



## Monitorización del pastoreo de bovinos del CIDBA – Acraquia a través de redes de sensores inalámbricos

Monitoring CIDBA – Acraquia cattle grazing through wireless sensor networks

Paucar-Chanca Rufino<sup>1</sup> • Poma-Palacios Javier<sup>2</sup> • Espinoza Marco<sup>3</sup>

**Recibido:** 20 de Noviembre del 2024 / **Aceptado:** 12 de Diciembre del 2024

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue conocer el comportamiento en el pastoreo de los bovinos del Centro de Investigación y Desarrollo de Bovinos Acraquia (CIDBA) de la Universidad Nacional de Huancavelica, a través de redes de sensores inalámbricos. Para ello, se diseñó, construyó e implementó un dispositivo de redes de sensores inalámbricos conectado a una aplicación web (encargada de gestionar la información captada por el dispositivo). Este sistema (dispositivo y aplicación web) incluyó nodos de sensores en cada vacuno (collar con sus respectivas fuentes de alimentación) y una estación de monitoreo, que permitieron recopilar datos en tiempo real sobre la ubicación, movimientos y comportamiento de los bovinos. La información obtenida fue procesada y analizada para conocer el desplazamiento, tiempo de pastoreo, horarios de beber y tiempo de dormir de los bovinos del CIDBA. Se encontraron en media general para las variables en estudio los siguientes valores: desplazamiento = 276 metros, tiempo de pastoreo = 8.26 horas, tiempo de dormir = 11.35 horas y el horario de beber de las vacas oscilo entre las 08:55 horas y las 10:05 horas por la mañana y de las 12:59 horas hasta las 14:15 horas por la tarde. Por otro lado, los resultados evidencian la eficacia del sistema en la generación de datos precisos y útiles para la toma de decisiones en la gestión del pastoreo. Asimismo, se identificaron retos asociados a las condiciones geográficas y climáticas, así como al mantenimiento del equipo en campo. En conclusión, el uso de redes de sensores inalámbricos representa una herramienta innovadora y eficiente para mejorar la gestión del pastoreo en sistemas ganaderos, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la conservación de los recursos naturales. Se recomienda fortalecer la infraestructura tecnológica, capacitar a los usuarios y fomentar la integración con programas de manejo sostenible.

**Palabras claves:** Bovinos, comportamiento, pastoreo y redes de sensores inalámbricos.

### ABSTRACT

The objective of this work was to understand the grazing behavior of cattle at the Acraquia Cattle Research and Development Center (CIDBA) of the National University of Huancavelica, through wireless sensor networks. To do this, a wireless sensor network device connected to a web application (in charge of managing the information captured by the device) was designed, built and implemented. This system (device and web application) included sensor nodes in each cattle (collar with its respective power sources) and a monitoring station, which allowed collecting real-time data on the location, movements and behavior of the cattle. The information obtained was processed and analyzed to know the movement, grazing time, drinking times and sleeping time of the CIDBA cattle. The following values were found as the general average for the variables under study: displacement = 276 meters, grazing time = 8.26 hours, sleeping time = 11.35 hours and the cows' drinking time ranged between 08:55 hours and 10:05 hours in the morning and from 12:59 hours to 14:15 hours in the afternoon. On the other hand, the results show the effectiveness of the system in generating accurate and useful data for decision making in grazing management. Likewise, challenges associated with geographic and climatic conditions, as well as maintenance of equipment in the field, were identified. In conclusion, the use of wireless sensor networks represents an innovative and efficient tool to improve grazing management in livestock systems, contributing to sustainable development and the conservation of natural resources. It is recommended to strengthen the technological infrastructure, train users and promote integration with sustainable management programs.

**Keywords:** Cattle, behaviour, grazing and wireless sensor networks.

## 1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo del pastoreo bovino es una actividad crucial en la ganadería moderna, ya que permite optimizar el uso de los recursos forrajeros, mejorar la productividad de los animales y mitigar impactos ambientales. Tradicionalmente, esta actividad se ha realizado de manera manual, pero los avances tecnológicos han dado paso a la incorporación de herramientas innovadoras, como las redes de sensores inalámbricos (RSI), para facilitar este proceso. Estas tecnologías no solo permiten un control más eficiente de los animales en pastoreo, sino que también ofrecen datos en tiempo real que apoyan la toma de decisiones basada en evidencia. Diversos estudios han demostrado la eficacia de las RSI en la monitorización del comportamiento animal. Por ejemplo, la integración de sensores GPS ha permitido rastrear los movimientos de bovinos y optimizar su manejo en pastoreo extensivo (Anderson *et al.*, 2013 y Arce *et al.*, 2009).

