 9. Número de registros por día para el collar AH933.

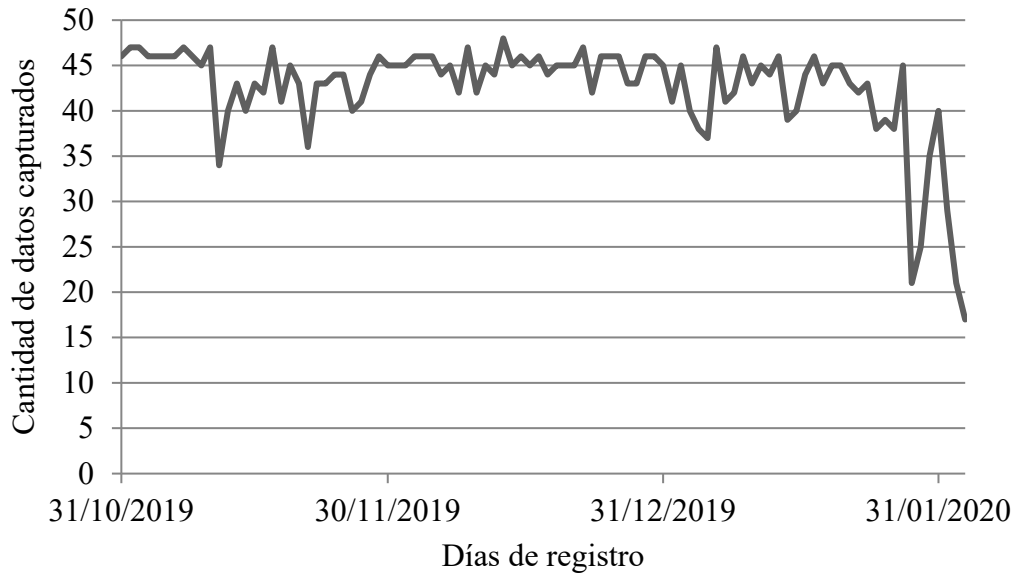


Figura 10. Número de registros por día para el collar AH934.

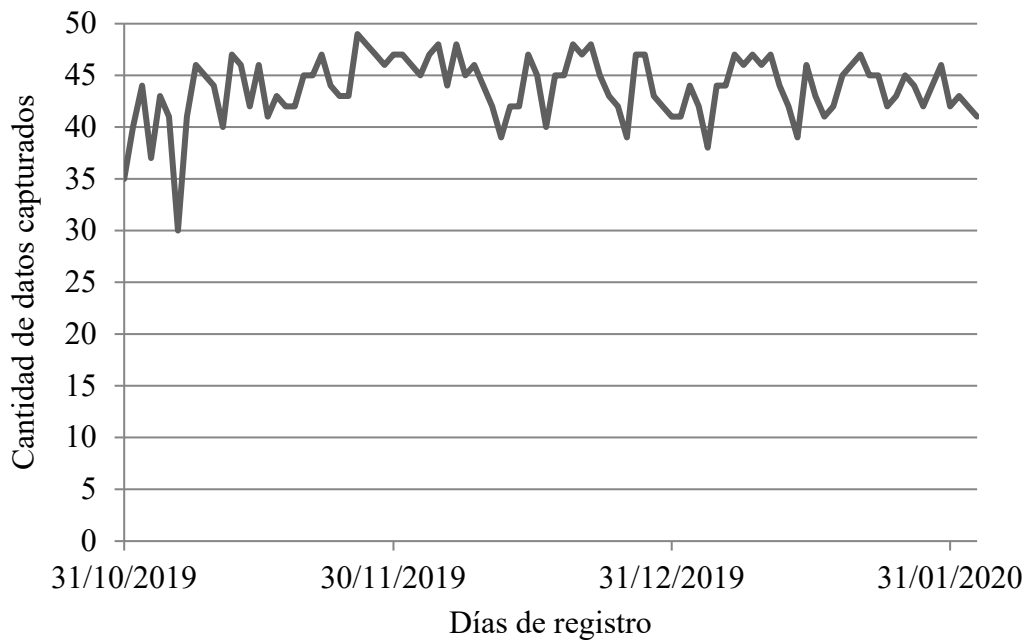


Figura 11. Número de registros por día para el collar AH935.

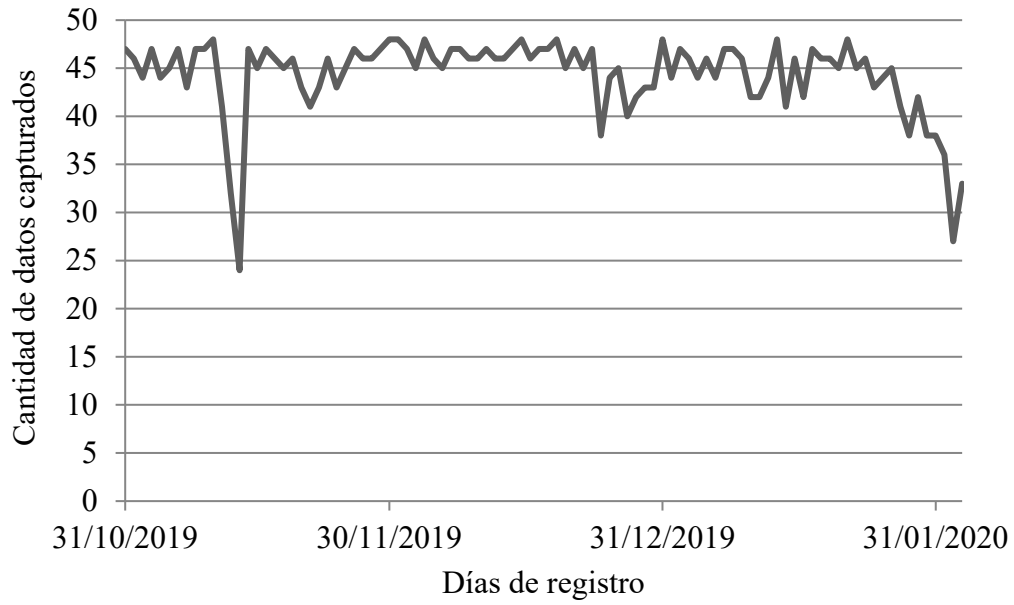


Figura 12. Número de registros por día para el collar AH936.

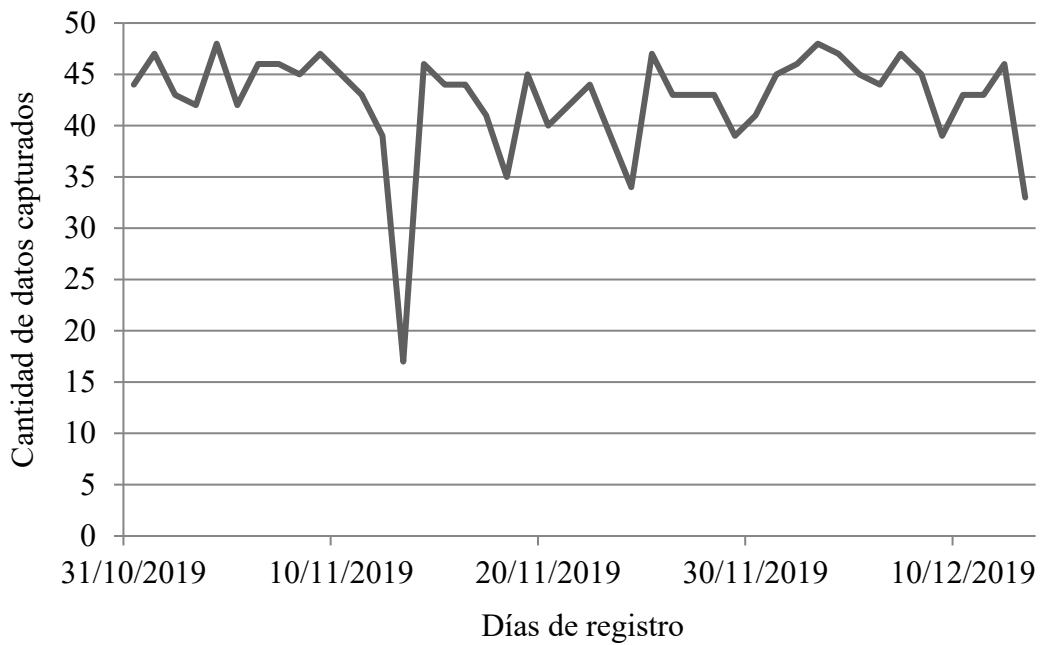


Figura 13. Número de registros por día para el collar AH937.

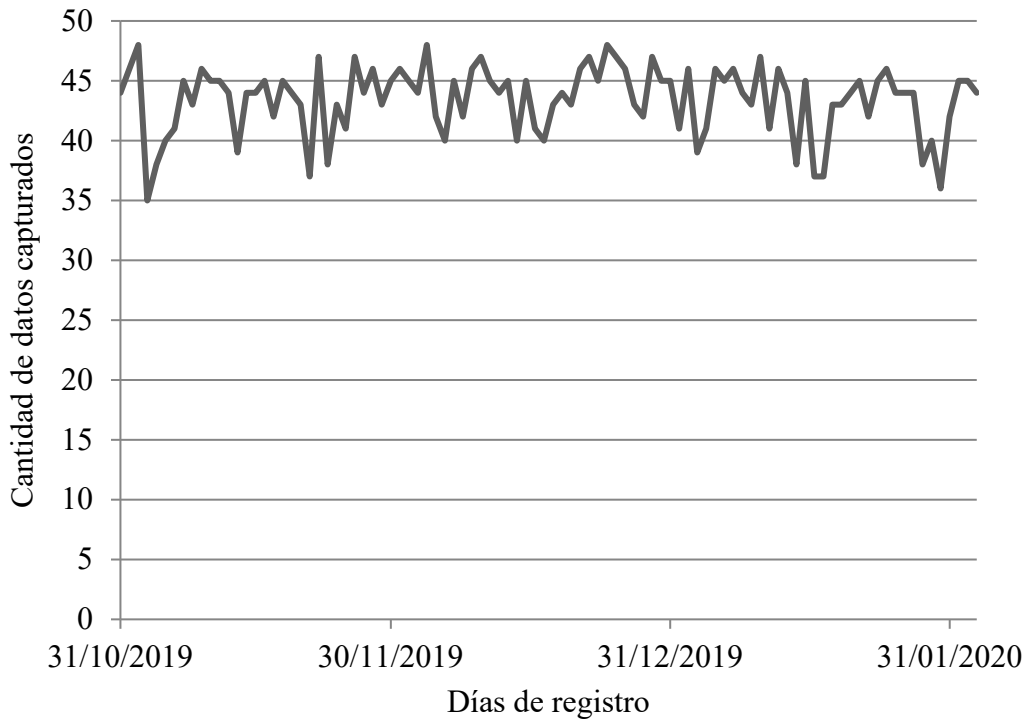


Figura 14. Número de registros por día para el collar AH938.

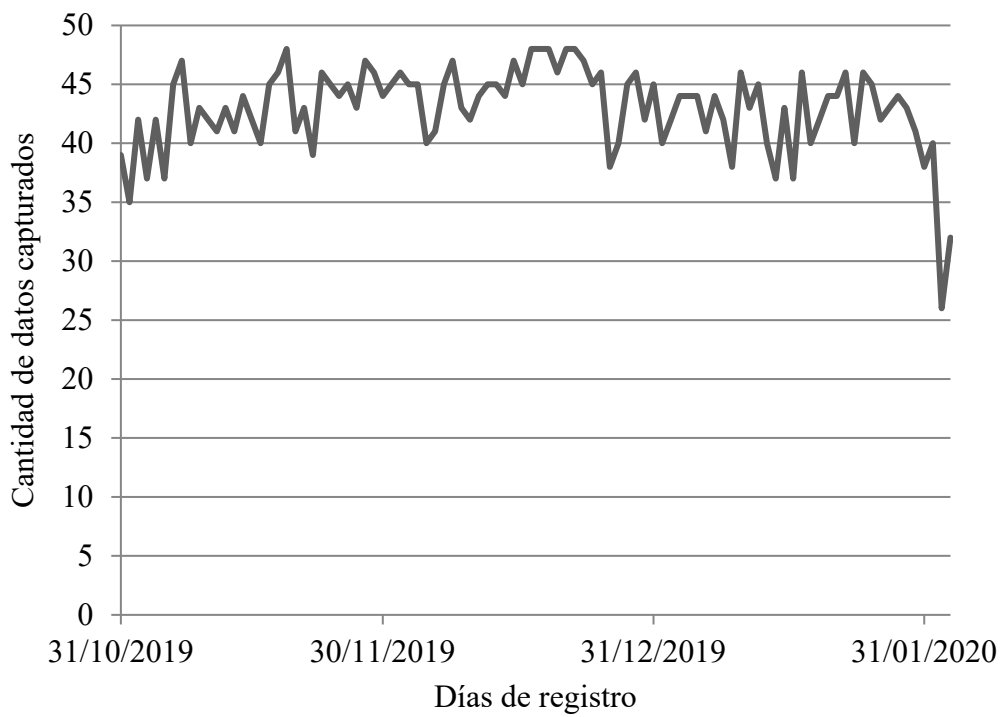


Figura 15. Número de registros por día para el collar AH939.

En las figuras anteriores se presenta el comportamiento de la captura de datos de los collares en los 10 animales monitoreados, el día 13 de noviembre se observa una caída en la captura de datos, esta caída se pudo deber a problemas de cobertura, ya que este factor puede oscilar de unos días a otros generando días con baja recepción de datos tal y como se presentó en los diferentes collares este día.

Los collares AH934, AH936 y AH939 presentaron variaciones al final del periodo, los datos empezaron a subir y a disminuir la cantidad abruptamente, esta variación es debido a que estos collares estuvieron encendidos desde que fueron enviados en el mes de junio, durante el envío estuvieron consumiendo la batería en un lugar cerrado, al estar encerrados hace que se demande más batería para la emisión de los datos y se acorte la vida útil de la batería.

El registro de datos en el periodo que fueron monitoreados los animales estuvo en 90% siendo un porcentaje alto comparados con otros estudios realizados utilizando sensores GPS para el monitoreo animal, estudios donde se han encontrado eficiencias entre el 60 y 70% (Quaglietta *et al.* 2012; Jung *et al.* 2018; Maroto *et al.* 2019) lo cual nos ha servido para tomar los datos registrados como válidos.

### **Comportamiento animal**

Se han evaluado diferentes observaciones respecto al comportamiento de las vacas durante el periodo de monitoreo, tanto a nivel grupal como individual. Con las diferentes variables evaluadas se ha estudiado la posibilidad de monitorizar algunos cambios relacionados con la longitud recorrida por los animales, la distancia entre el comienzo y el final de la trayectoria diaria, la rectitud de la trayectoria, N25 y N50, MPC, y la distancia entre animales el día del parto con respecto a los días normales.

**Longitud recorrida por los animales.** En este apartado se observa la longitud recorrida por el animal durante cuatro semanas, tres semanas antes del parto y una semana después del parto siendo cero el día en que ocurrió el parto.

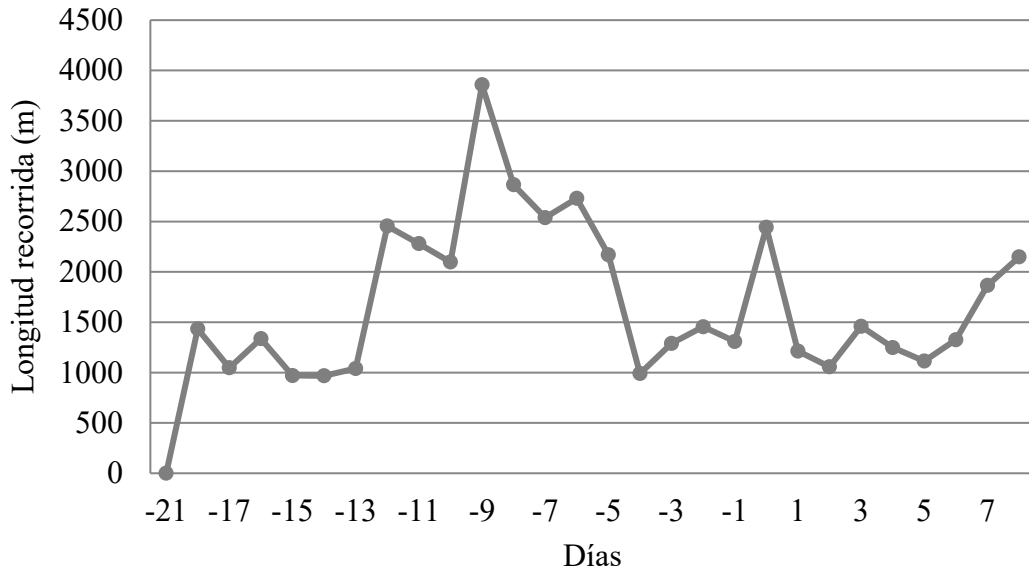


Figura 16. Longitud diaria total recorrida por el animal AH930 alrededor del parto.

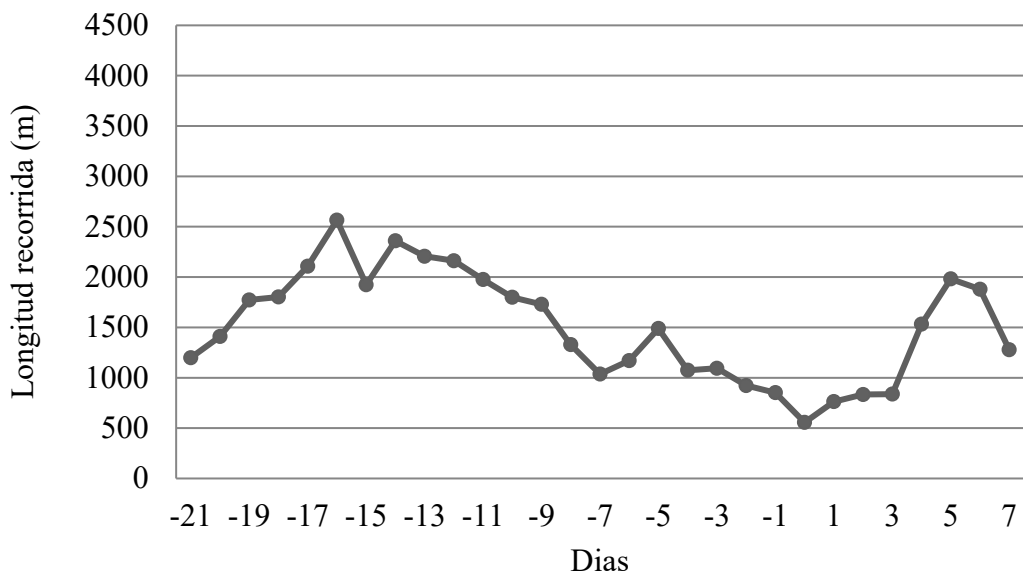


Figura 17. Longitud diaria total recorrida por el animal AH931 alrededor del parto.



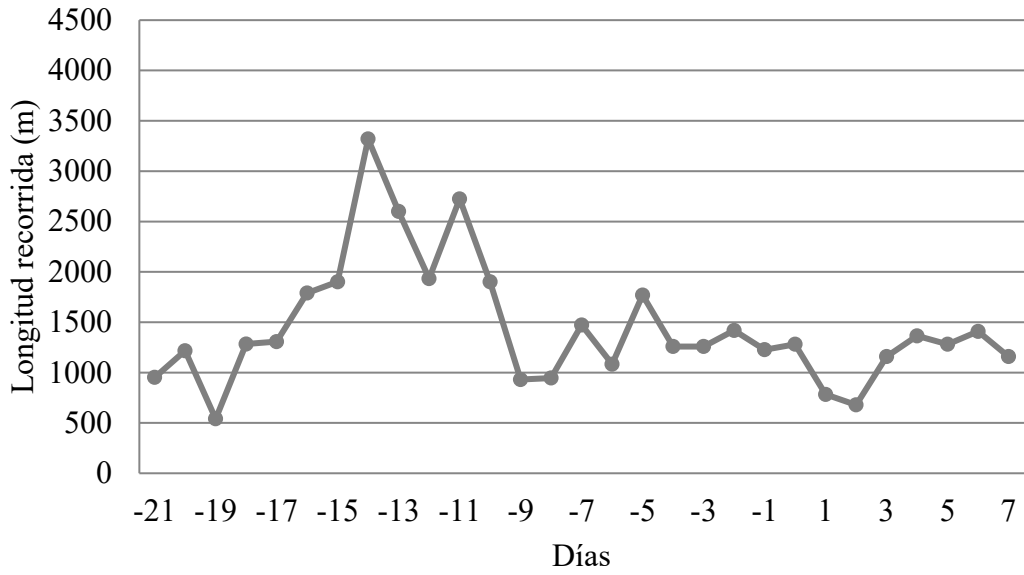


Figura 18. Longitud diaria total recorrida por el animal AH932 alrededor del parto.

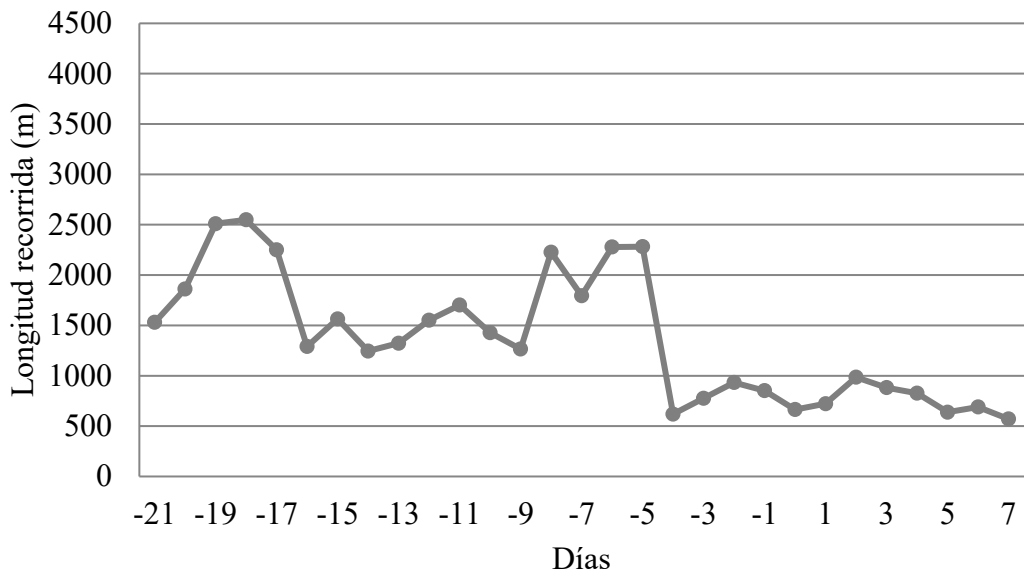


Figura 19. Longitud diaria total recorrida por el animal AH933 alrededor del parto.



Figura 20. Posición del animal AH933 el día del parto.

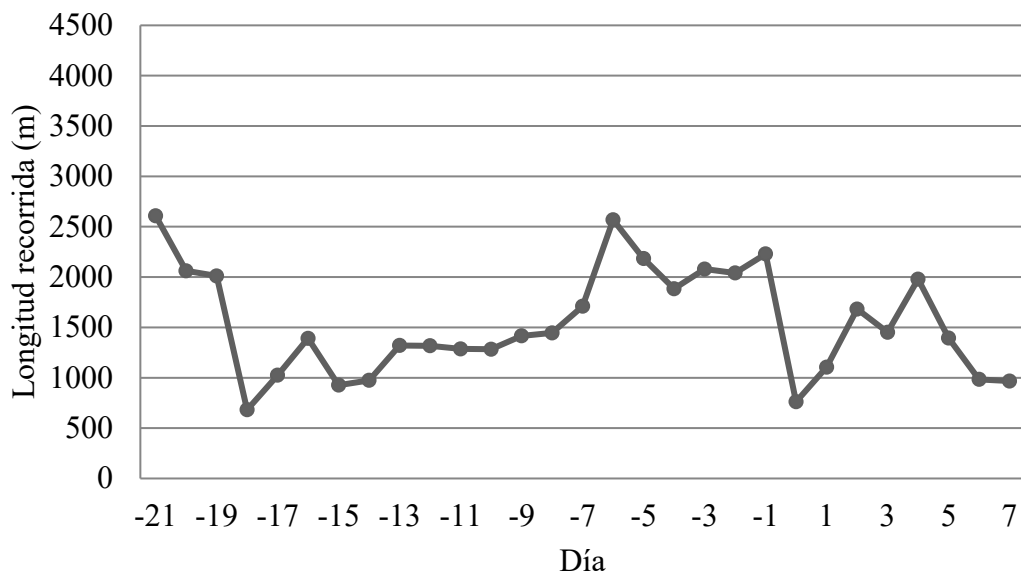


Figura 21. Longitud diaria total recorrida por el animal AH934 alrededor del parto.

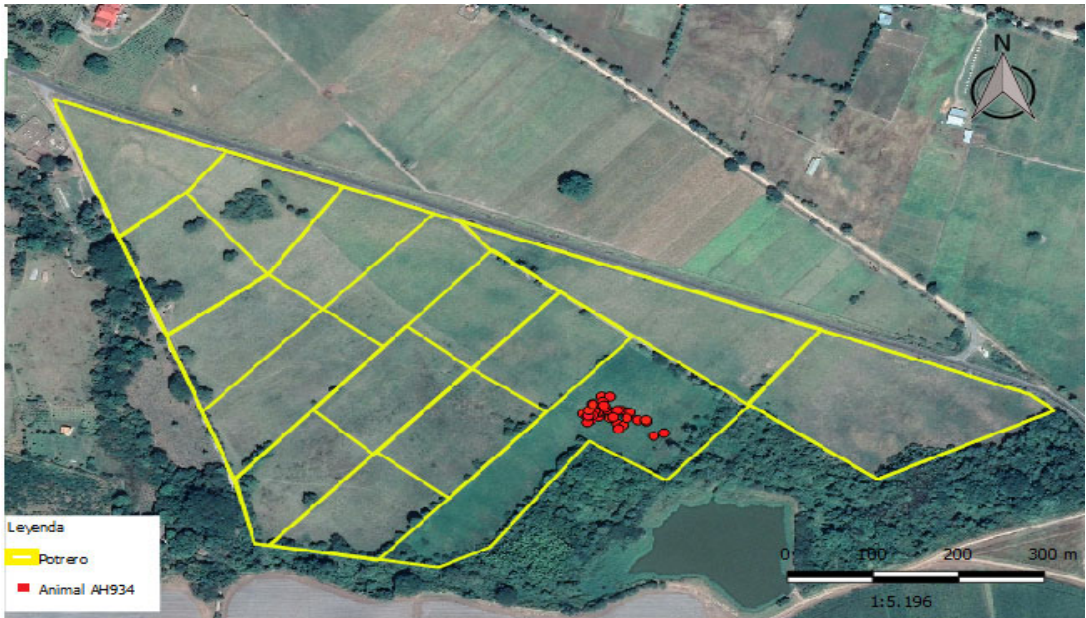


Figura 22. Posición del animal AH934 el día del parto.

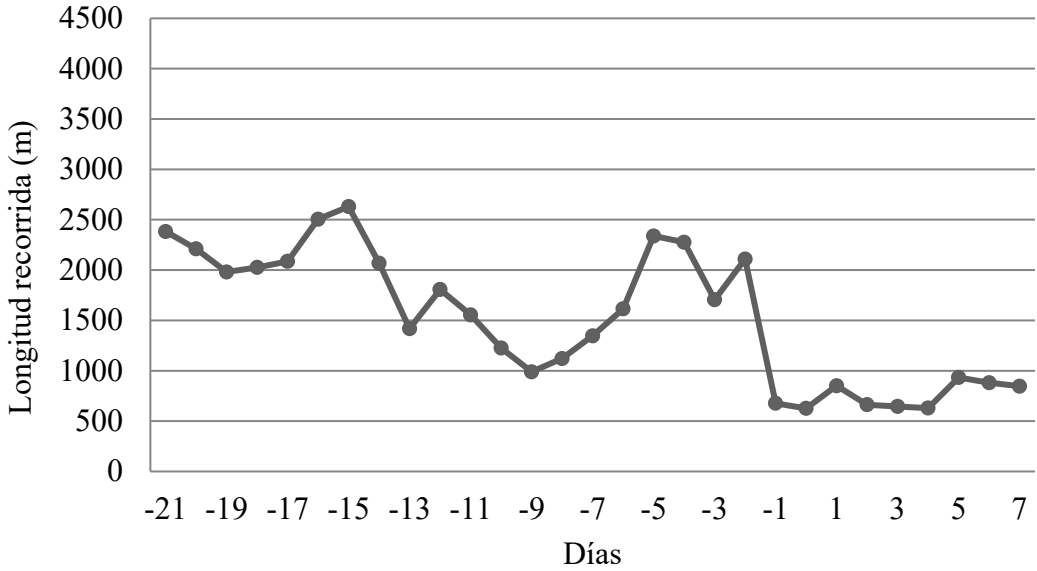


Figura 23. Longitud diaria total recorrida por el animal AH935 alrededor del parto.

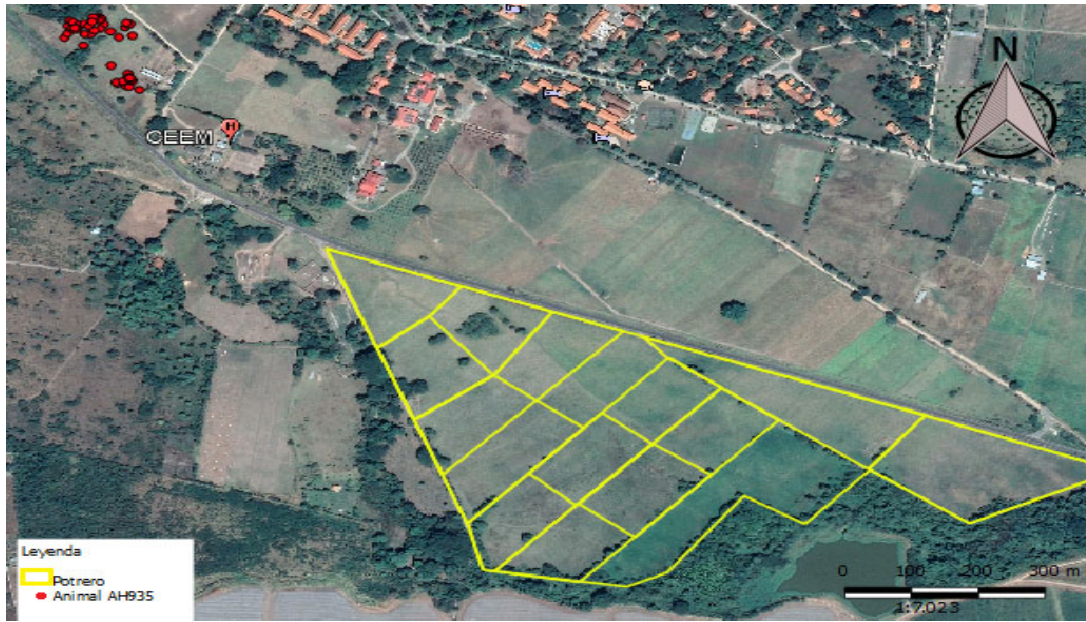


Figura 24. Posición del animal AH935 el día del parto.

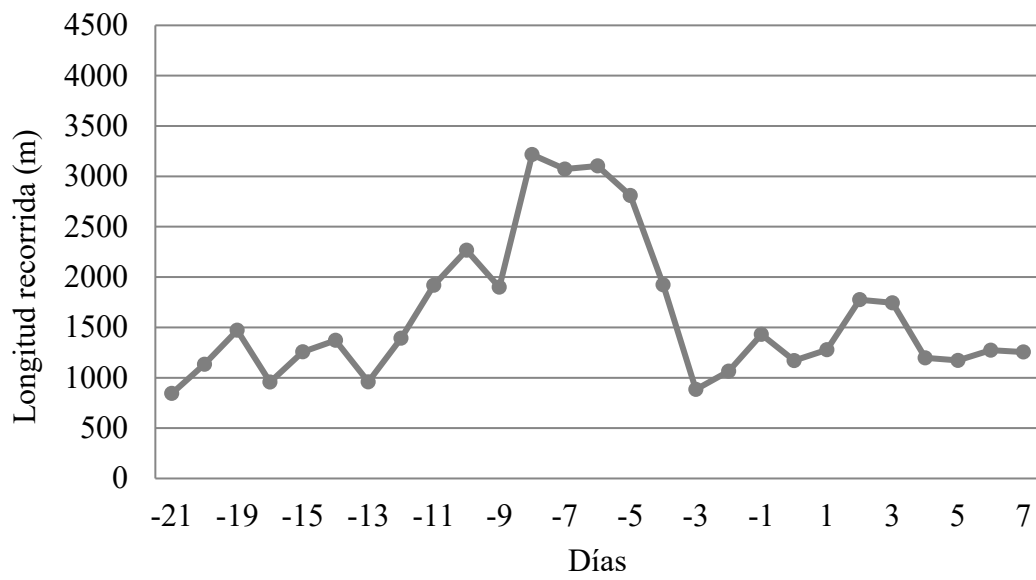


Figura 25. Longitud diaria total recorrida por el animal AH936 alrededor del parto.

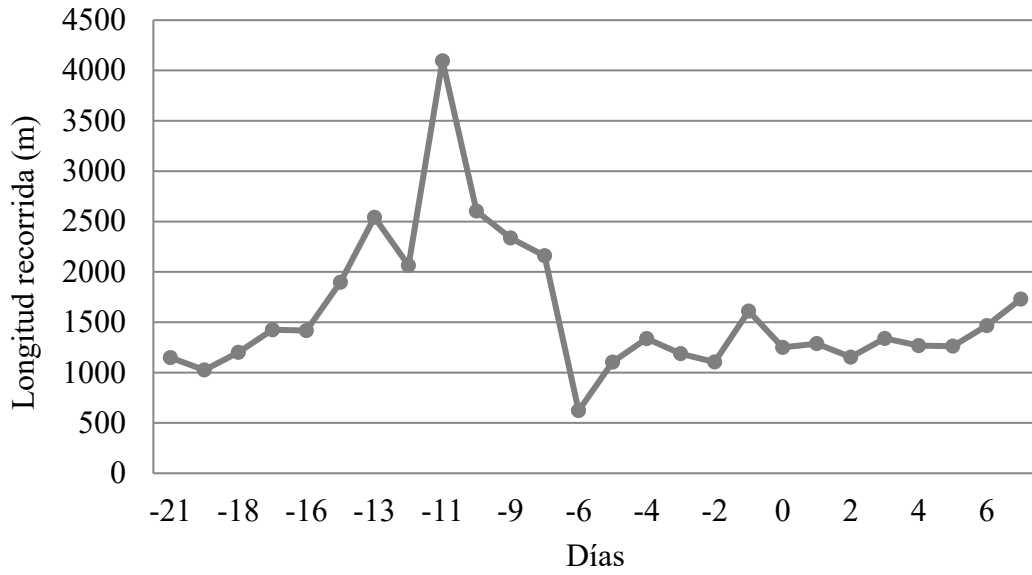


Figura 26. Longitud diaria total recorrida por el animal AH937 alrededor del parto.

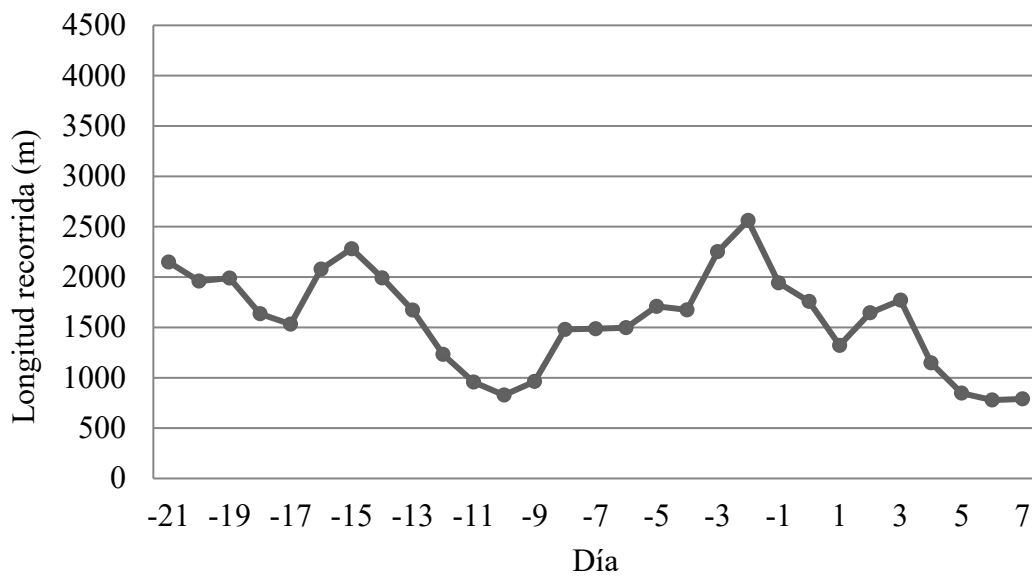


Figura 27. Longitud diaria total recorrida por el animal AH938 alrededor del parto.

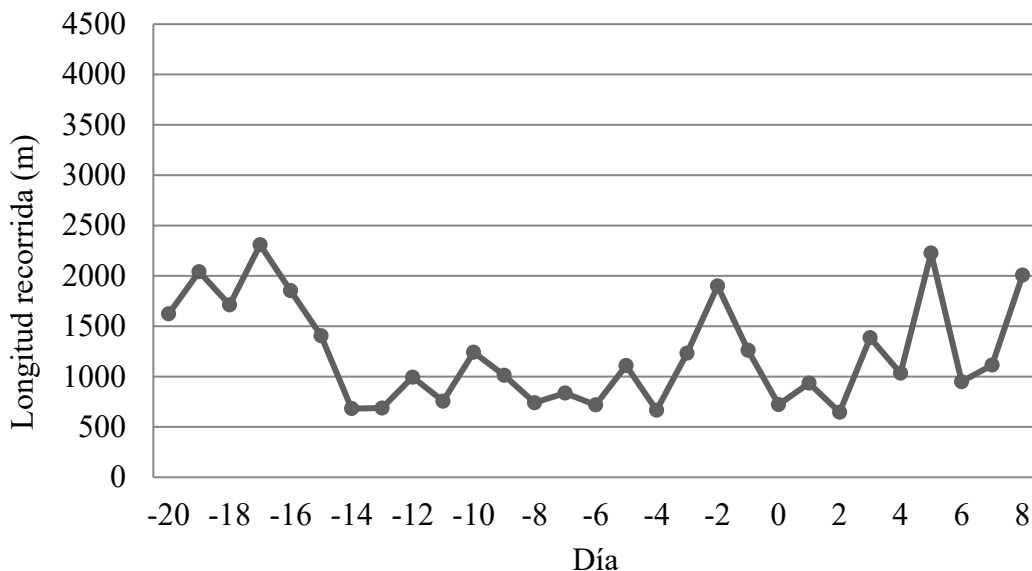


Figura 28. Longitud diaria total recorrida por el animal AH939 alrededor del parto.

En las figuras anteriores se observa la longitud recorrida por los animales antes durante y después del parto, se aprecia un comportamiento similar en los animales AH933 y AH935, estos dos animales fueron movidos a un corral de la unidad de ganado de carne alejadas de los demás animales como se observa en la Figura 20 y 24 respectivamente, este corral medía aproximadamente 18,500 m, medidas similares a los potreros donde estuvo la vacada completa, durante la estadía en este lugar los animales disminuyeron drásticamente la longitud recorrida, esto coincide justo con el tiempo del parto de los dos animales, en donde el día del parto recorren las menores distancias.

Existen diferentes variaciones en las gráficas debidas al manejo de los animales en los potreros, en el estudio los animales estaban bajo un sistema rotacional intensivo y eran cambiados constantemente de potrero de los cuales 12 tenían áreas similares, pero existían tres potreros en donde se manejaban mayores áreas, estos tres potreros están íntimamente ligados con los picos en donde los animales tienen mayores distancias recorridas.

En la Figura 22 se observa la ubicación del animal AH934 el día del parto. Este animal estuvo los días anteriores y el día del parto en los potreros de mayor tamaño y aun así se logra evidenciar que el animal recorre menores distancias el día del parto tal y como se demuestra en la Figura 21.



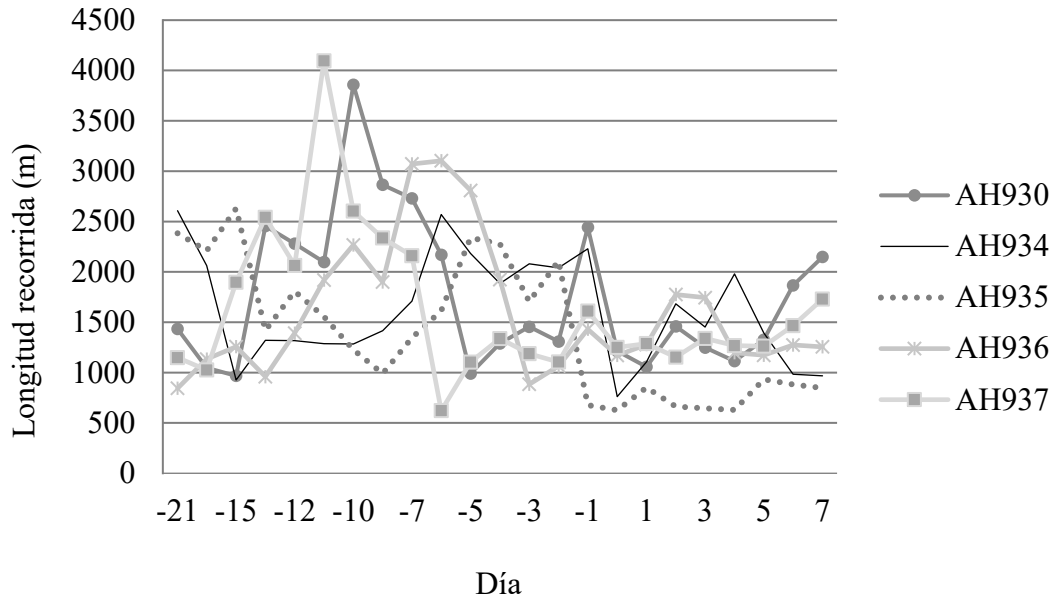


Figura 29. Longitud diaria total recorrida por los animales encastados alrededor del parto.

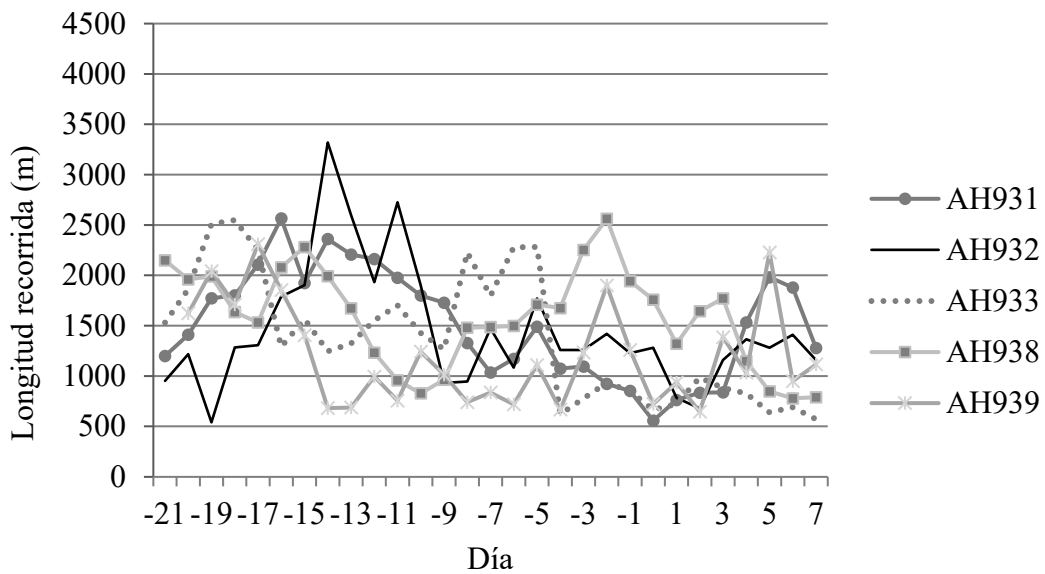


Figura 30. Longitud diaria total recorrida por los animales Brahman alrededor del parto.