✉ **Autor Principal:** Rufino Paucar Chanca  
**Correo del autor:** rufino.paucar@unh.edu.pe

<sup>1</sup> Escuela profesional de Zootecnia,  
Universidad Nacional de Huancavelica,  
Huancavelica, Perú.

<sup>2</sup> Escuela profesional de Electrónica,  
Universidad Nacional de Huancavelica,  
Huancavelica, Perú.

<sup>3</sup> Escuela profesional de Zootecnia,  
Universidad Nacional de Huancavelica,  
Huancavelica, Perú.

Asimismo, García *et al.* (2015) destacan que estas tecnologías facilitan la identificación de patrones de pastoreo, lo que contribuye al diseño de estrategias sostenibles. Además, las RSI pueden monitorear variables ambientales como la temperatura y humedad, ayudando a evaluar el impacto del clima en el comportamiento animal (Jones *et al.*, 2017). En investigaciones recientes, Smith *et al.* (2019) encontraron que el uso de sensores reduce significativamente el tiempo dedicado al manejo manual del ganado, mientras que Brown y Taylor (2020) subrayaron su utilidad en sistemas de pastoreo rotacional para evitar el sobrepastoreo. Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2018) y Nagl *et al.* (2003) reportaron que el monitoreo constante permite detectar anomalías en la salud del ganado, como cambios en la actividad física que podrían indicar enfermedades. El uso de RSI también se ha vinculado a la mejora en la conservación de los recursos naturales. Según López *et al.* (2020), la información obtenida sobre la distribución espacial del pastoreo contribuye a evitar la degradación del suelo. Del mismo modo,

investigaciones de Wilson *et al.* (2021) resaltan cómo estas tecnologías ayudan a evaluar la presión de pastoreo sobre áreas específicas, promoviendo prácticas más equilibradas. Otros estudios han explorado los beneficios económicos de la implementación de RSI. Martínez y Gómez (2019) concluyeron que el costo inicial de los dispositivos es compensado rápidamente por la mejora en la eficiencia operativa. Además, Johnson y White (2020) indicaron que el acceso a datos precisos permite tomar decisiones más acertadas, lo que reduce pérdidas económicas asociadas al manejo ineficiente del ganado. En el contexto peruano, Fernández *et al.* (2021) destacaron la pertinencia de estas tecnologías en regiones altoandinas, donde las condiciones climáticas y la geografía desafiante dificultan el monitoreo tradicional. En este sentido, Ortiz *et al.* (2022) demostraron que la implementación de RSI en comunidades rurales incrementó la productividad ganadera sin comprometer la sostenibilidad ambiental. Finalmente, estudios de campo en zonas rurales latinoamericanas confirman que las RSI no solo mejoran la gestión del pastoreo, sino que también promueven la resiliencia de las comunidades frente al cambio climático (Guzmán *et al.*, 2021; Herrera y Vargas, 2022). En línea con estos hallazgos, la presente investigación tuvo como objetivo conocer el comportamiento en el pastoreo de los bovinos del Centro de Investigación y Desarrollo de Bovinos Acraquia (CIDBA) de la Universidad Nacional de Huancavelica, a través de redes de sensores inalámbricos. Para lo cual, se diseñó, construyó e implementó un dispositivo de redes de sensores inalámbricos conectado a una aplicación web (encargada de gestionar la información captada por el dispositivo).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigación y Desarrollo de Bovinos Acraquia (CIDBA) de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), ubicada en la localidad denominada Acraquia del distrito de Pampas, de la provincia de Tayacaja y de la región de Huancavelica del Perú, ubicada a 3260 m.s.n.m. con una temperatura promedio anual de 14 °C y una humedad relativa de 60%. Para el presente estudio, se utilizaron 3 vacas del mencionado centro, a quienes se les monitoreó con el dispositivo diseñado y construido para el presente trabajo, basado en redes de sensores inalámbricos. Los datos obtenidos por el dispositivo fueron procesados y analizados utilizando el programa estadístico R - The R Project for Statistical Computing (R Core Team, 2024).

### 3. RESULTADOS

#### Desplazamiento, tiempo de pastoreo, horarios de beber y tiempo de dormir de los bovinos del CIDBA

Se encontraron en media general para las variables en estudio los siguientes valores:

**Tabla 01.** Estadísticos descriptivos de desplazamiento, tiempo de pastoreo, horarios de beber y tiempo de dormir de los bovinos del CIDBA – Acraquia.