Los animales encastados monitoreados tienen un comportamiento muy similar, el 100% de los animales tienen una disminución en la longitud recorrida el día del parto, el 40% está por debajo de 1,000 m y el 60% restante está debajo de los 1,500 m. Esta distancia se mantiene reducida el día del parto y el día posterior coincidiendo con lo dicho por Jensen (2012) donde menciona que horas antes al parto la longitud recorrida por los animales se reduce, también recalcan que las primeras horas posparto es cuando se da la mayor interacción vaca-becerro, en este tiempo los animales permanecen más tiempo acostados reduciendo su actividad.

De los animales Brahman monitoreados el 80% disminuyen su longitud el día del parto, el 60% está por debajo de los 1,000 metros, el 20% está por debajo de los 1,500 y el 20% restante superan los 1500 metros. El comportamiento el día después del parto es muy similar a los resultados obtenidos por Jensen (2012), donde la longitud de los animales posterior al parto es menor, ya que en este tiempo los animales permanecen más tiempo acostados reduciendo su actividad.

### Distancia de la trayectoria

En este apartado se observa la distancia de la trayectoria durante cuatro semanas, tres semanas antes del parto y una semana después del parto siendo cero el día en que ocurrió el parto.

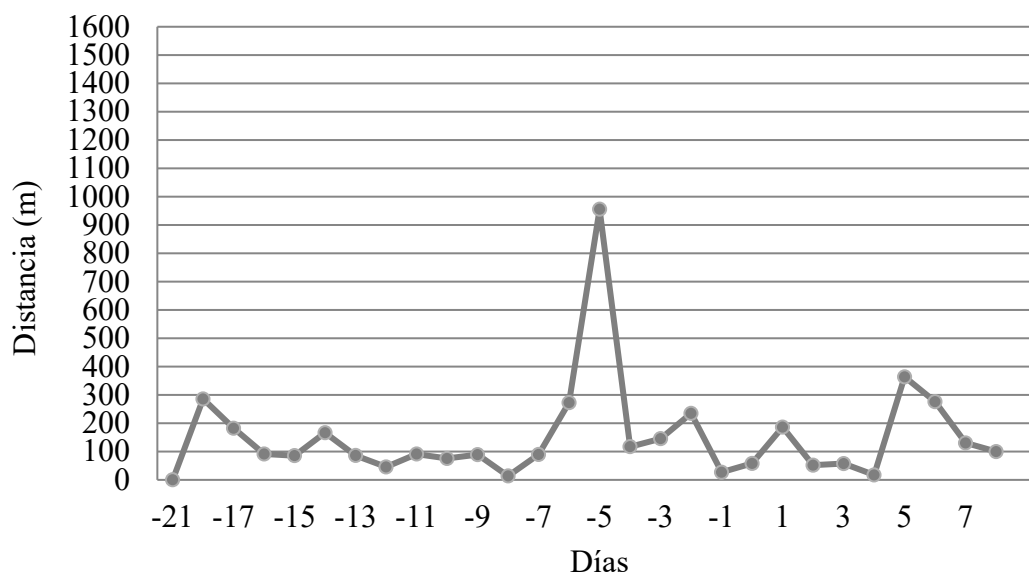


Figura 31. Distancia diaria recorrida por el animal AH930 alrededor del parto.



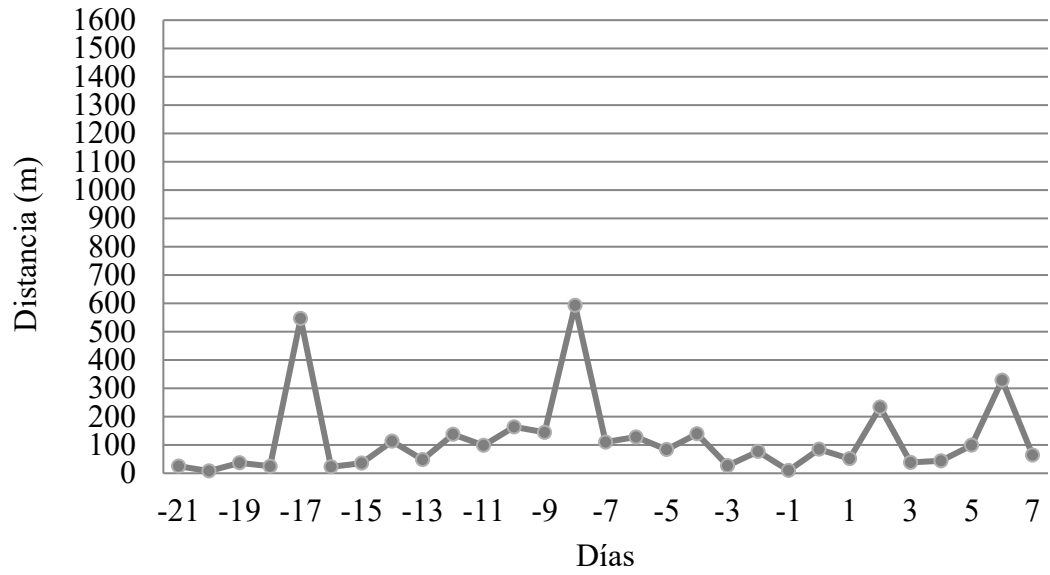


Figura 32. Distancia diaria recorrida por el animal AH931 alrededor del parto.

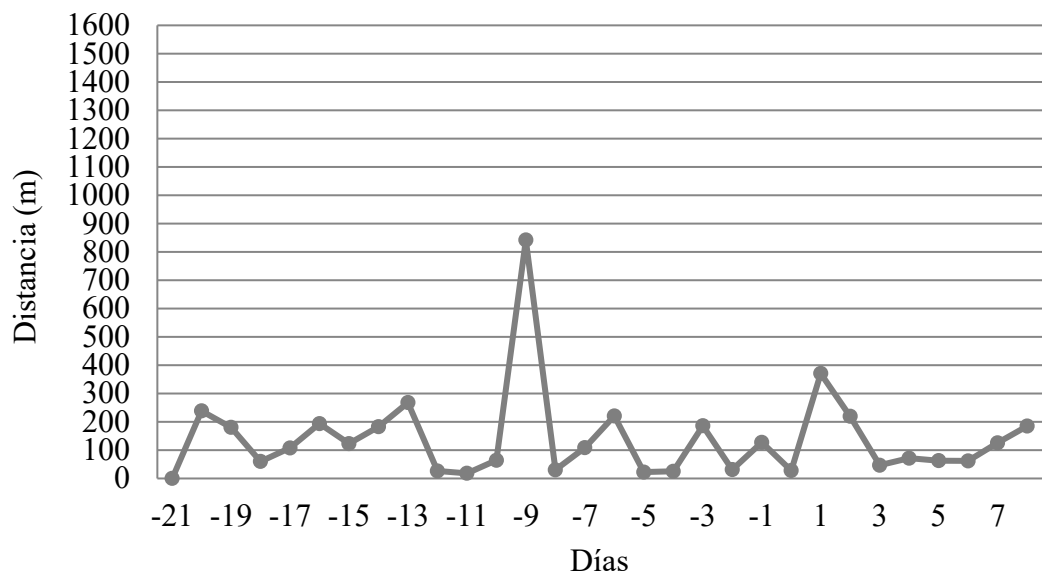


Figura 33. Distancia diaria recorrida por el animal AH932 alrededor del parto.

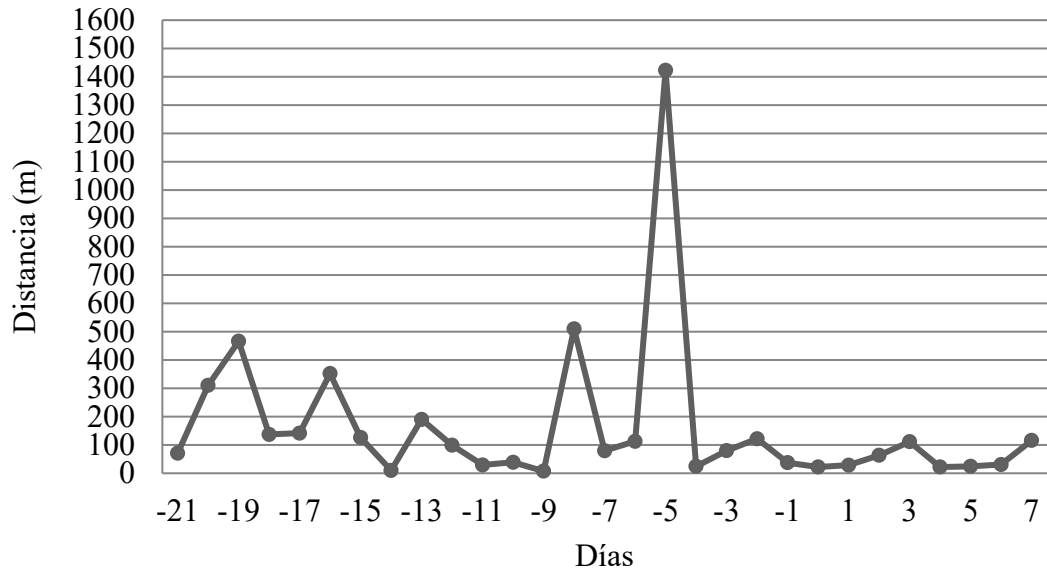


Figura 34. Distancia diaria recorrida por el animal AH933 alrededor del parto.

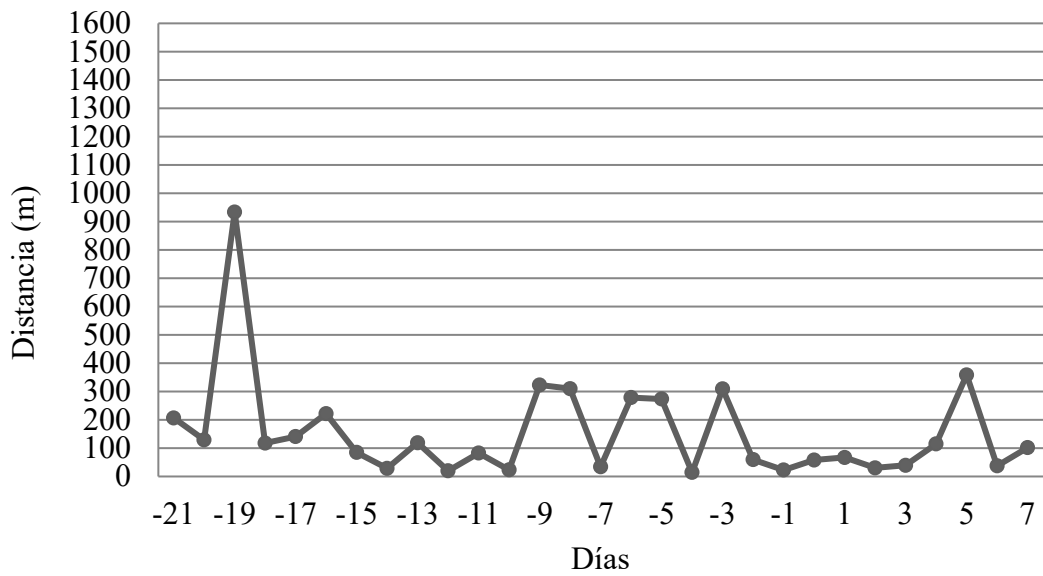


Figura 35. Distancia diaria recorrida por el animal AH934 alrededor del parto.

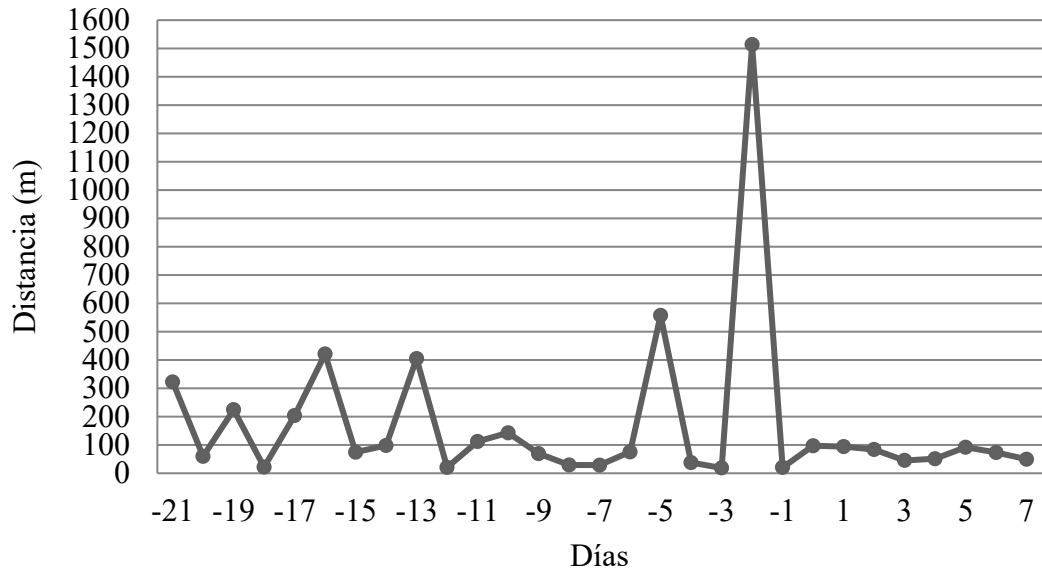


Figura 36. Distancia diaria recorrida por el animal AH935 alrededor del parto.

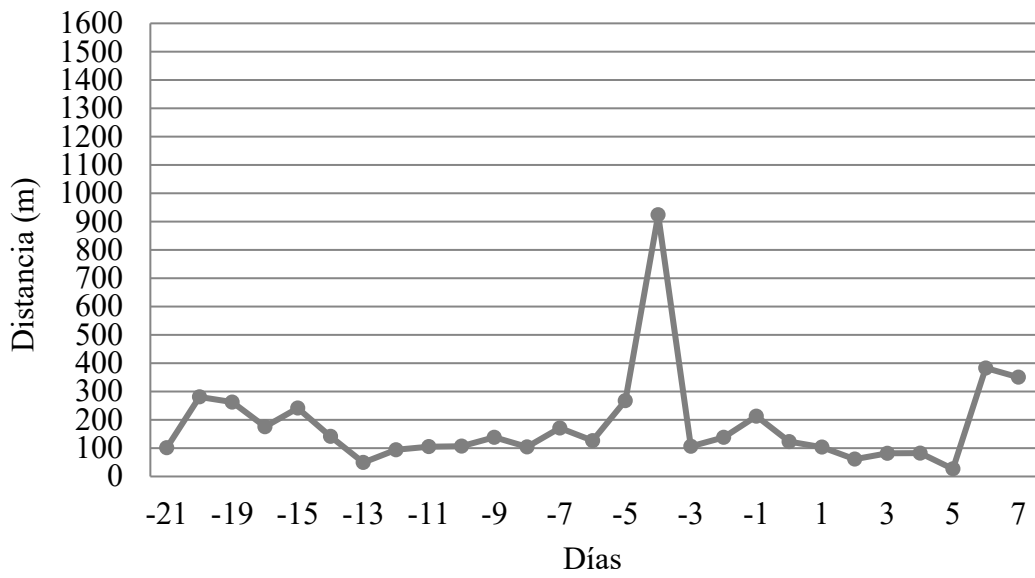


Figura 37. Distancia diaria recorrida por el animal AH936 alrededor del parto.

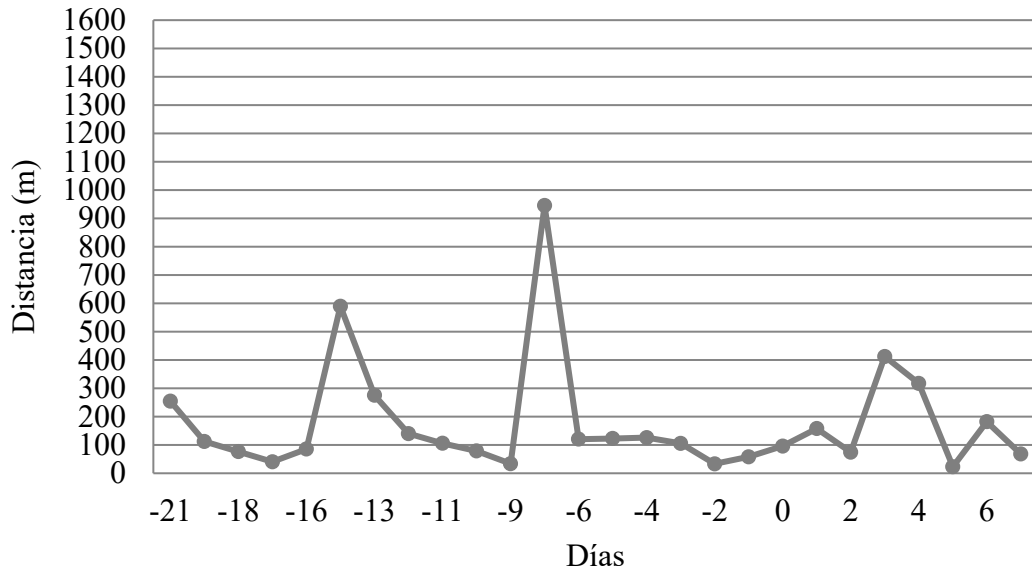


Figura 38. Distancia diaria recorrida por el animal AH937 alrededor del parto.

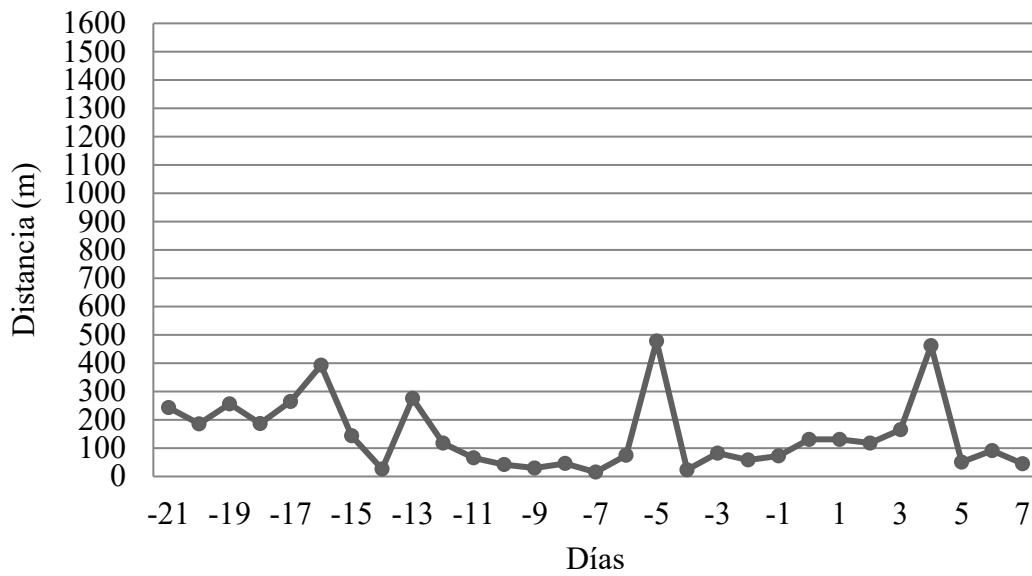


Figura 39. Distancia diaria recorrida por el animal AH938 alrededor del parto.

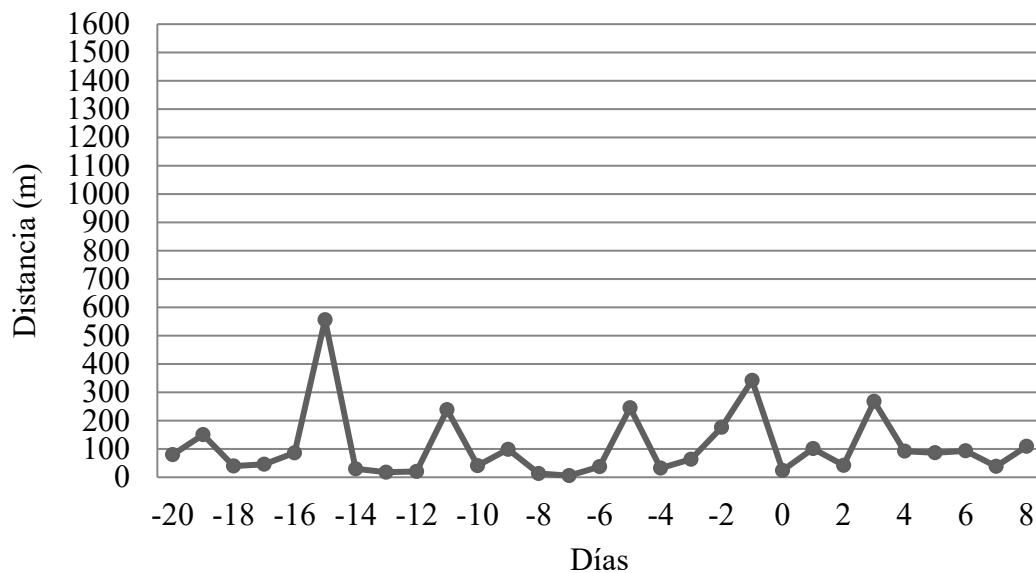


Figura 40. Distancia diaria recorrida por el animal AH939 alrededor del parto.

El comportamiento de los animales en la distancia recorrida fue muy similar, generalmente los animales terminan el día muy cerca de donde lo inician, esto debido al tamaño pequeño de los potreros y la homogeneidad del paisaje, antes del parto se presentan en todos los animales un pico pronunciado, pero esto es debido al movimiento de los animales a otros potreros, el día del parto y los días posteriores se observa que los animales recorren pequeñas distancias.

#### **“Straightness” o índice de rectitud de la trayectoria**

Como se ha mencionado anteriormente, el índice de rectitud de la trayectoria es un valor que va de cero a uno, siendo uno una línea recta. A continuación, se presentan los datos durante cuatro semanas, tres semanas antes del parto, una semana posterior al parto, el día cero indica el día del parto.

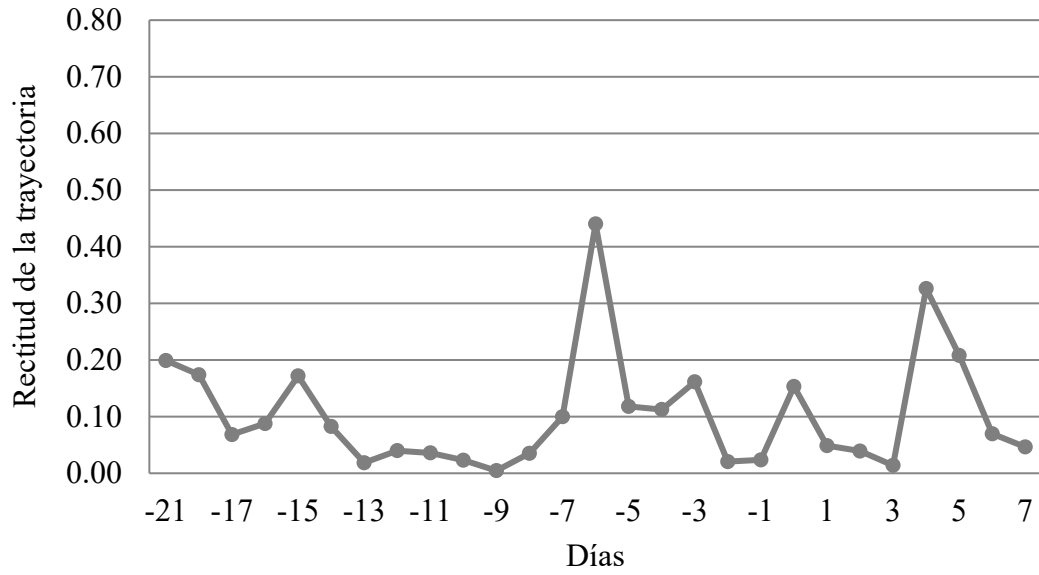


Figura 41. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH930 alrededor del parto.

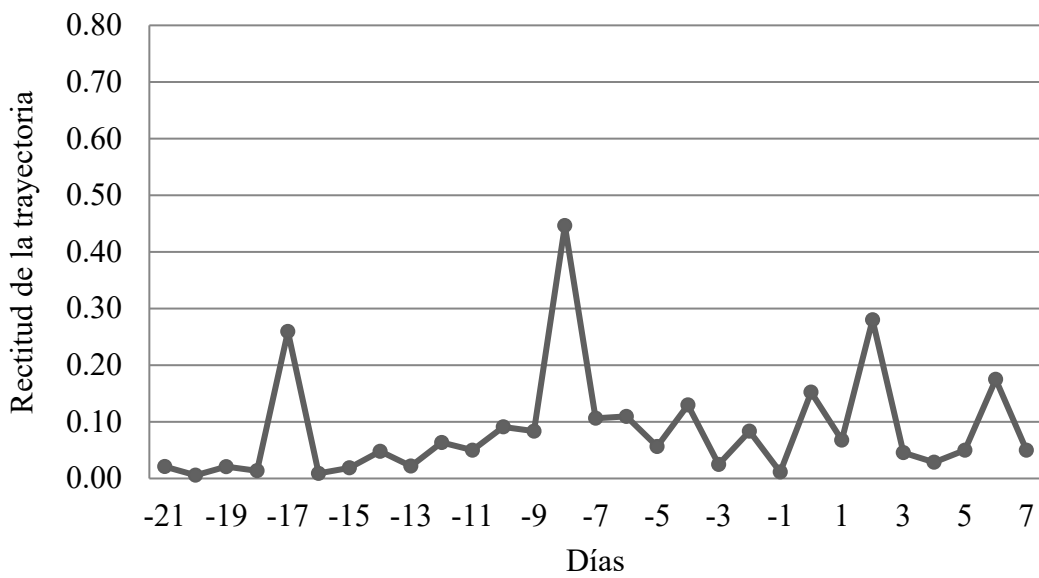


Figura 42. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH931 alrededor del parto.

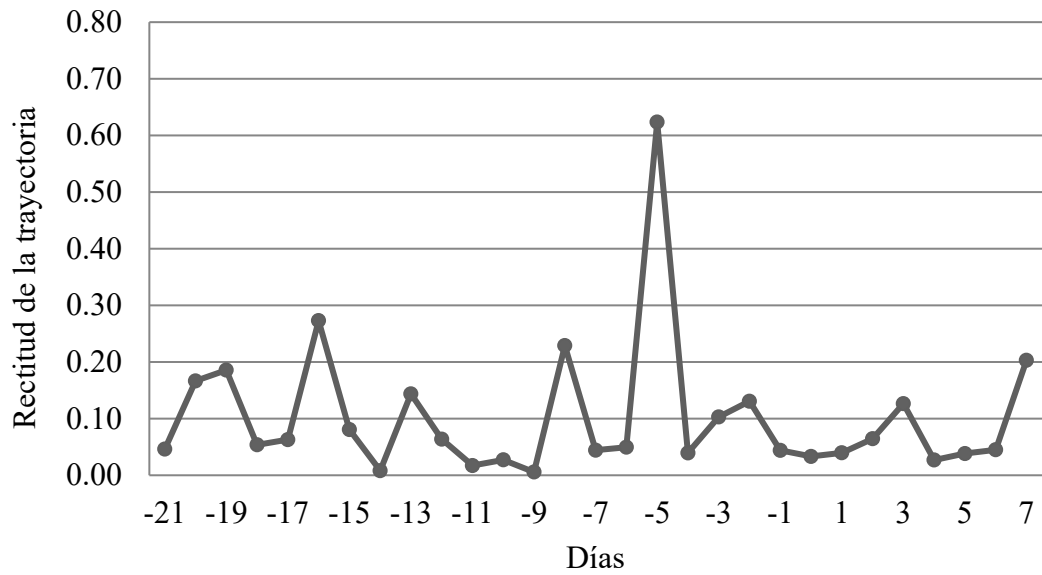


Figura 43. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH932 alrededor del parto.

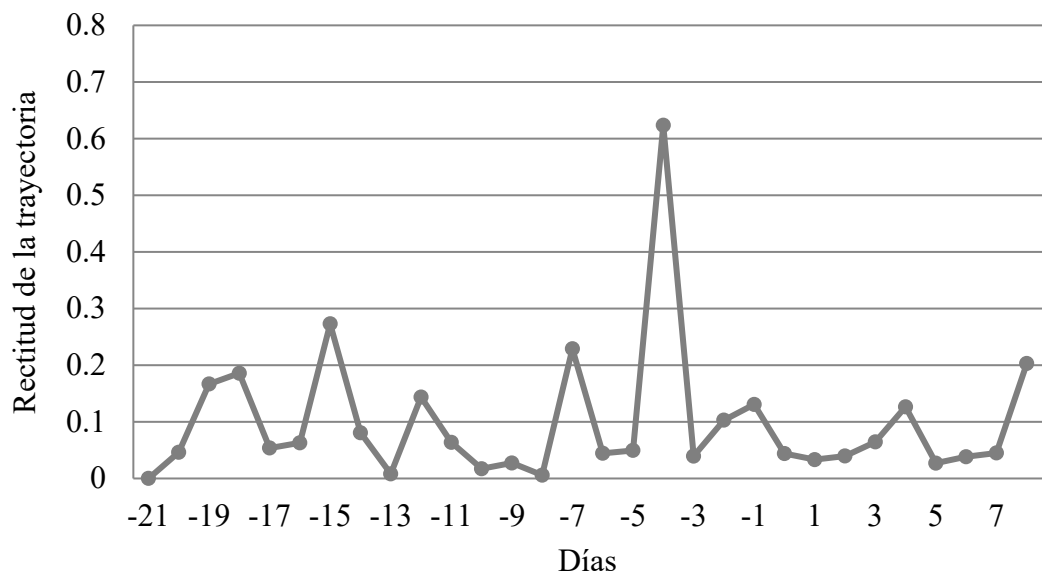


Figura 44. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH933 alrededor del parto.

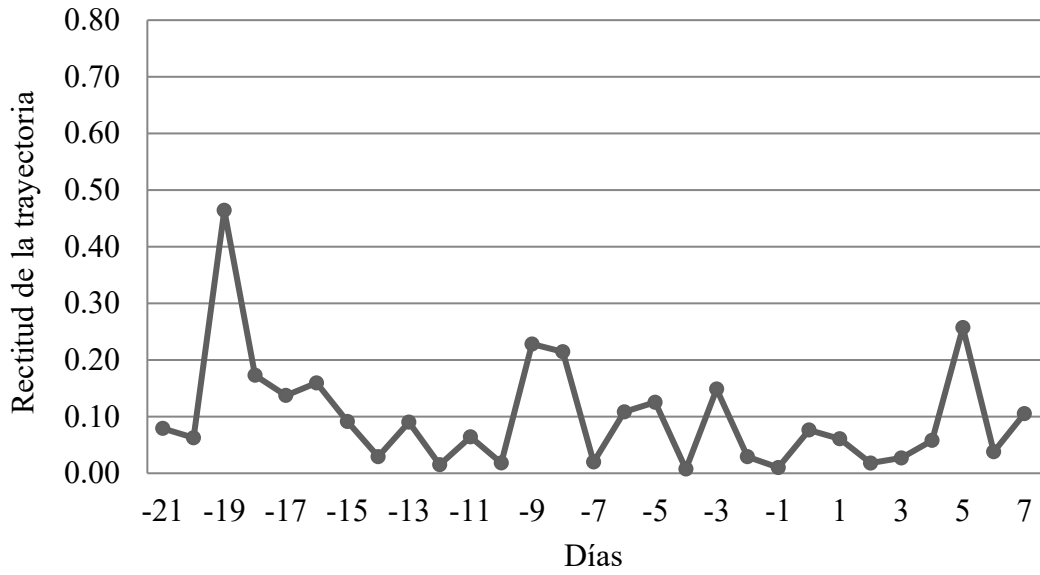


Figura 45. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH934 alrededor del parto.

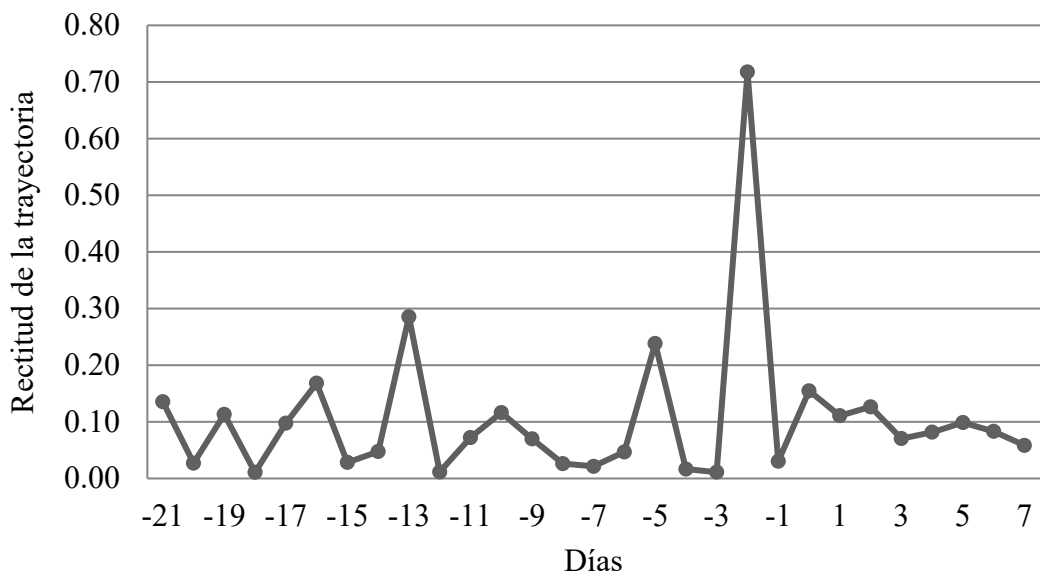


Figura 46. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH935 alrededor del parto.



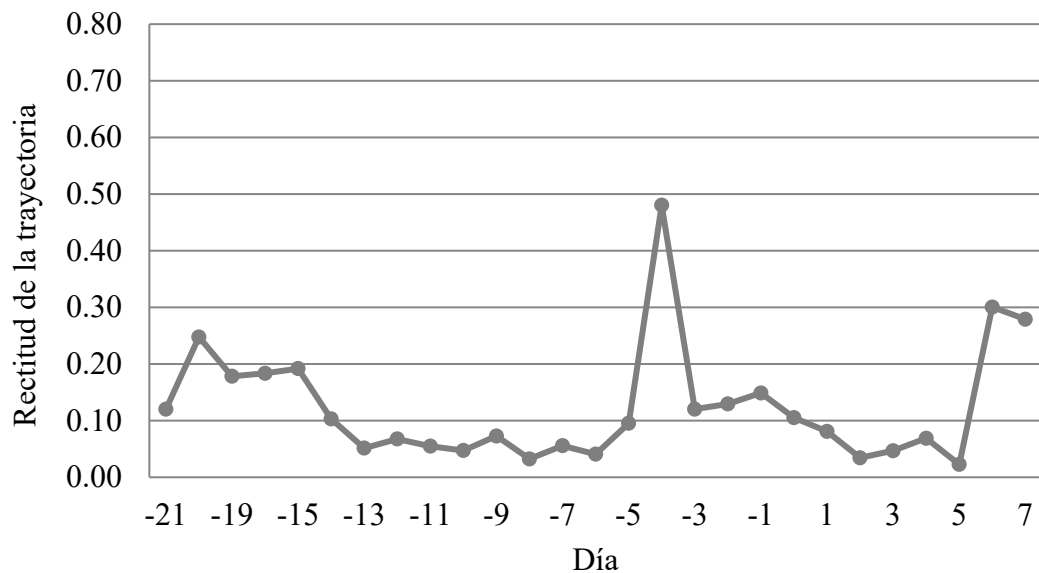


Figura 47. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH936 alrededor del parto.

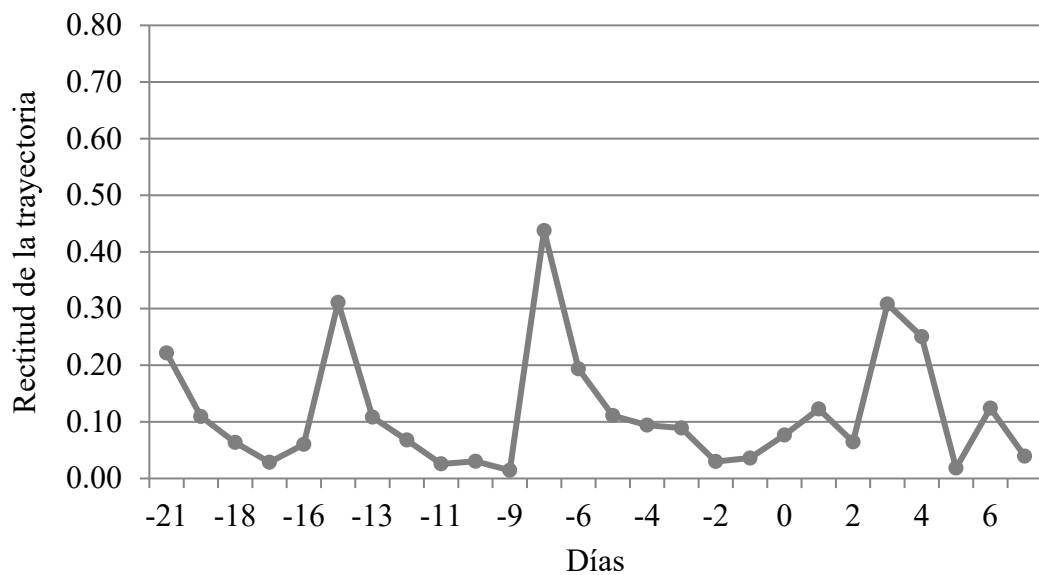


Figura 48. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH937 alrededor del parto.

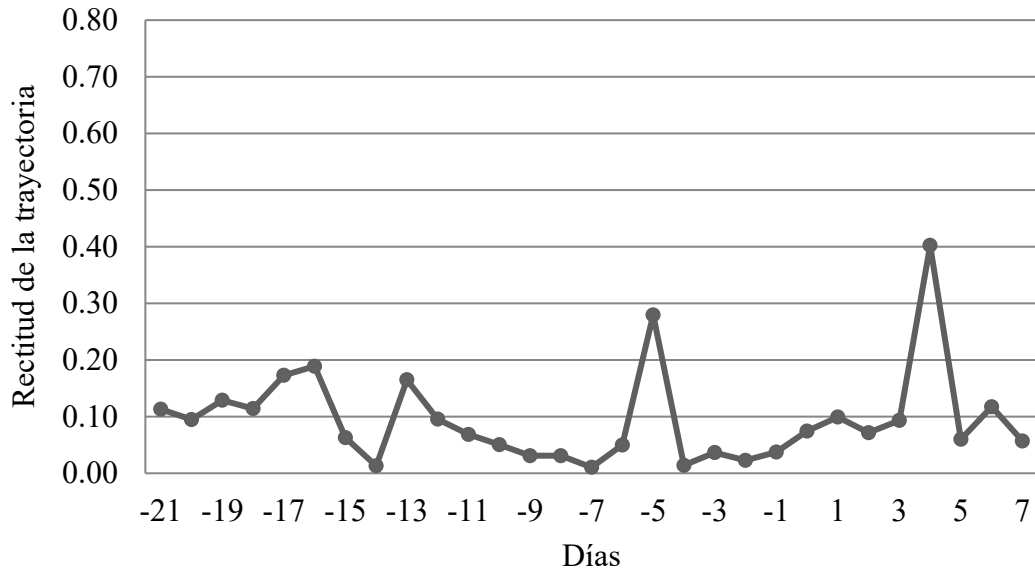


Figura 49. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH938 alrededor del parto.

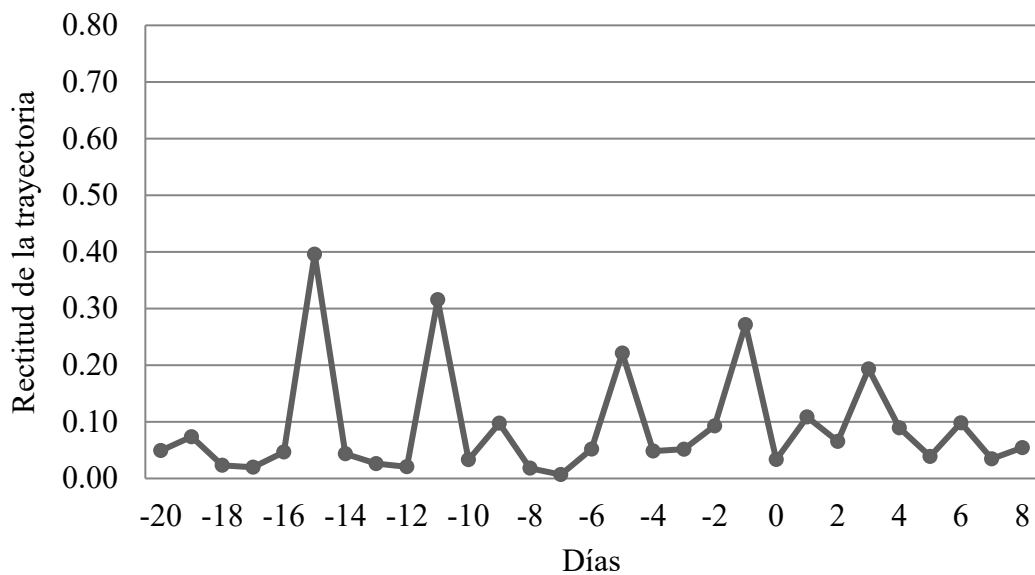


Figura 50. Rectitud diaria de la trayectoria del animal AH939 alrededor del parto.

En las figuras del índice de rectitud de la trayectoria de cada animal se observa que todos los animales tienen índices bajos, su trayectoria es bastante tortuosa, en todos los animales se observa un pico aproximadamente una semana antes del parto donde el índice de rectitud es igual o mayor a 0.5 este pico es debido al mismo manejo que se les da a los animales al cambiarlos de potrero.

### N25 y N50

Las siguientes figuras muestran la distancia de los 48 pasos de los registros de los animales, N25 significa el número de paso del día que está por encima de 25 metros y N50 es el número de pasos que está por encima de 50 metros, entendiéndose que cada paso es el valor capturado por el collar cada media hora. A continuación, se presentan los datos durante cuatro semanas, tres semanas antes del parto, una semana posterior al parto, el día cero indica el día del parto.

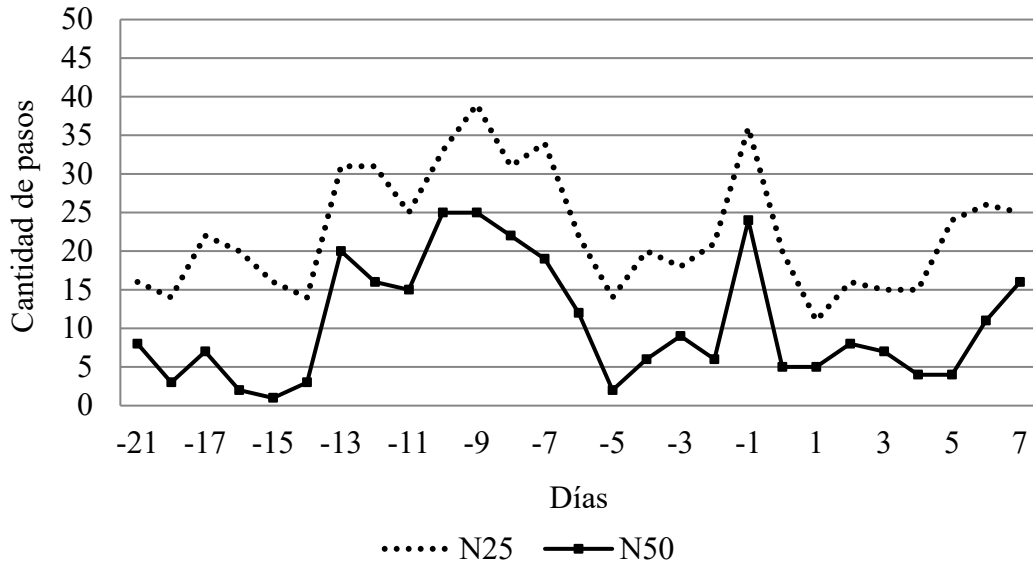


Figura 51. Cantidad de pasos diarios del animal AH930 arriba de 25 y 50 metros.