Variables	Promedio	Desviación Estándar
Desplazamiento (metros)	276.00	20.52
Tiempo de pastoreo (Horas)	8.26	0.15
Horario de beber (Hora)	08:55 – 10:05 y 12:59 – 14:15	*
Tiempo de dormir (Horas)	11.35	0.36

\* No corresponde por el tipo de variable.

desplazamiento = 276 metros, tiempo de pastoreo = 8.26 horas, tiempo de dormir = 11.35 horas y el horario de beber de las vacas oscilo entre las 08:55 horas y las 10:05 horas por la mañana y de las 12:59 horas hasta las 14:15 horas por la tarde.

#### Posición espacial - temporal de bovinos del CIDBA – Acraquia

Utilizando el dispositivo de redes de sensores inalámbricos, se logró obtener la posición temporal y espacial de los bovinos con un error de 3 metros. A continuación, se describe el proceso de diseño y construcción de los módulos electrónicos:

La figura N° 1, muestra el esquema general del prototipo de la investigación titulado “MONITORIZACIÓN DEL PASTOREO DE BOVINOS DEL CIDBA – ACRAQUIA A TRAVÉS DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS”; destacando la estación de monitoreo y el nodo en cada ganado vacuno (collar con sus respectivas fuentes de alimentación).

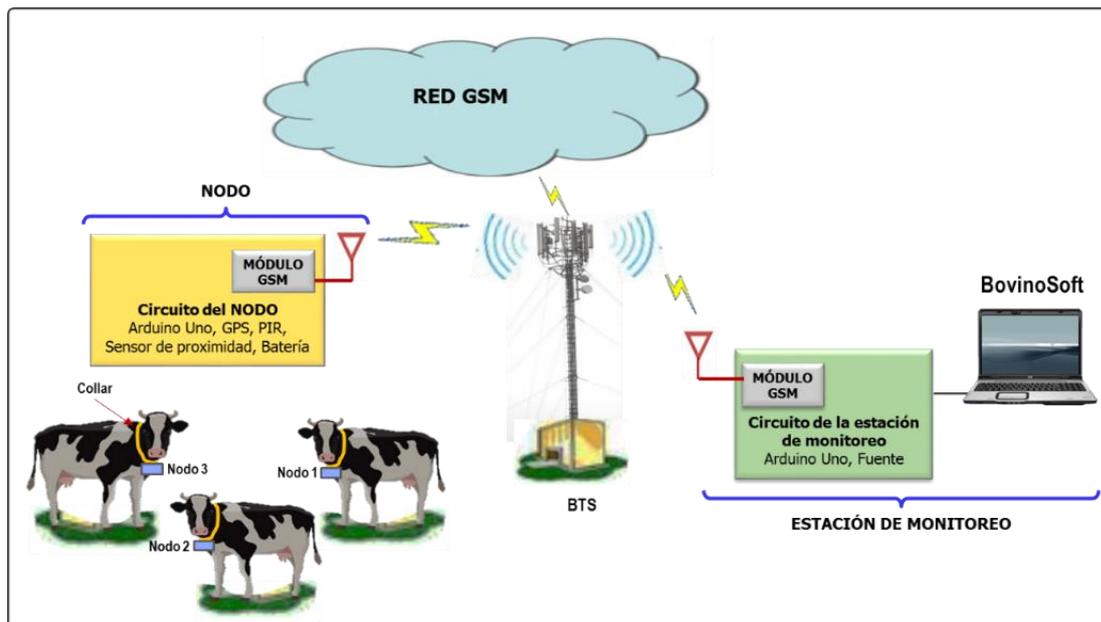


Figura N° 1. Diagrama general del sistema

#### Desarrollo del hardware

##### Estación de monitoreo:

Encargado de realizar el monitoreo de la posición geográfica, desplazamiento, tiempo de pastoreo, horario de beber agua, Tiempo de dormir de tres ganados vacunos del CIDBA – ACRAQUIA, a través del programa BoviSoft desarrollado en LabVIEW 2017, para ser mostrado a través de la interface USB.

El circuito (ver figura N° 2) utiliza el microcontrolador ATmega328 de la placa Arduino Uno, que por un lado permite la conexión con la PC a través del puerto USB (en la actualidad las laptops cuentan con este puerto, que permiten una conexión sencilla y universal) y por el otro; permite la conexión RS232 a nivel TTL con el módulo GSM SIM 900.