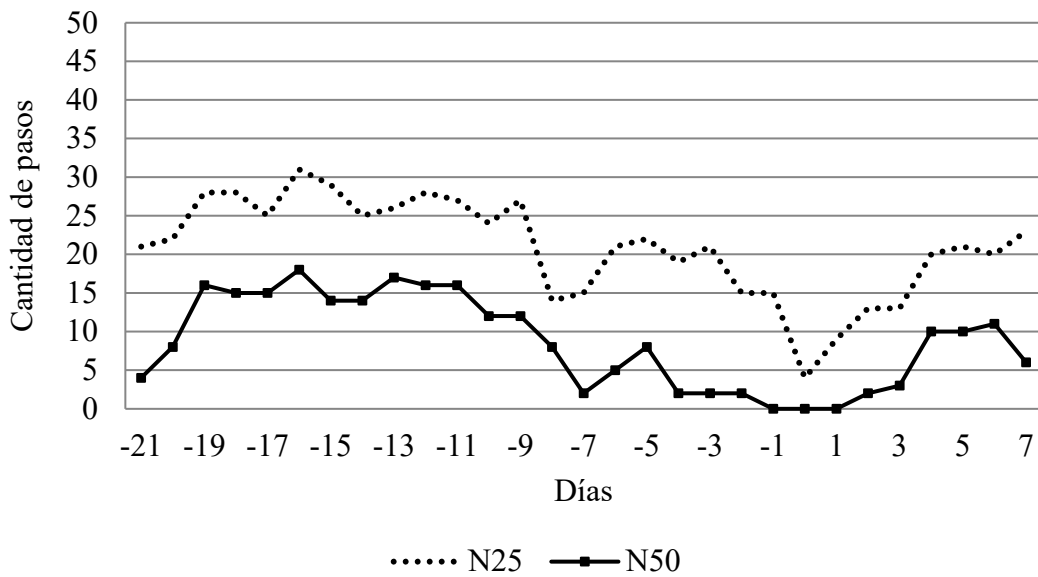


Figura 52. Cantidad de pasos diarios del animal AH931 arriba de 25 y 50 metros.

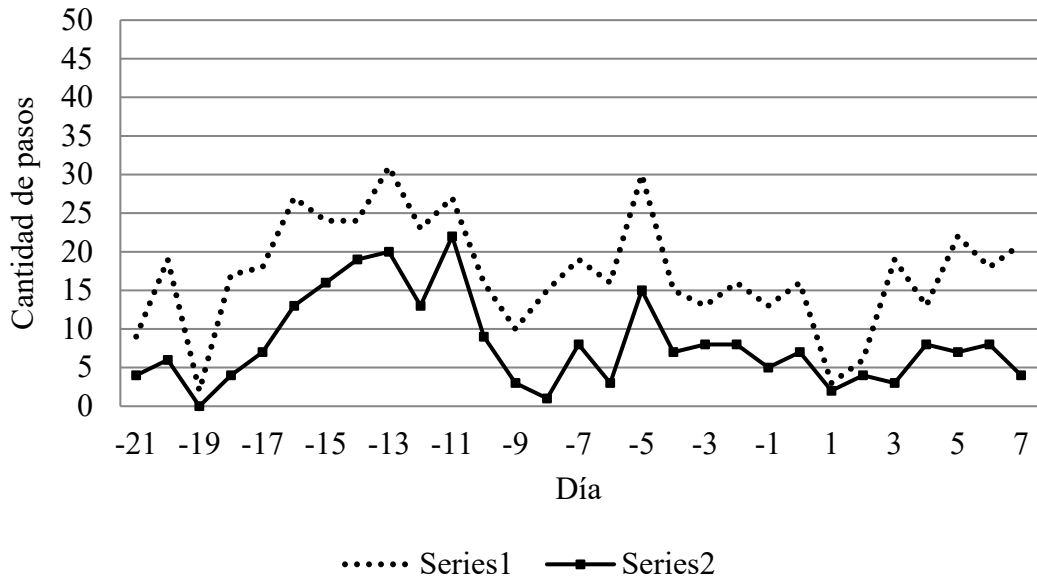


Figura 53. Cantidad de pasos diarios del animal AH932 arriba de 25 y 50 metros.

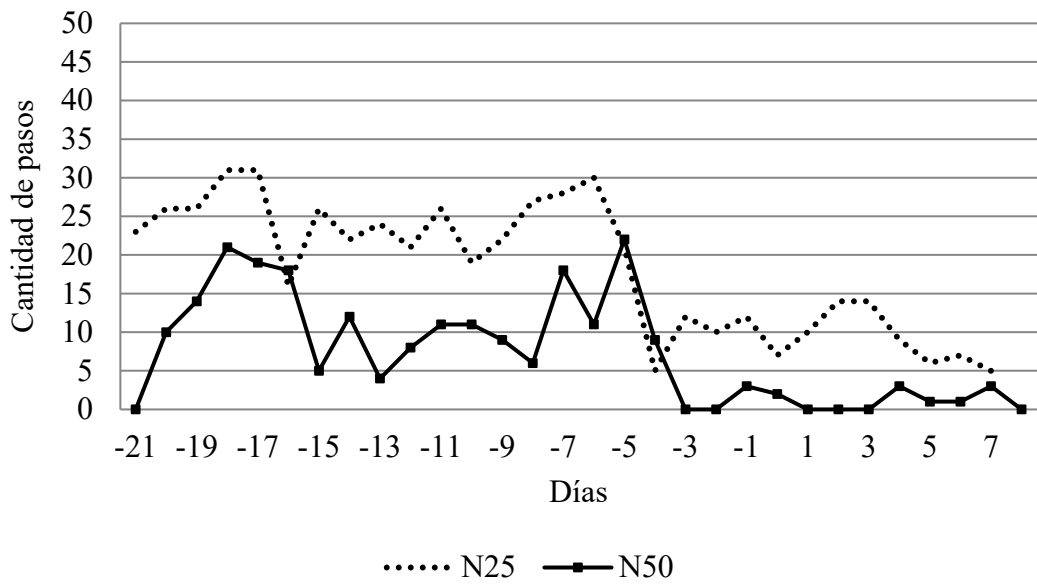


Figura 54. Cantidad de pasos diarios del animal AH933 arriba de 25 y 50 metros.

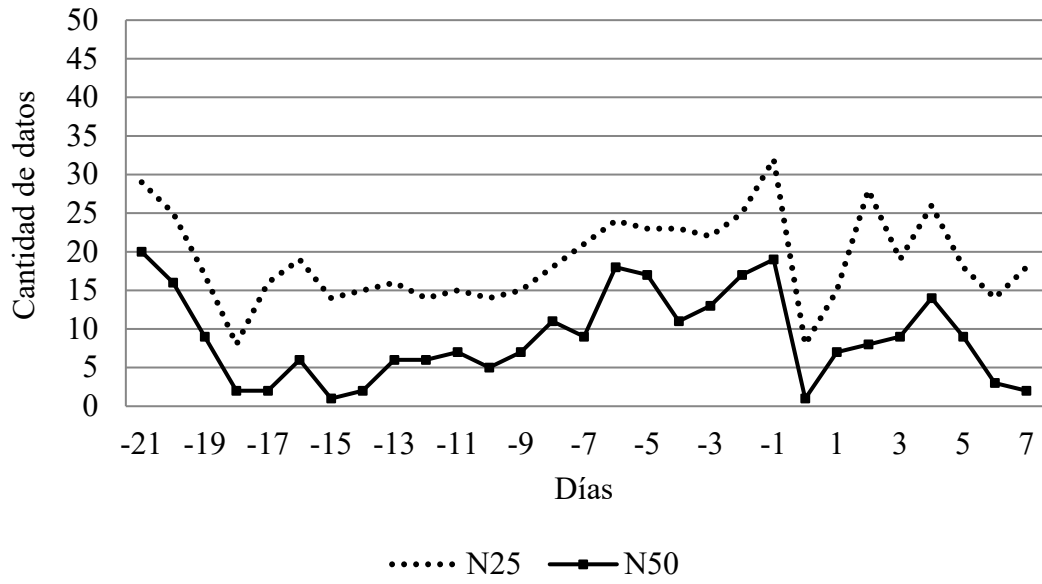


Figura 55. Cantidad de pasos diarios del animal AH934 arriba de 25 y 50 metros.

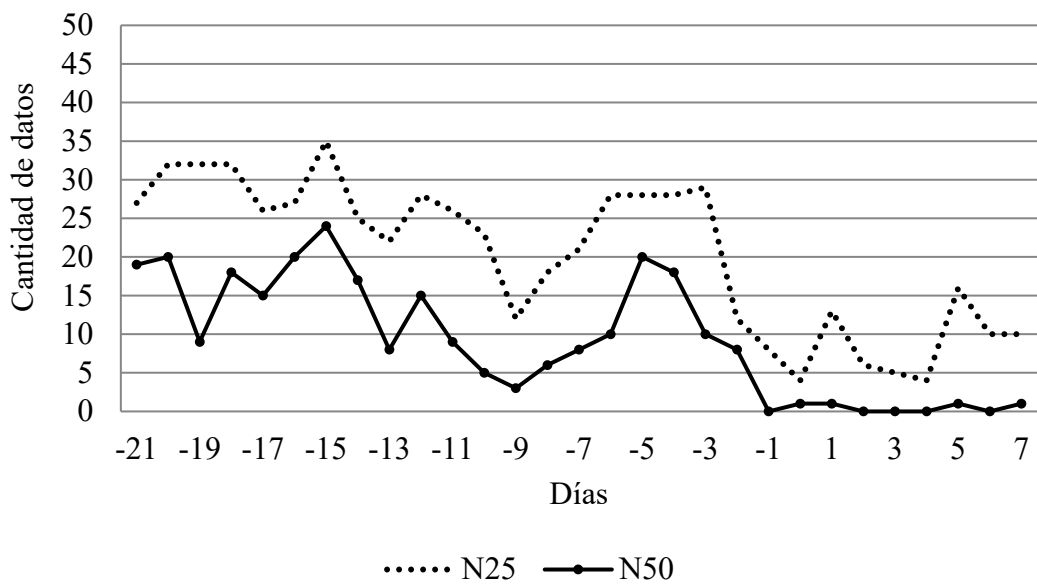


Figura 56. Cantidad de pasos diarios del animal AH935 arriba de 25 y 50 metros.

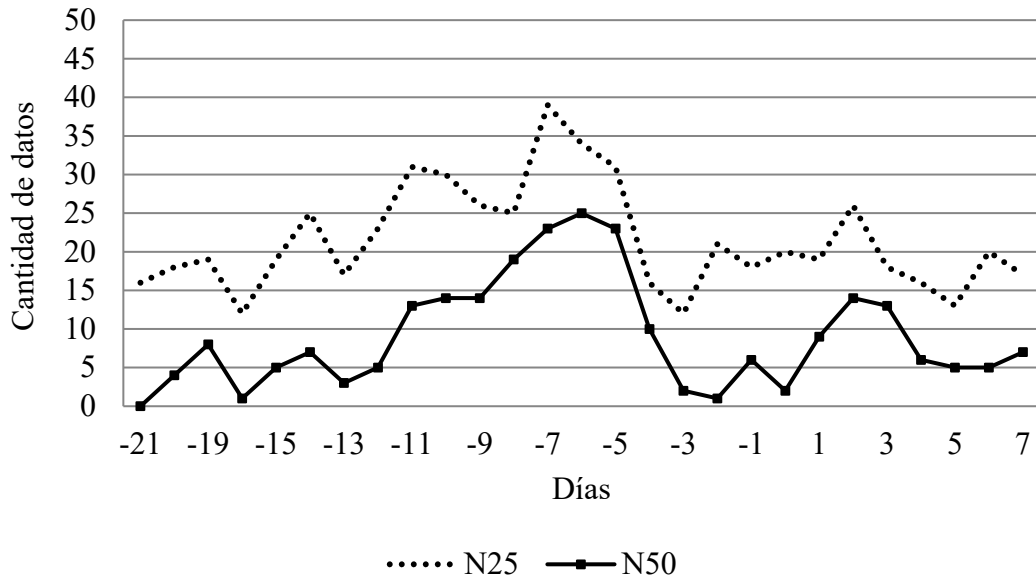


Figura 57. Cantidad de pasos diarios del animal AH936 arriba de 25 y 50 metros.

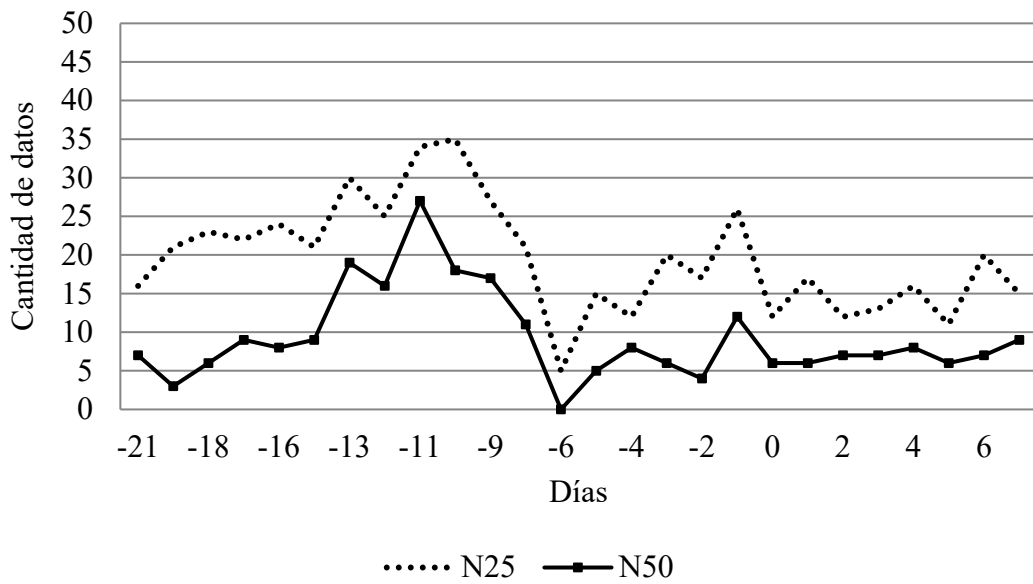


Figura 58. Cantidad de pasos diarios del animal AH937 arriba de 25 y 50 metros.

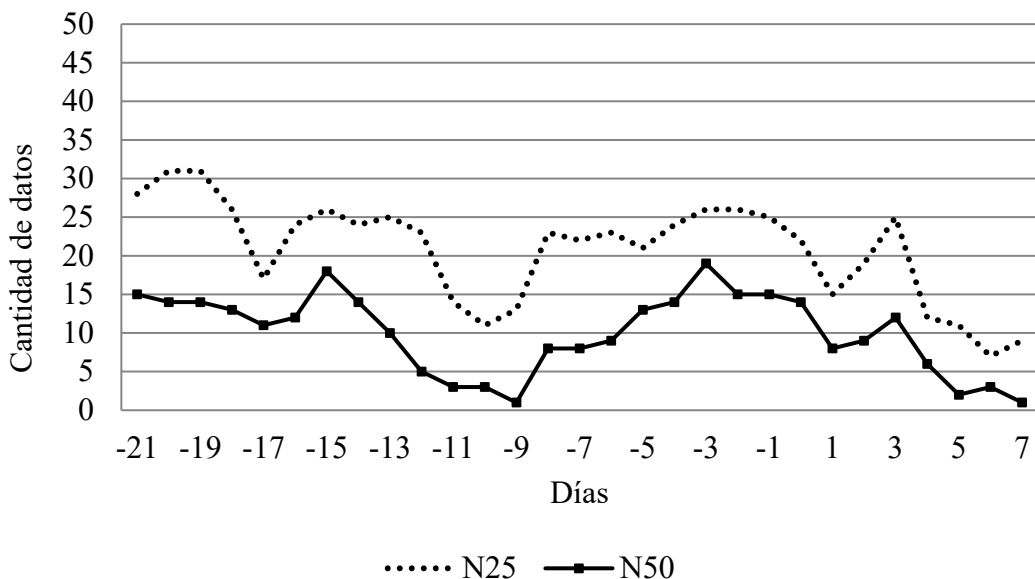


Figura 59. Cantidad de pasos diarios del animal AH938 arriba de 25 y 50 metros.

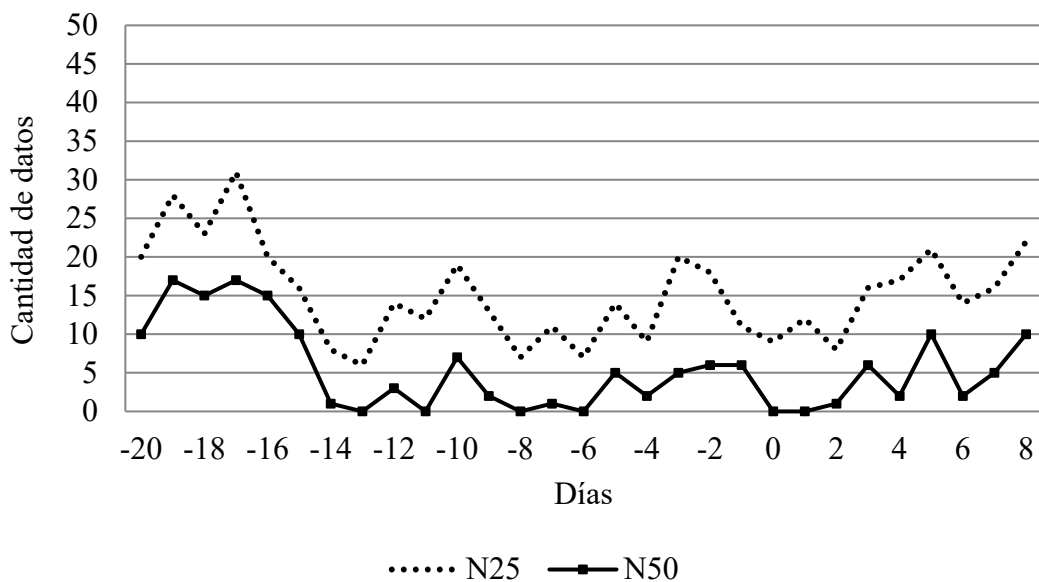


Figura 60. Cantidad de pasos diarios del animal AH939 arriba de 25 y 50 metros.

En todos los animales se observa que los registros de N25 son mayores que N50, esto se refleja mayormente el día del parto donde la mayor cantidad de pasos están entre 25 y menos de 25 metros, la cantidad de N50 es casi nula durante esos días.

Este es un factor que está estrechamente ligado con la longitud recorrida por el animal, los animales que presentan mayores longitudes son aquellos donde existe mayor cantidad de pasos mayores a 50 metros. Esto varía en los días del parto, generalmente el día del parto los registros de N50 son

mínimos, se puede observar que aquellos animales que la longitud de la trayectoria es casi igual que un día normal los pasos van a ser menores de 25 o de 50 metros.

### Mínimo polígono convexo (MPC)

A continuación, se presentan los datos sobre el rango de hogar de los animales usando el mínimo polígono convexo durante cuatro semanas, tres semanas antes del parto, una semana posterior al parto, el día cero indica el día del parto.

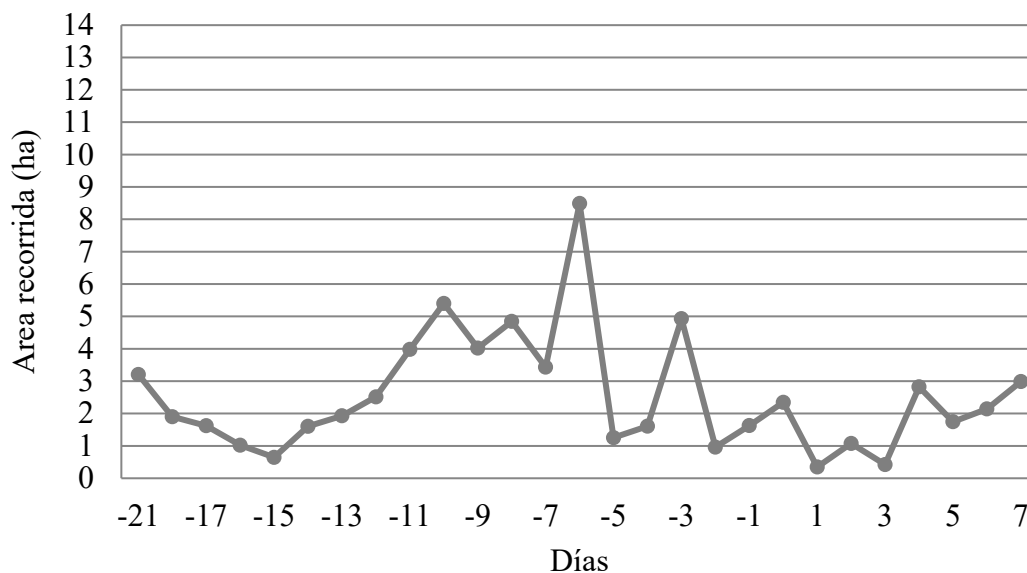


Figura 61. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH930 expresado en ha.



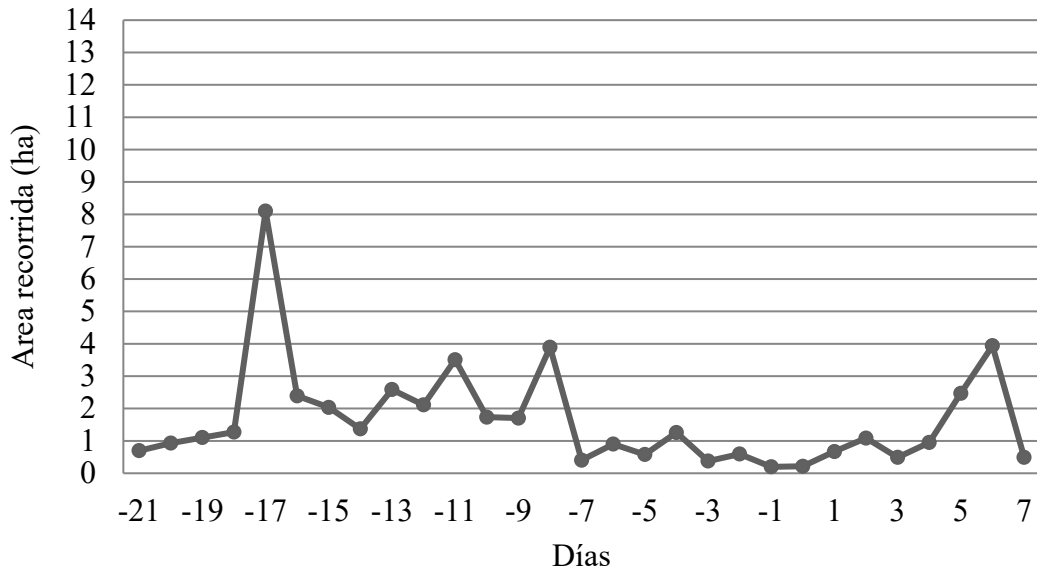


Figura 62. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH931 expresado en ha.

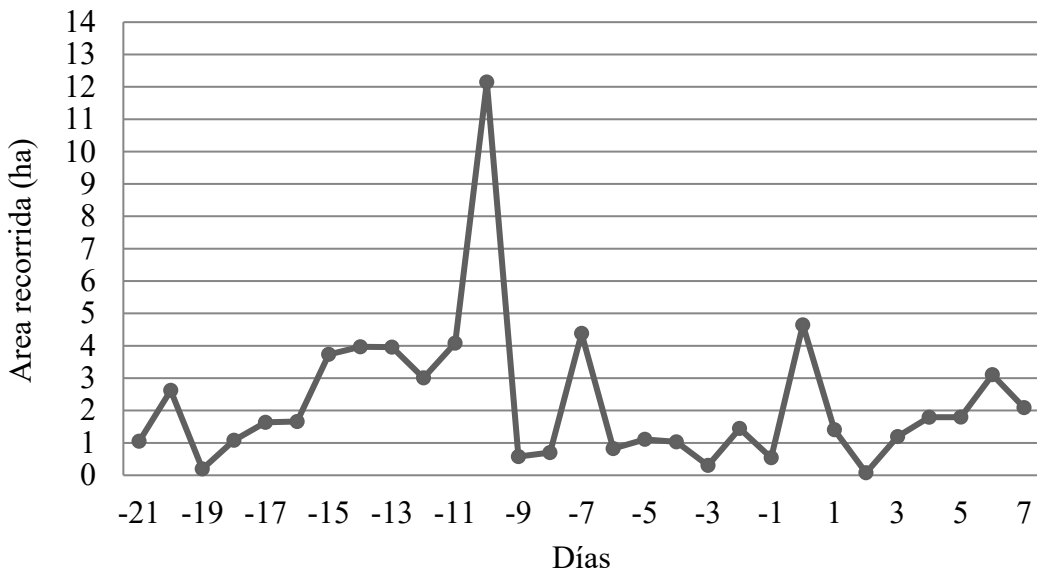


Figura 63. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH932 expresado en ha.

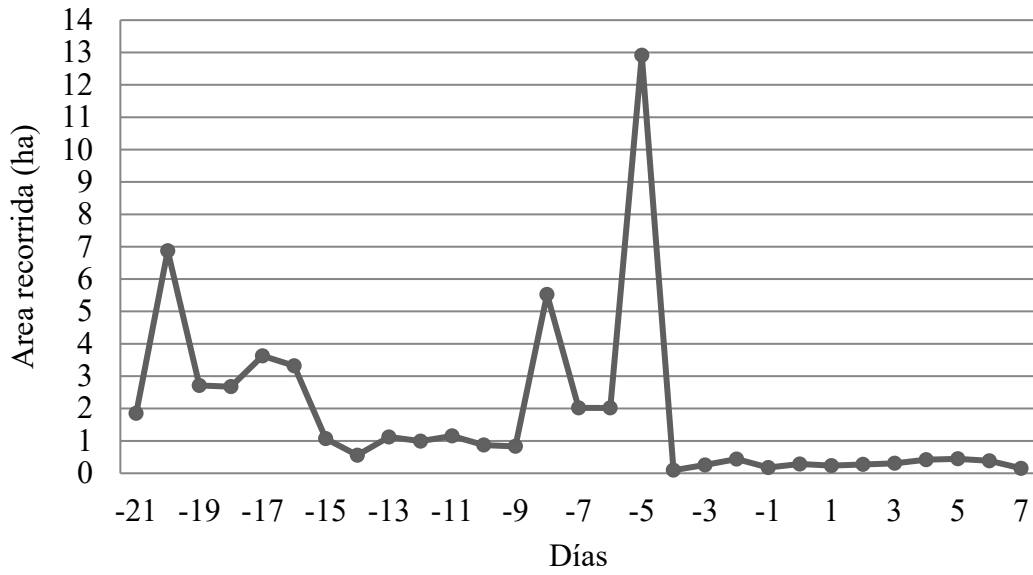


Figura 64. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH933 expresado en ha.

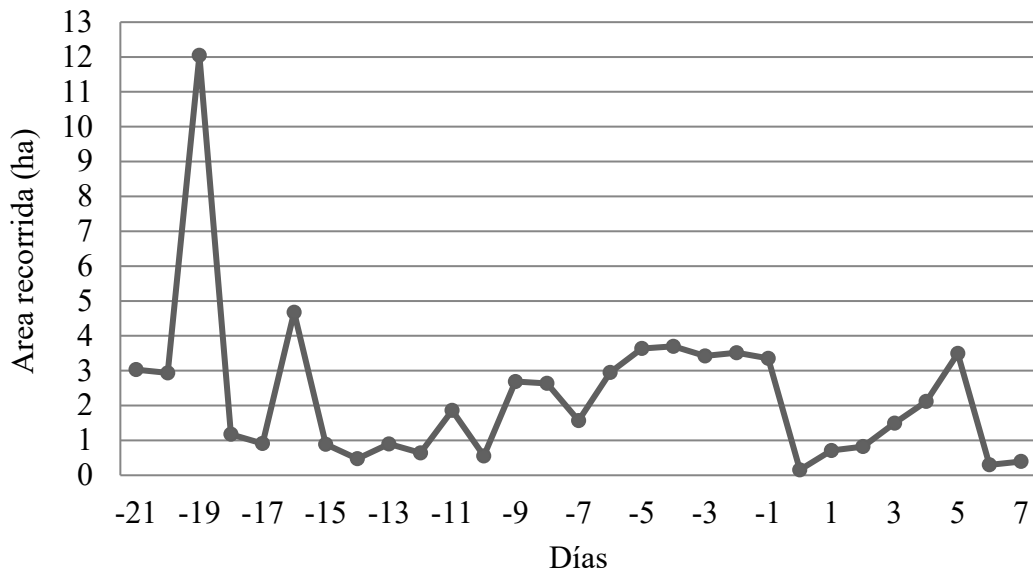


Figura 65. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH934 expresado en ha.

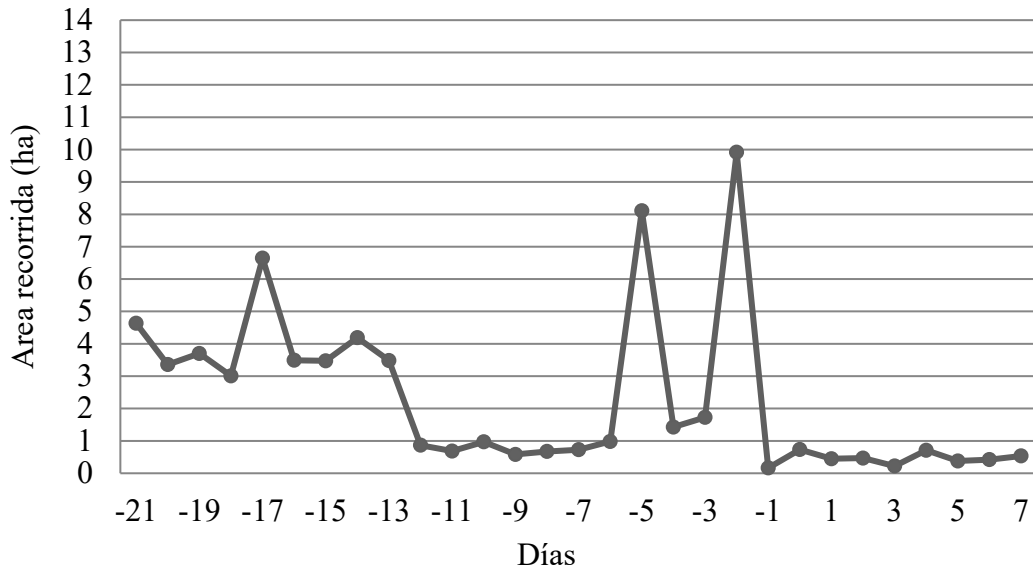


Figura 66. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH935 expresado en ha.

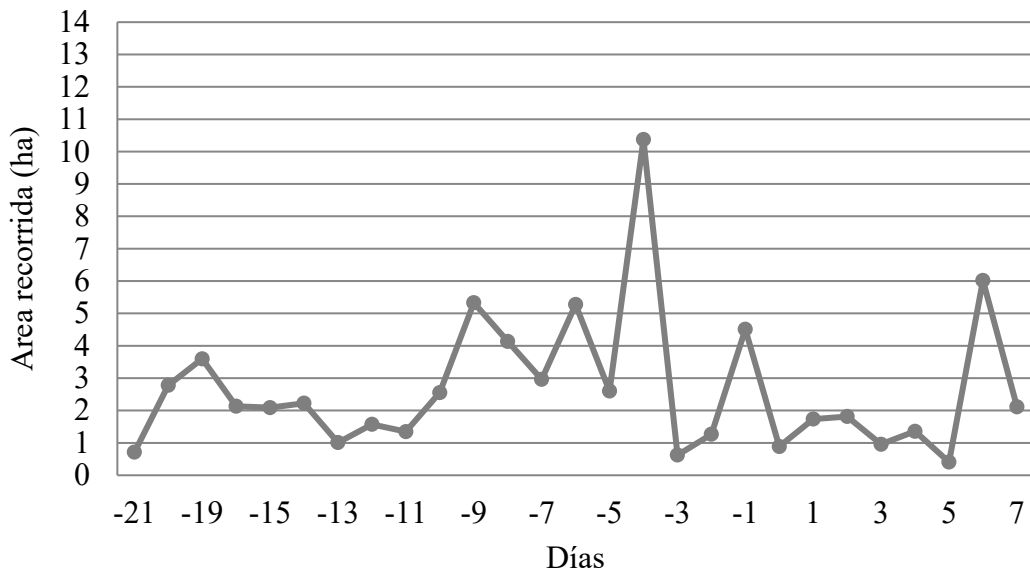


Figura 67. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH936 expresado en ha.

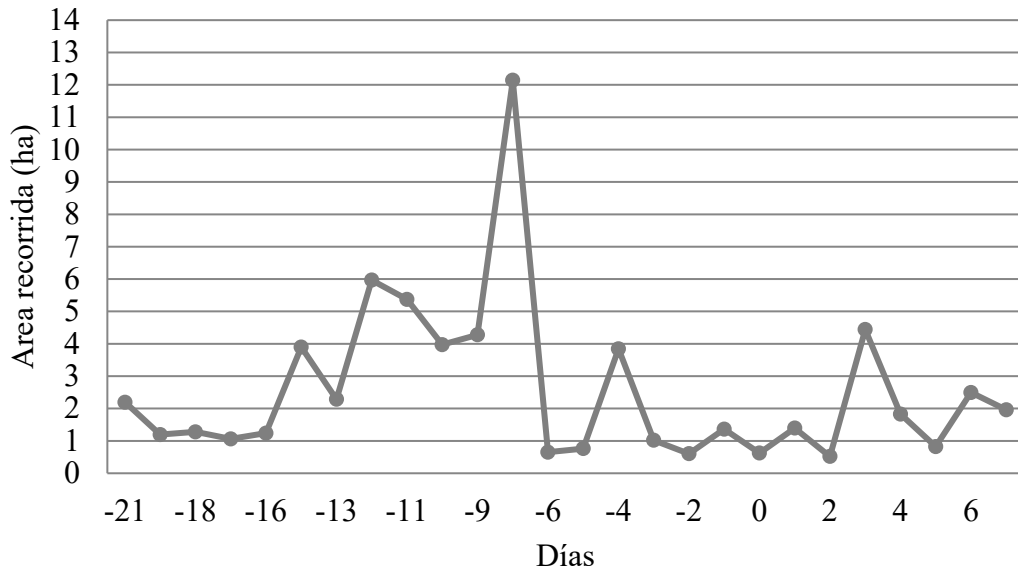


Figura 68. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH937 expresado en ha.

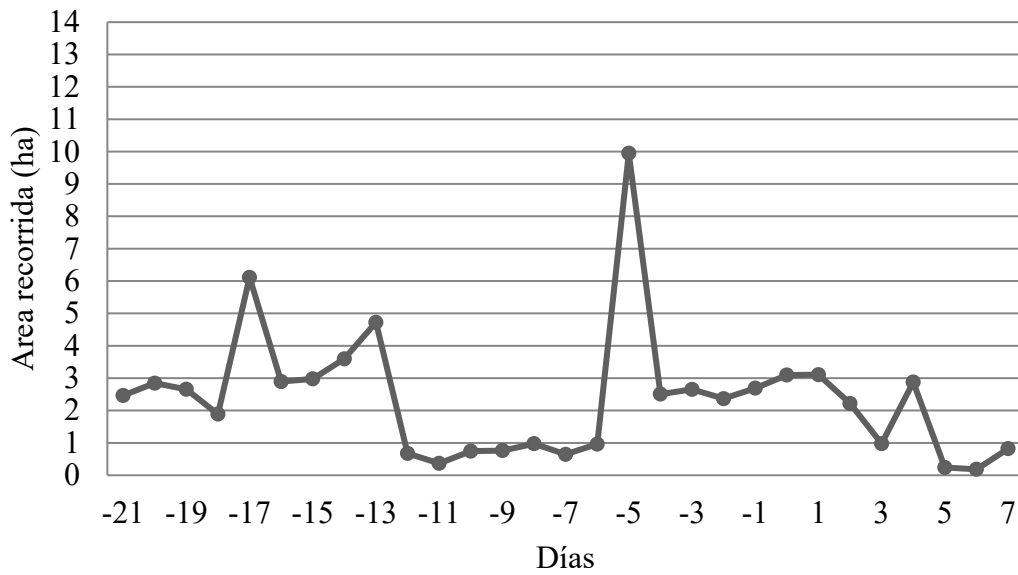


Figura 69. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH938 expresado en ha.

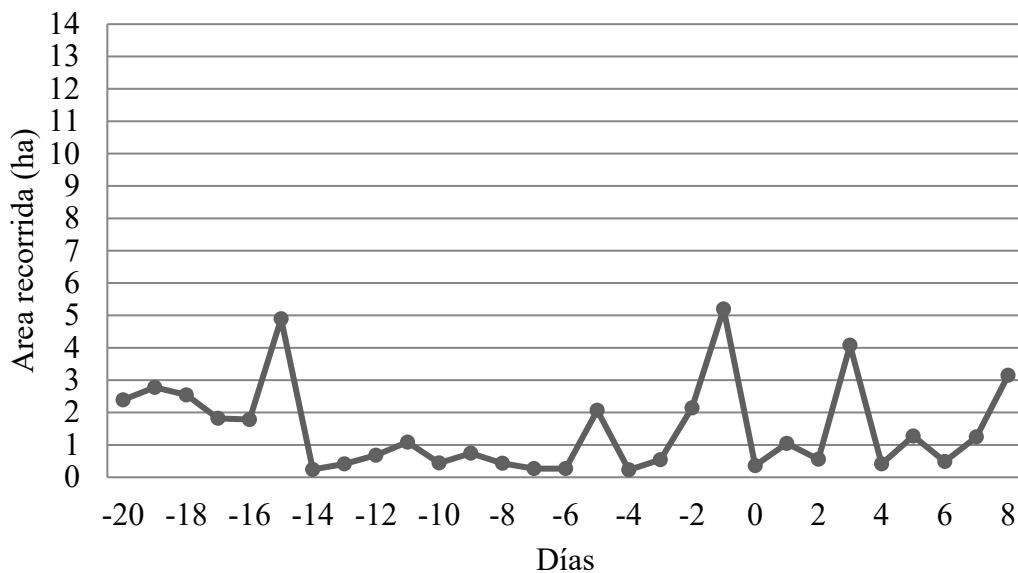


Figura 70. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo del animal AH939 expresado en ha.

Las figuras del rango de hogar de los animales usando el mínimo polígono convexo tuvo un comportamiento muy variable durante todo el periodo de registro, En el 30% de los animales se observa una diferencia puntual el día del parto en donde la cantidad de área recorrida es menor a los otros días de registro, esto ocurrió en el animal AH934 y en los animales AH933 y AH935, los dos últimos animales estuvieron alejados del rebaño en un potrero de la unidad, pero con áreas similares.

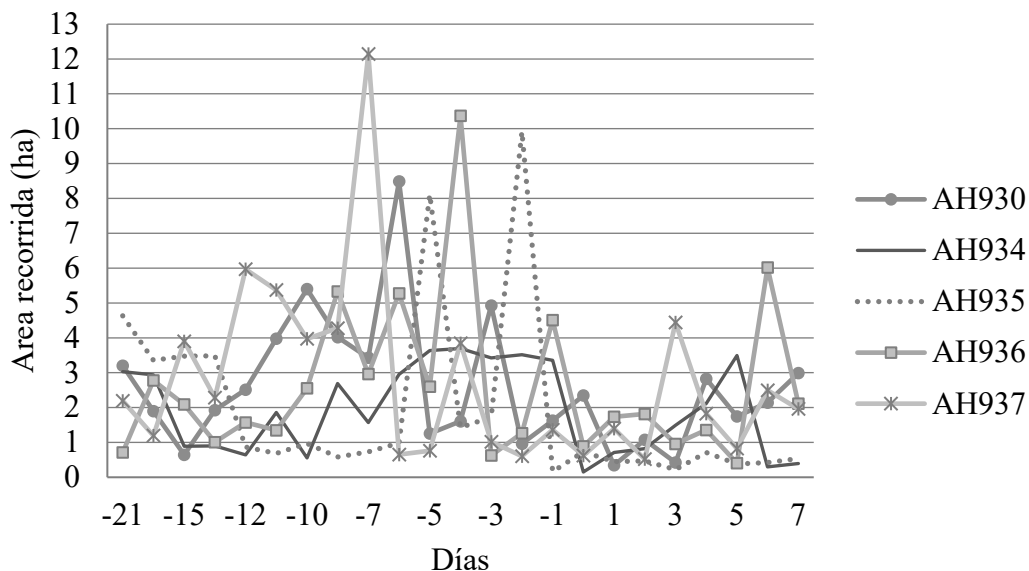


Figura 71. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo de los animales encastados expresado en ha.

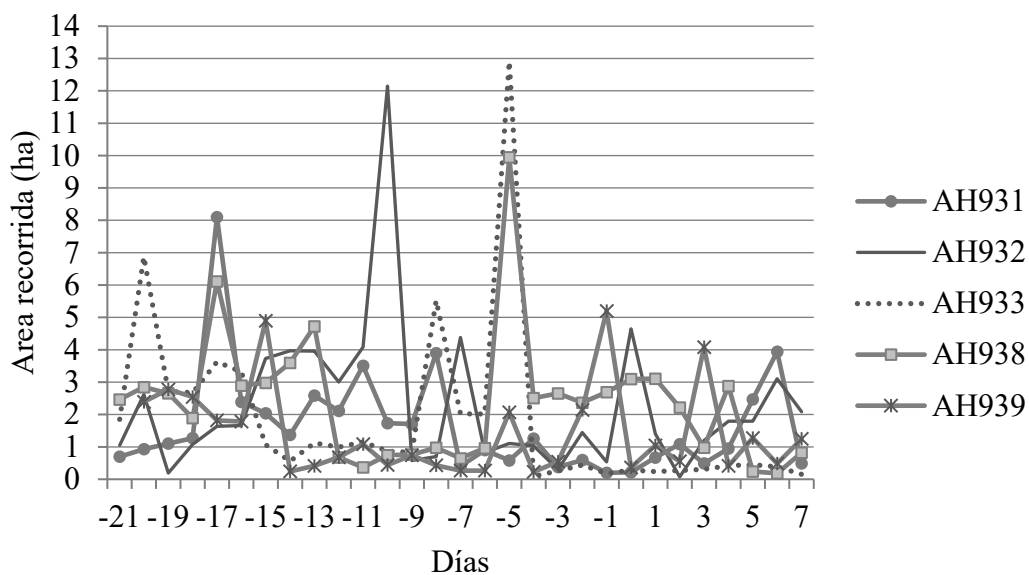


Figura 72. Rango de hogar diario usando el mínimo polígono convexo de los animales Brahman expresado en ha.

El rango de hogar de los animales encastados reduce en el 80% el día del parto, recorriendo la menor área durante el parto y dos días posteriores, en los animales Brahman la disminución del área recorrida se da 4 días antes del parto en el 80% de los animales, pero el día del parto estos aumentan el área recorrida creando un pequeño pico que disminuirá los dos días posteriores al parto, esto se produce por el mismo manejo al cual son sometidos los animales. Este factor se debe

estudiar más a profundidad y con una mayor cantidad de animales para determinar el parto, debido a que el mismo manejo que se le dé a los animales aumenta la posibilidad de generar falsos positivos

### Distancia entre animales

A continuación, se presenta la distancia de cada animal el día del parto con respecto al rebaño. Se observa el comportamiento de los animales durante las 24 horas que tiene el día, en algunos animales se presenta figuras 21 días antes del parto para ver el comportamiento de los animales.