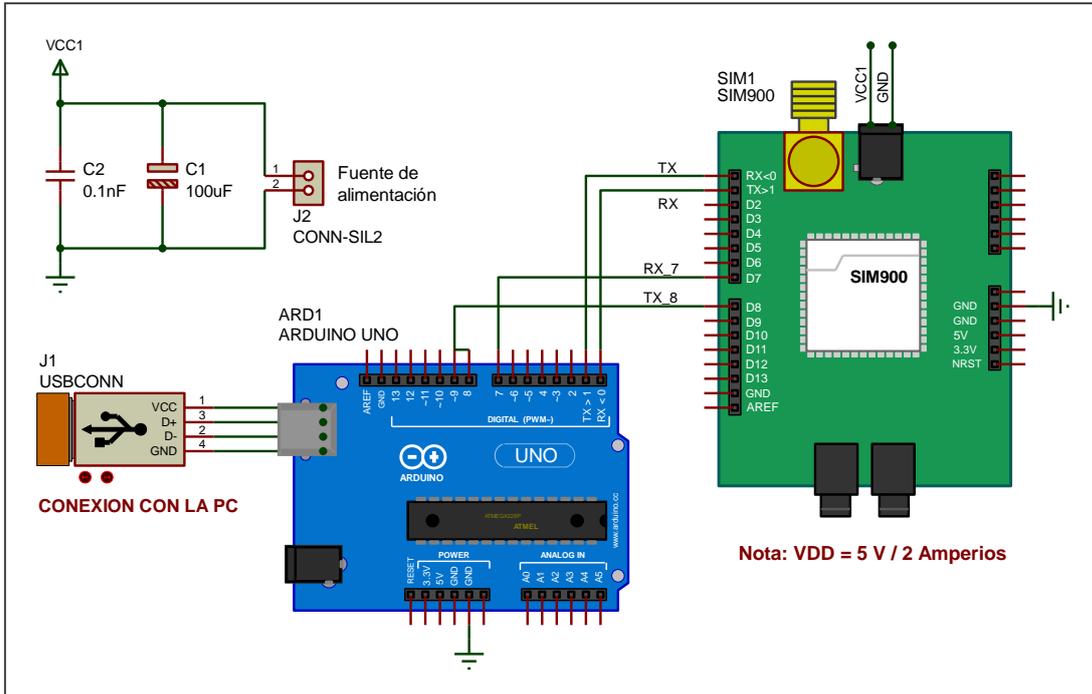


Figura N° 2. Esquema del circuito electrónico de la estación de monitoreo

Nodo de Adquisición:

La figura N° 3, muestra el diagrama de bloques de un nodo de adquisición de datos; que se encarga de encender el módulo

SIM800L, adquirir los datos desde GPS para cada ganado vacuno, lo procesa y lo envía a la estación de monitoreo, utilizando mensajes de texto con comandos AT.