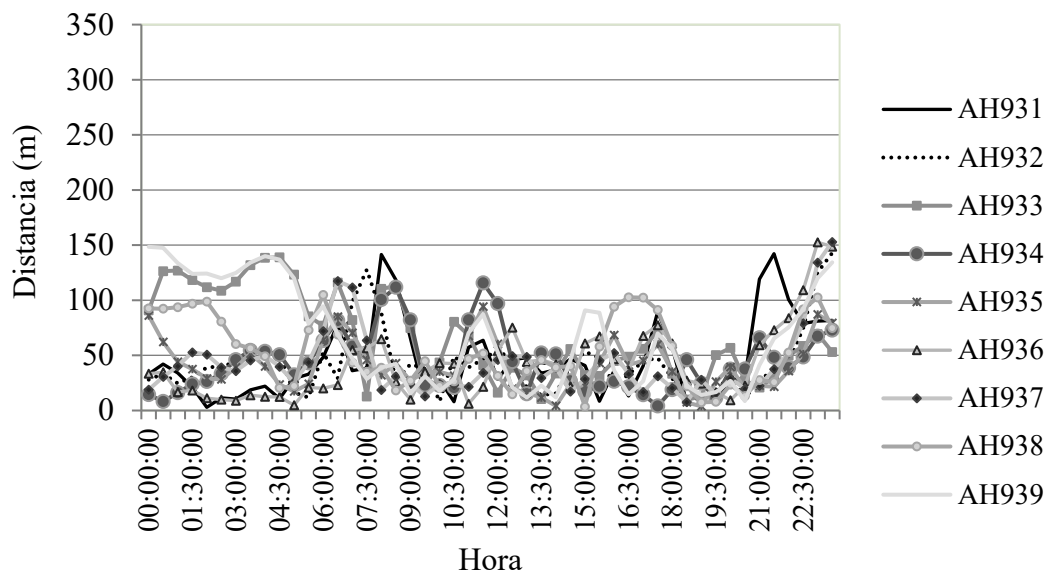


Figura 73. Distancia respecto a los otros animales del collar AH930 21 días antes del parto.

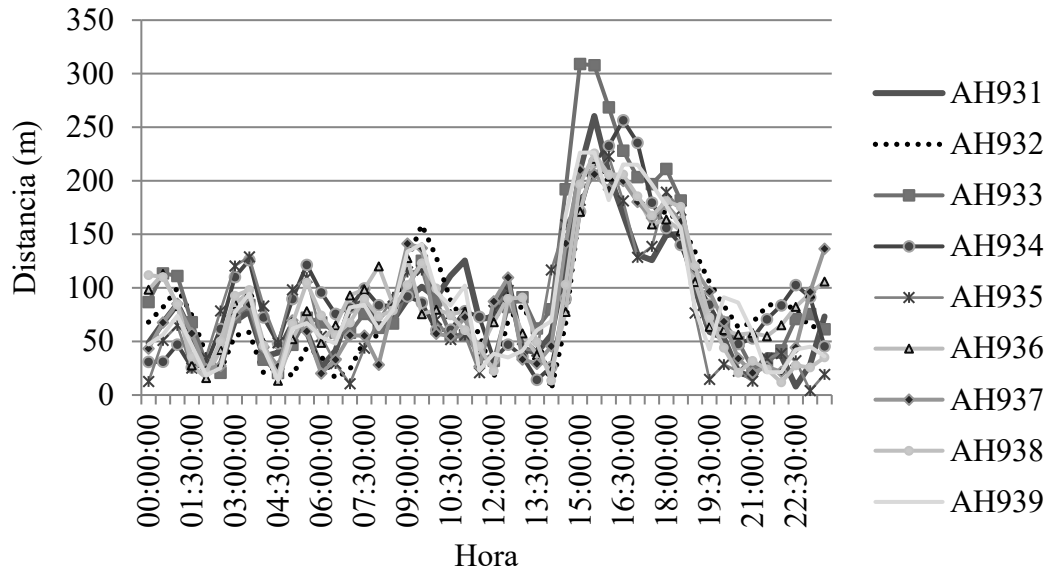


Figura 74. Distancia respecto a los otros animales del collar AH930 el día del parto.

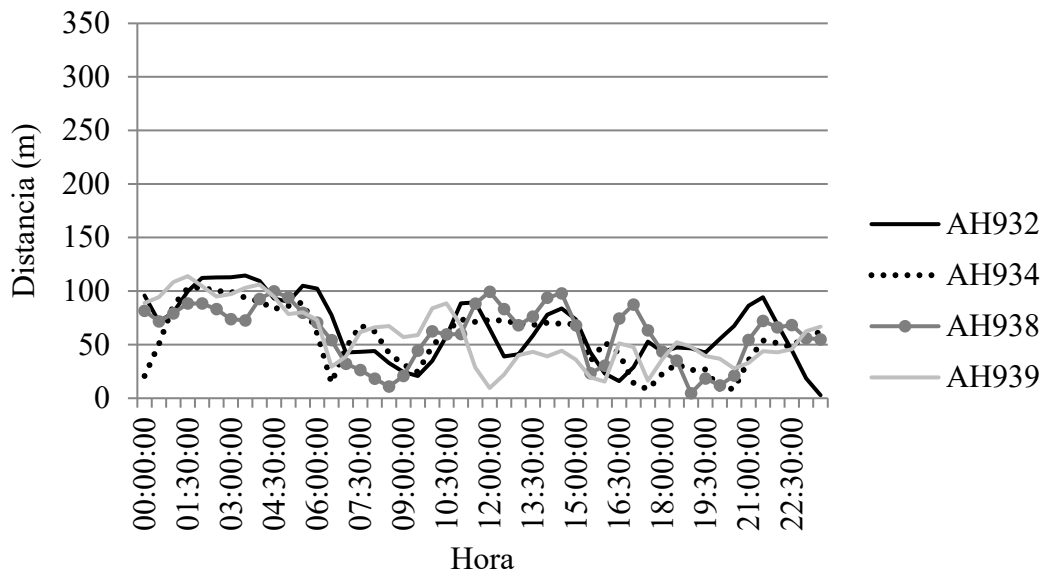


Figura 75. Distancia respecto a los otros animales del collar AH931 el día del parto



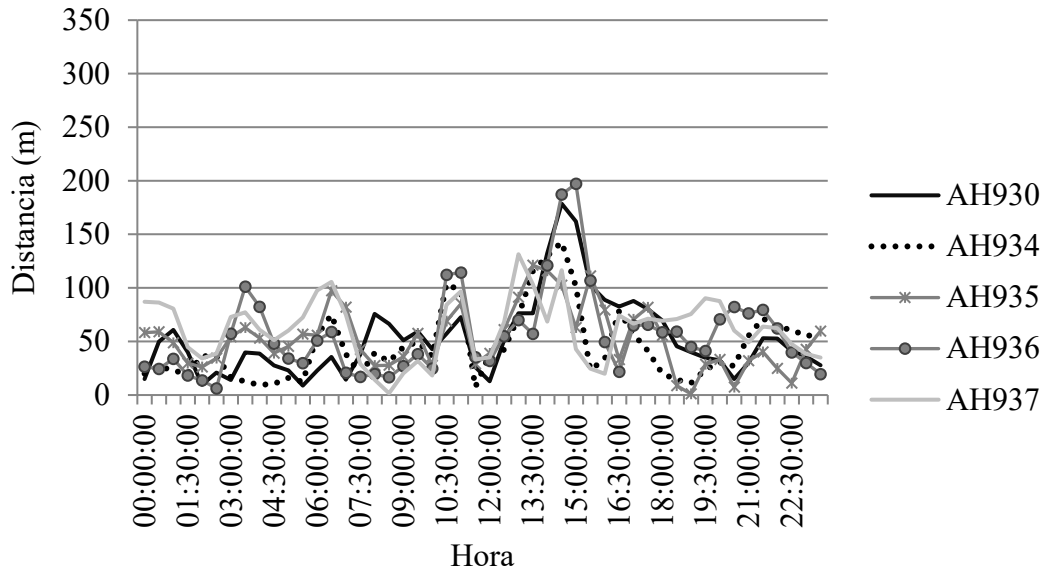


Figura 76. Distancia respecto a los otros animales del collar AH932 el día del parto.

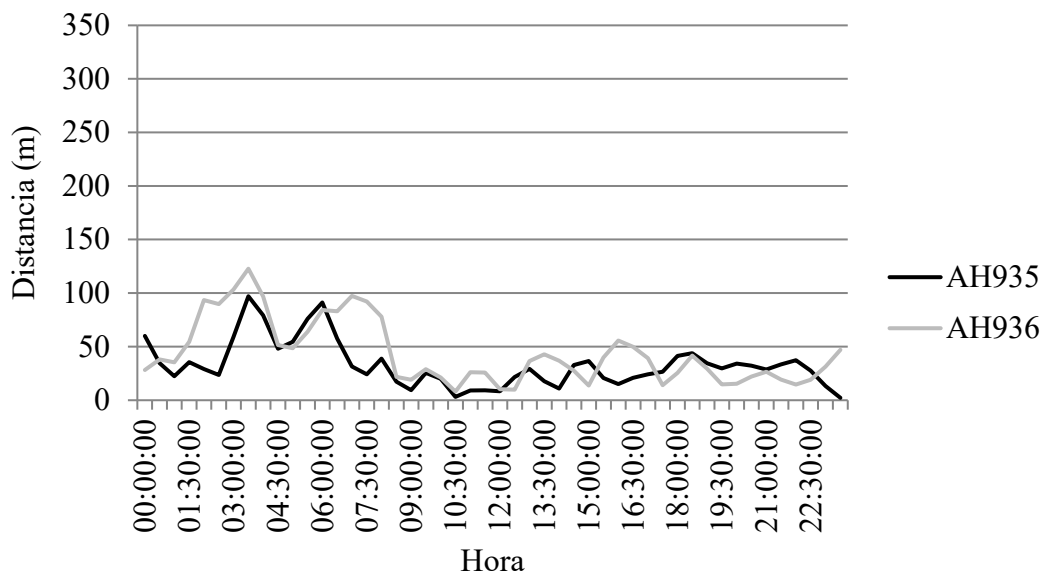


Figura 77. Distancia respecto a los otros animales del collar AH933 el día del parto.



Figura 78. Momento del parto del animal AH933 respecto a los demás animales.

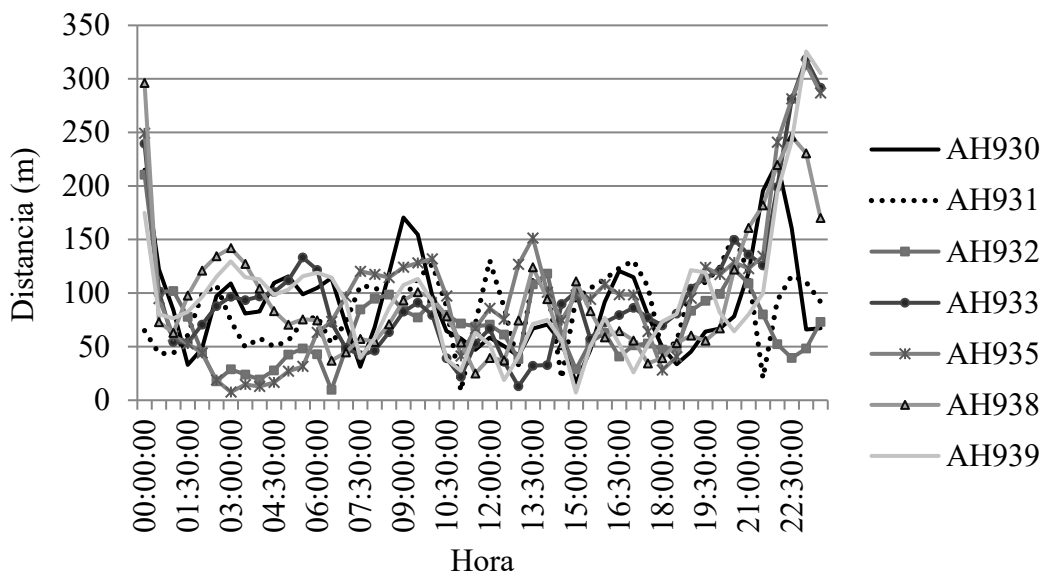


Figura 79. Distancia respecto a los otros animales del collar AH934 el día del parto.

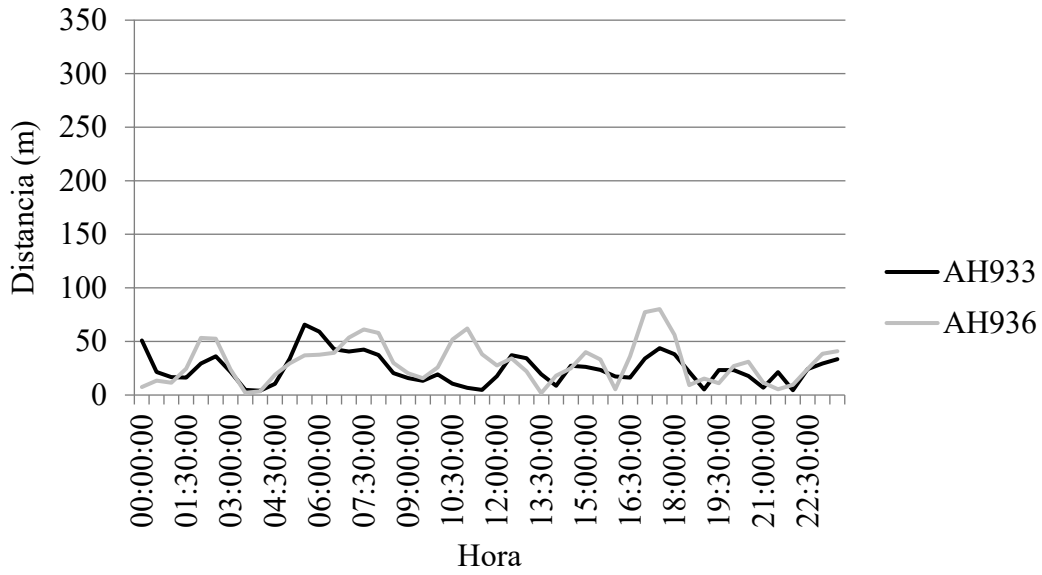


Figura 80. Distancia respecto a los otros animales del collar AH935 21 días antes del parto.

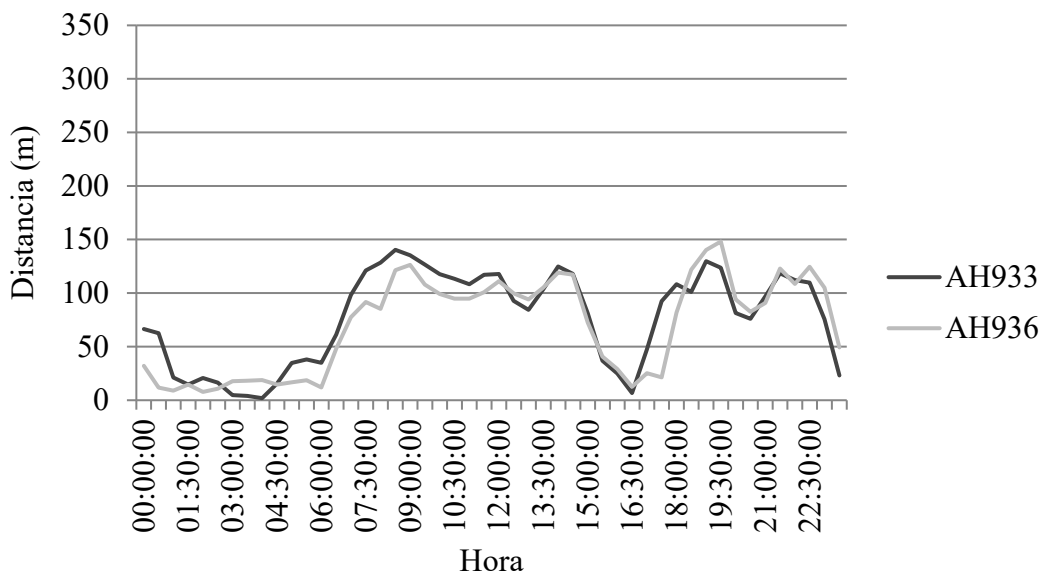
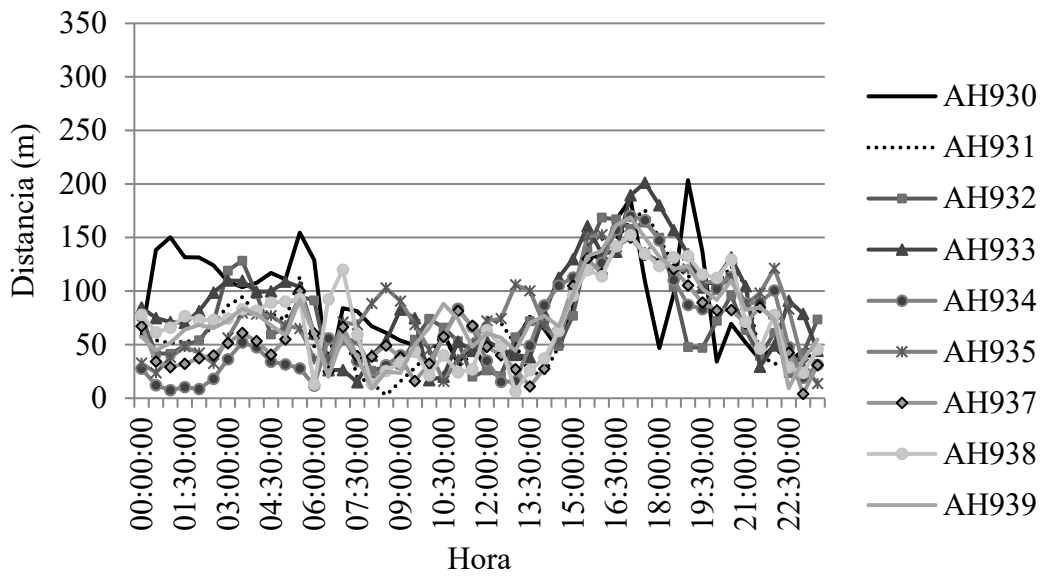
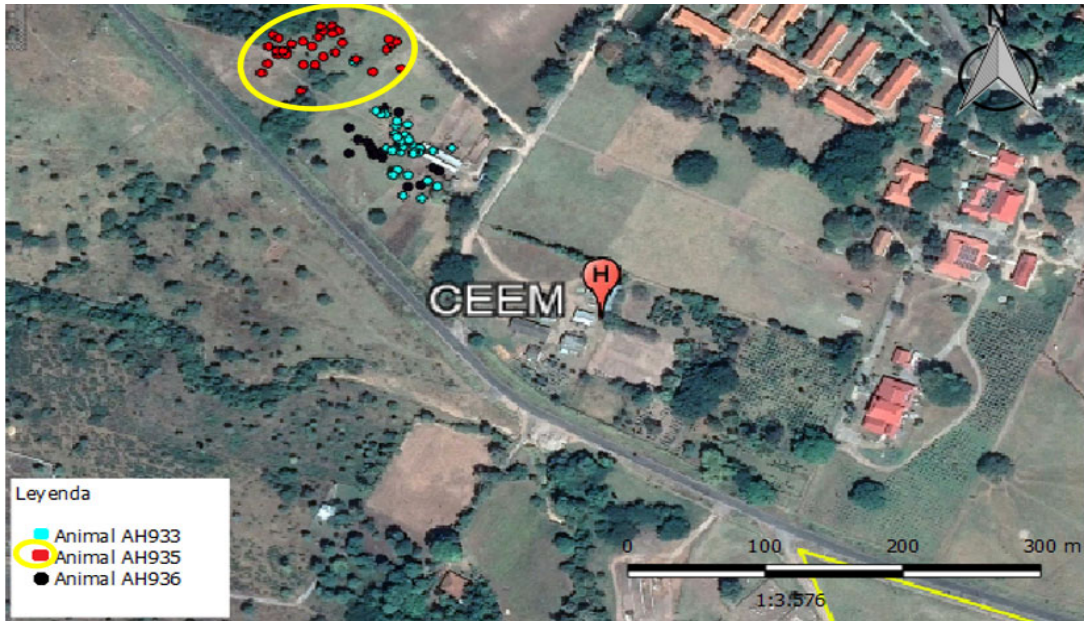


Figura 81. Distancia respecto a los otros animales del collar AH935 el día del parto.



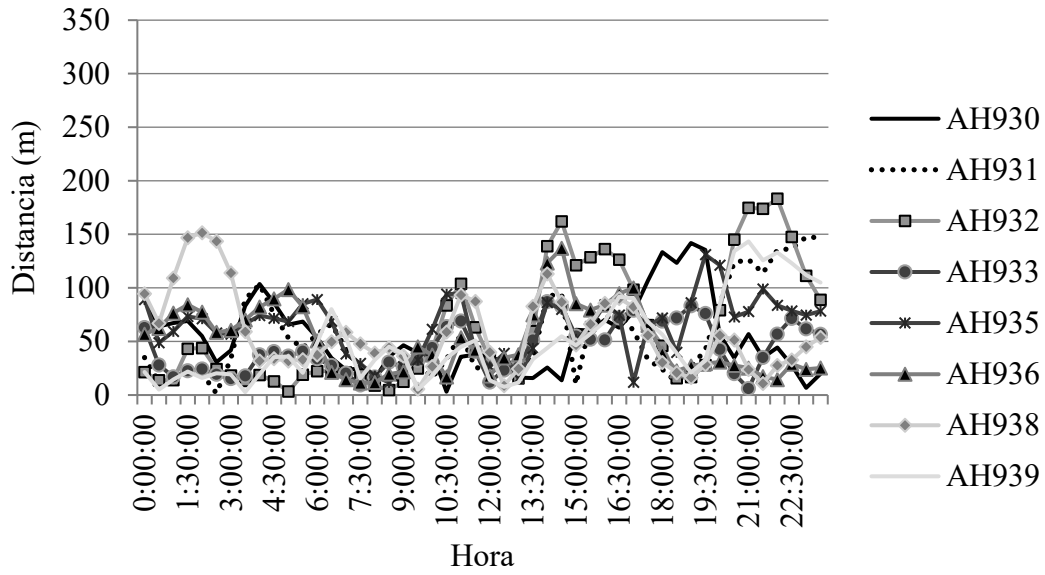


Figura 84. Distancia respecto a los otros animales del collar AH937 21 días antes del parto.

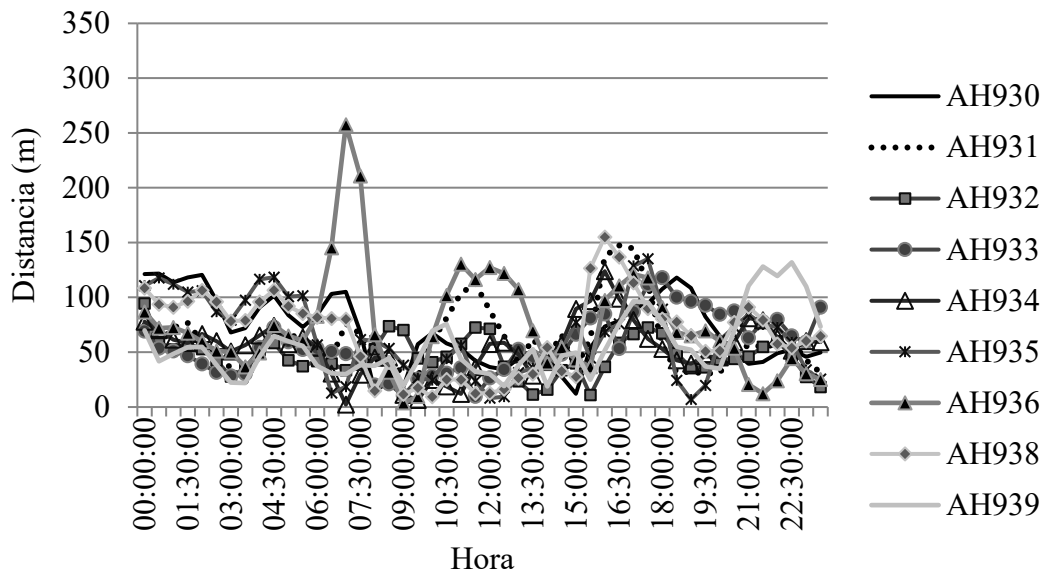


Figura 85. Distancia respecto a los otros animales del collar AH937 el día del parto.



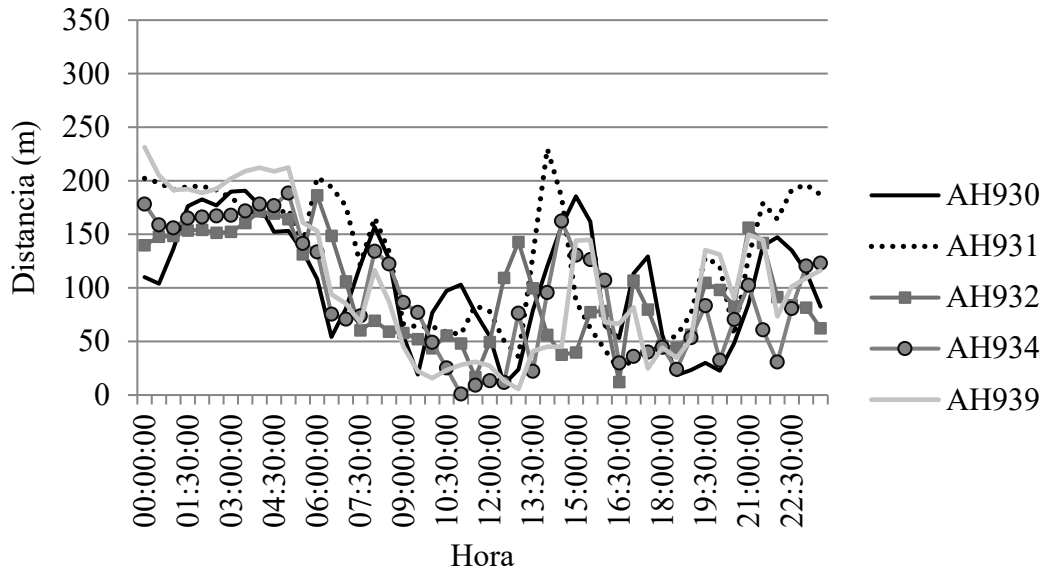


Figura 86. Distancia respecto a los otros animales del collar AH938 el día del parto.

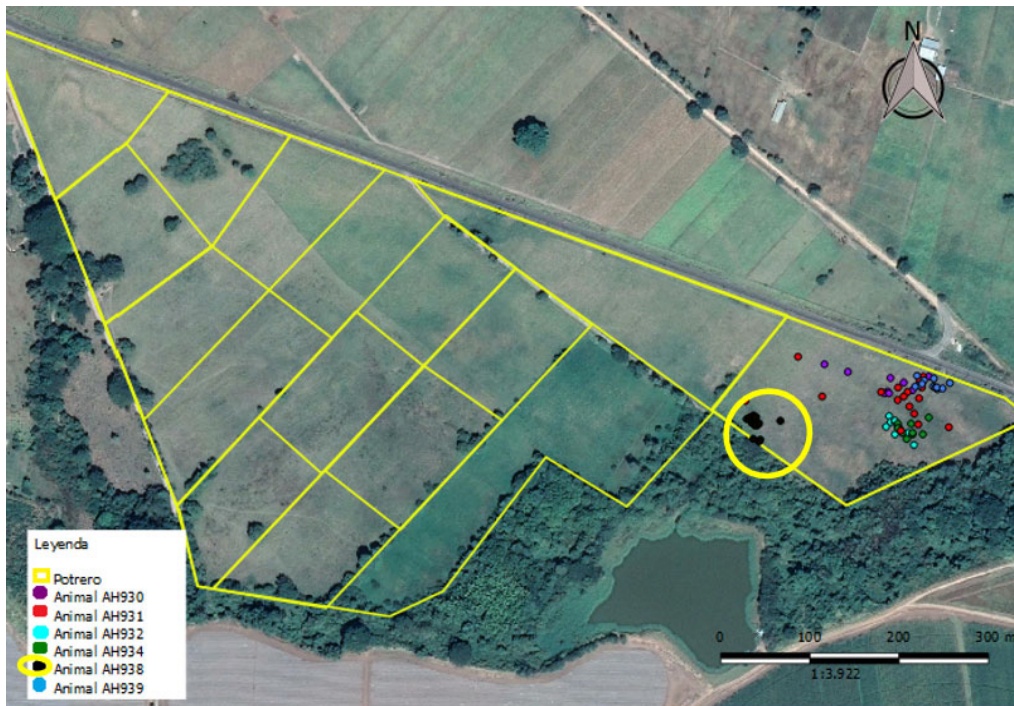


Figura 87. Momento del parto del animal AH938 respecto a los demás animales.

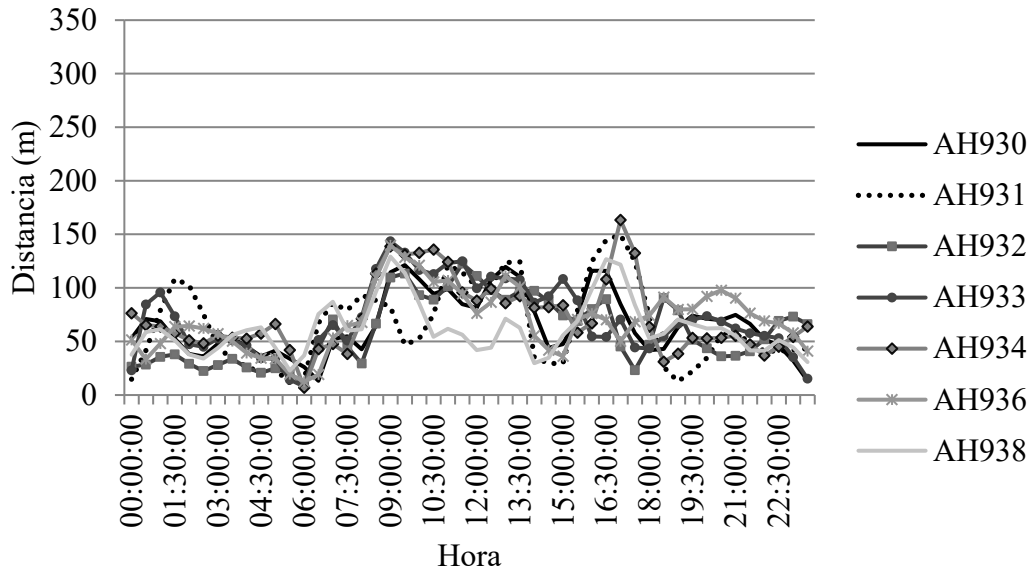


Figura 88. Distancia respecto a los otros animales del collar AH939 el día del parto.

En las figuras anteriores se observa el comportamiento de los animales respecto a los demás animales el día del parto; en el estudio realizado, las vacas Brahman se alejan del rebaño entre tres y cinco horas de 80 a 200 m del rebaño y las vacas encastadas se alejaban rangos mayores de 50 a 320 m por lapsos de tres a ocho horas.

Se observa un patrón de comportamiento similar en todas las vacas de alejarse por un tiempo del rebaño, lo cual concuerda con estudios realizados el día real del parto, en donde se planteó que la vaca busca cada vez más aislarse de sus compañeras (Lidfors *et al.* 1994; Proudfoot *et al.* 2014). El 80% de los animales se alejaron del rebaño al momento del parto, esto concuerda con lo dicho por Flörcke y Grandin (2014) donde observaron que el 88% se alejaba más de 100 m.

Las Figuras 72 y 76 que representan a los animales AH933 y AH935 respectivamente, tuvieron solamente dos vacas de referencia para ver la distancia entre animales en el momento del parto ya que estas dos vacas estuvieron en el corral de la unidad alejadas de las demás vacas del rebaño, en las Figuras 73 y 76 se ve la figura de los animales AH933 y AH935 respectivamente del momento en donde las vacas se alejan de las demás.

El 50% de los partos sucedió en horas de la noche y la madrugada y el otro 50% ocurrió en horas del día, se observó una tendencia de los animales con menos lactancias a parir de noche y las vacas que tenían mayores lactancias a parir en el día, pero el número de animales en el estudio fueron muy pocas para poder dar una hipótesis al respecto.

#### **4. CONCLUSIONES**

- Los dispositivos GPS utilizados en el estudio tienen una eficiencia alta en la emisión de los datos a los servidores, potenciando el uso de estos dispositivos para el monitoreo animal.
- La reducción en la longitud de la trayectoria, reducción en la cantidad de pasos y el aislamiento de las vacas con respecto al rebaño el día del parto fueron los cambios etológicos más contundentes observados, los cuales se lograron monitorear con los dispositivos GPS.



## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre el comportamiento de los animales en sistemas extensivos ya que el manejo de los animales hace que el comportamiento “natural” cambie.
- Integrar los datos de los tres sensores del collar: el GPS, sonda de temperatura y el acelerómetro para tener datos más precisos del comportamiento animal y lograr una armoniosa combinación al momento de detectar el parto y evitar dar falsos positivos.
- Realizar estudios manteniendo una homogeneidad en el área de los potreros ya que esto puede generar variación en el desplazamiento del animal o tener en cuenta la distancia recorrida por el animal en base al área del potrero.
- Profundizar en el estudio de los cambios etológicos relacionados con la diferencia racial, ya que se observa que los animales encastados se comportan de manera similar a los Brahman. Esto permite generar una hipótesis que bajo condiciones tropicales estos animales pueden hacer sus funciones naturales sin mayor estrés, pudiendo ser esto una medida del éxito de esta amalgama genética.

## 6. LITERATURA CITADA

- Acero Adámez P. 2019. Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne. Tomo II. España: Consejería de Agricultura y Ganadería; [consultado el 26 de nov. de 2019]. <https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/3775/1/VAC0003.pdf>
- Alejo D, Campero CM, Faverín C, Fernández Sainz I. 2000. Caracterización de partos y mortalidad perinatal asociado a genotipos en ganado de carne. *Veterinaria Argentina*; [consultado el 31 de ago. 2020]. 17(165):333-340. <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- 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
- Barriuso A, Villarrubia González G, De Paz J, Lozano Á, Bajo J. 2018. Combination of multi-agent systems and wireless sensor networks for the monitoring of cattle. *Sensors (Basel)*. 18(1):108. eng. doi.org/10.3390/s18010108
- Bautista-Martínez Y, Herrera-Haro JG, Espinosa-García JA, Martínez-Castañeda FE, Vaquera-Huerta H, Bárcena-Gamma JR, Morales A. 2017. Relación entre las prácticas tecnológicas de manejo, la producción y su asociación con las épocas del año en el sistema de doble propósito del trópico mexicano. *Nova Scientia*; 9(19): 154–170.
- Benhamou S. 2004. How to reliably estimate the tortuosity of an animal's path: straightness, sinuosity, or fractal dimension? *Journal of Theoretical Biology*. 229(2): 209–220.
- Berckmans D. 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique*. 33(1):189–196.
- Bicalho RC, Galvão KN, Cheong SH, Gilbert RO, Warnick LD, Guard CL. 2007. Effect of Stillbirths on Dam Survival and Reproduction Performance in Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 90(6): 2797–2803. eng. doi.org/10.3168/jds.2006-504
- Bicalho RC, Galvão KN, Warnick LD, Guard CL. 2008. Stillbirth parturition reduces milk production in Holstein cows. *Preventive Veterinary Medicine*. 84(1-2):112–120. eng. doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.11.006
- Bovet P, Benhamou S. 1988. Spatial analysis of animal's movements using a correlated random walk model. *Journal of Theoretical Biology*. 131(4):419–433. eng. doi.org/10.1016/S0022-5193(88)80038-9
- Burfeind 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. eng. doi.org/10.3168/jds.2011-4484
- Caia H, Xu B, Jiang L, Vasilakos AV. 2016. IoT-Based Big Data Storage Systems in Cloud Computing: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things*. 4(1):75-87
- Calenge C. 2006. The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*. 197(3-4):516–519. eng. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017

- Cumby TR, Phillips VR. 2001. Environmental impacts of livestock production. BSAP Occasional Publication. 28:12–22. eng. doi.org/10.1017/S1463981500040930
- Dargatz DA, Dewell RG. 2004. Calving and calving management of beef cows and heifers on cow–calf operations in the United States. *Theriogenology*. 61(6): 997–1007. eng. doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00145-6
- Flörcke C, Grandin T. 2014. Separation behavior for parturition of red angus beef cows. *Journal of Animal Sciences*. 4(2): 43. eng. doi.org/10.4236/ojas.2014.42007
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2011. *Perspectivas alimentarias: Análisis de los mercados mundiales*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [consultado el 31 de ago. de 2020]. www.fao.org/3/al981s/al981s00.pdf.
- García JAE, Izquierdo AV, González SFG, Reyes VC, Gómez RV, Maldonado JAR. 2018. Evaluación del impacto en la productividad y rentabilidad de la tecnología transferida al sistema de bovinos de doble propósito del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 21: 261–272.
- Getz WM, Fortmann-Roe S, Cross PC, Lyons AJ, Ryan SJ, Wilmers CC. 2007. LoCoH: nonparametric kernel methods for constructing home ranges and utilization distributions. *PloS ONE*. 2(2): 207. eng. doi.org/10.1371/journal.pone.0000207
- Halachmi I, Schlageter A, Peña Fernandez A, van Hertem T, Sibony V, Weyl-Feinstein S, Verbrugge A, Bonneau M, Neilson R. 2015. Discussion: PLF in genetics & health of beef, calves and heifers. En: Halachmi I, editor. *Precision livestock farming applications: Making sense of sensors to support farm management*. Wageningen Academic Publishers; 169-170 p. ISBN: 978-90-8686-268-9
- Halachmi I, Guarino M. 2016. A ‘per animal’ approach using advanced monitoring technologies. *Precision Livestock Farming*. 10(9): 1482–1483.
- Hepler JD. 2019. Validating a GPS collar-based method to estimate parturition events and calving locations for two barren-ground caribou herds [Tesis de maestría]. EEUU: University of Alaska Fairbanks. 107 p.
- Jensen MB. 2012. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 139(3-4): 195–202. eng. doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.002
- Jensen MB, Rørvang MV. 2018. The degree of visual cover and location of birth fluids affect dairy cows' choice of calving site. *Journal of Dairy Science*. 101(10): 9483–9492. eng. doi.org/10.3168/jds.2018-14724
- Jung T, Hegel TM, Bentzen TW, Egli K, Jessup L, Kienzler M, Kuba K, Kukka PM, Russell K, Sutor MP, Tatsumi K. 2018. Accuracy and performance of low-feature GPS collars deployed on bison (*Bison bison*) and caribou (*Rangifer tarandus*). *Wildlife Biology*. 1: 1–11. eng. doi.org/10.2981/wlb.00404
- Lidfors LM, Moran D, Jung J, Jensen P, Castren H. 1994. Behaviour at calving and choice of calving place in cattle kept in different environments. *Applied Animal Behaviour Science*. 42(1): 11–28. eng. doi.org/10.1016/0168-1591(94)90003-5

- Maltz E, Antler A. 2007. A practical way to detect approaching calving of the dairy cow by a behavior sensor. *Procedures of Precision Livestock Farming*. 7: 141-146.
- Maroto-Molina F, Navarro-García J, Príncipe-Aguirre K, Gómez-Maqueda I, Guerrero-Ginel J, Garrido-Varo A, Pérez-Marín D C. 2019. A low-cost IoT-based system to monitor the location of a whole herd. *Sensors (Basel)*. 19(10): 2298. eng. doi.org/10.3390/s19102298
- Morales Gavarrete D, Pérez Delgado BA, Botero Botero R. 2009. Parámetros productivos y reproductivos de importancia económica en ganadería bovina tropical. Costa Rica: Engormix; [consultado el 16 de feb. de 2020]. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/parametros-productivos-reproductivos-2009-t27793.htm>
- Norton T, Chen C, Larsen MLV, Berckmans D. 2019. Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 13(12): 3009–3017. eng. doi.org/10.1017/S175173111900199X
- [ONU] Organización de las Naciones Unidas. 2019. World Population Prospects 2019 Highlights. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs; [consultado el 21 de feb. de 2020]. [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)
- [OECD, FAO]. Organisation for Economic Cooperation and Development, Food and Agriculture Organization. 2019. Agricultural Outlook 2019-2028. [internet]. Paris, Roma; [consultado el 31 de ago. de 2020]. <http://www.fao.org/3/ca4076en/ca4076en.pdf>
- Palomera CL. 2019. Estrategias de manejo para mejorar la productividad y desempeño reproductivo en bovinos de doble propósito. México: Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria; [consultado el 28 de ago. de 2020]. SSN:2007-9559
- Patterson DJ, Bellows RA, Burfening PJ, Carr JB. 1987. Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. I. Calf loss incidence from birth to weaning, backward and breech presentations and effects of calf loss on subsequent pregnancy rate of dams. *Theriogenology*. 28(5):557–571. eng. doi.org/10.1016/0093-691X(87)90273-1
- Proudfoot KL, Jensen MB, Weary DM, Von Keyserlingk MAG. 2014. Dairy cows seek isolation at calving and when ill. *Journal of Dairy Science*. 97(5):2731–2739. eng. doi.org/10.3168/jds.2013-7274
- Quaglietta L, Herlander-Martins B, Jongh A, Mira M, Boitani L. 2012. A low-cost GPS GSM/GPRS telemetry system: performance in stationary field tests and preliminary data on wild otters (*Lutra lutra*). *PLoS ONE*. 7. eng. doi.org/10.1371/journal.pone.0029235
- Ritter C, Beaver A, von Keyserlingk MA. 2019. The complex relationship between welfare and reproduction in cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 54(3): 29-37. eng. doi.org/10.1111/rda.13464
- Rørvang MV, Herskin MS, Jensen MB. 2017. Dairy cows with prolonged calving seek additional isolation. *Journal of Dairy Science*. 100(4): 2967–2975. eng. doi.org/10.3168/jds.2016-11989

- Rutten CJ, Steeneveld W, Kamphuis C, Huijps K, Hogeveen H. 2015. The potential of using sensor data to predict the moment of calving for dairy cows. En: Halachmi I, editor. Precision livestock farming applications: Making sense of sensors to support farm management. Wageningen Academic Publishers; 161-168 p. ISBN: 978-90-8686-268-9
- Saint-Dizier MY, Chastant-Maillard S. 2012. Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. 47:1056-1061. eng. doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01971.x
- Saint-Dizier MY, Chastant-Maillard S. 2015. Methods and on-farm devices to predict calving time in cattle. *The Veterinary Journal*. 205(3): 349-356.
- Severud WJ, Delgiudice G, Obermoller TR, Enright TA, Wright RG, Forester JD. 2015. Using GPS collars to determine parturition and cause-specific mortality of moose calves. *Wildlife Society Bulletin*. 39(3):616-625. eng. doi.org/10.1002/wsb.558
- Thornton PK. 2010. Livestock production: recent trends, prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 365(1554): 2853–2867. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>
- Vivallo G, Barriga V, Donoso G, Toneatti M. 2009. TICs y ganadería: manejo electrónico de ganado. Workshop Internacional EIG. Actas 3er Encuentro Informática y Gestión, Temuco. Chile. Diciembre 3-4. [http://ceur-ws.org/Vol-558/Art\\_19.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-558/Art_19.pdf)
- Wathes CM, Kristensen HH, Aerts JM, Berckmans D. 2008. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*. 64: 2-10. eng. doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.005
- Wehrend A, Hofmann E, Failing K, Bostedt H. 2006. Behavior during the first stage of labour in cattle: Influence of parity and dystocia. *Applied Animal Behaviour Science*. 100:164-170. eng. doi.org/10.1016/j.applanim.2005.11.008
- Wright IA, Tarawali S, Blümmel M, Gerard B, Teufel N, Herrero M. 2012. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(5): 1010–1015. eng. doi.org/10.1002/jsfa.4556