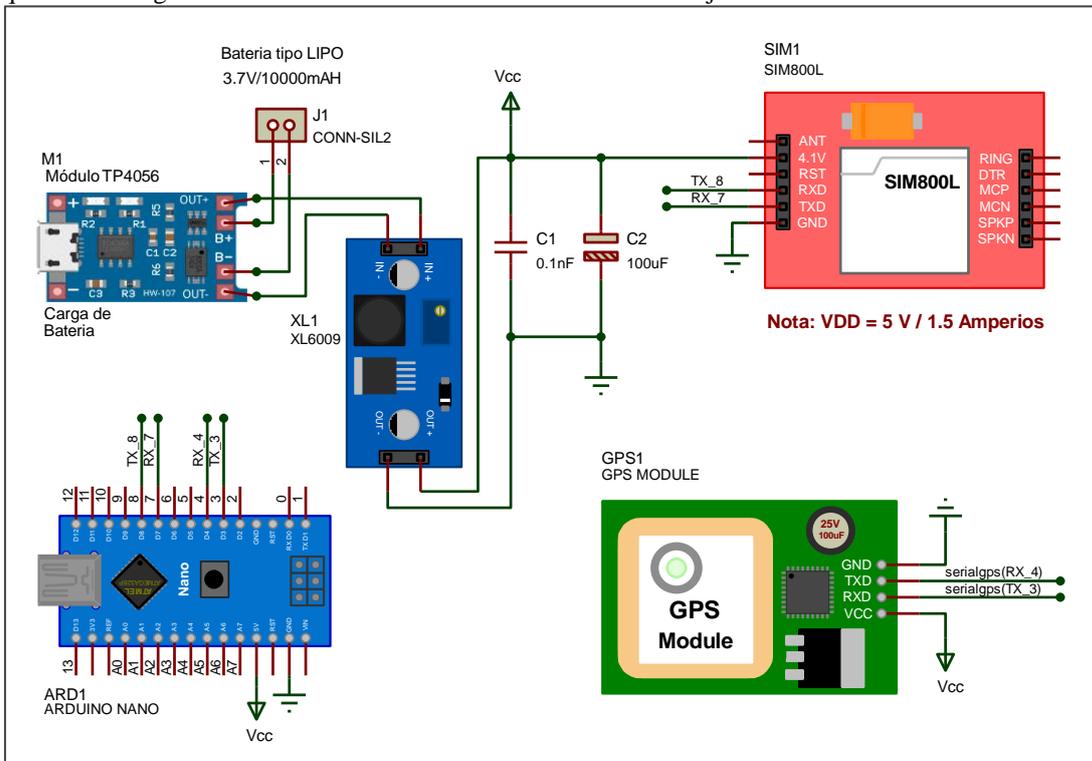


Figura N° 3. Esquema del circuito electrónico del nodo de adquisición

### Breve descripción de hardware

#### Arduino Uno R3:

La figura N° 4 muestra su placa electrónica; la cual se basa en el microcontrolador ATmega328 de Atmel. Cuenta con conector USB, de alimentación, una cabecera de ICSP, y un botón de reinicio.

#### Principales características

- Microcontrolador ATmega328.
- Voltaje de operación de 1.8 - 5.5V.
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V.
- 14 pines digitales de E/S (6 proporcionan una salida PWM).
- 6 pines de entrada analógica.
- Corriente de E/S DC por pin de 40 mA.
- Para 3.3 V, corriente por pin de 50 mA.
- Múltiples fuentes de interrupción
- Memoria Flash 32 KB.
- Memoria SRAM de 2 KB y EEPROM de 1 KB.
- Velocidad de reloj 16 MHz.
- Periférico de comunicación serial USART, USB



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html/>

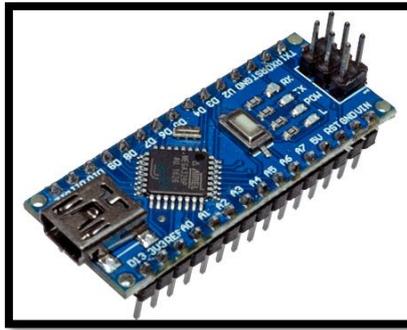
Figura N° 4. Placa electrónica de Arduino Uno

Fuente de alimentación: Arduino Uno puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa que se selecciona automáticamente, el poder puede venir de un adaptador de AC a DC o la batería. El adaptador se puede conectar a un plug de 2.1mm centro-positivo en el conector de alimentación de la placa, los cables de la batería se pueden insertar en los encabezados de pin GND y Vin del conector de alimentación.

Puede operar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

#### Arduino Nano:

La figura N° 5 muestra el aspecto físico de Arduino Nano, completo y fácil de utilizar basado en el ATmega328P (Arduino Nano 3.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Uno, pero en un paquete diferente. Solo le falta un conector de alimentación de CC y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar. Arduino Nono es muy similar a Arduino Uno.



Fuente: <https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/arduino-nano-r3-compatible/>

Figura N° 5. Placa electrónica de Arduino Nano

#### SIM900 GSM/GPRS Shield:

El módulo GSM/GPRS Shield, es un modem GSM/GPRS ultra compacto del tipo "Cuatri Banda" en montaje superficial y diseñado con un "Core" AMR926EJ-S, un procesador "single - chip" muy poderoso que permite mayores prestaciones que el promedio de los módulos existentes en el mercado, con mayor velocidad de

procesamiento y significativo ahorro de energía en el modo "sleep" (ver figura N° 6).

Con una interfaz estándar, el SIM900 entrega una alta prestación en los modos GSM / GPRS en las bandas de 850/900/1800/1900 MHZ para voz, SMS, Datos, y Fax. El módulo GSM está diseñado con una técnica de ahorro de energía que en modo "sleep" con una corriente baja de 1.5mA.



Fuente: <https://arduino-hannover.de/2014/04/20/mein-paket-ein-sim900-gsmgprs-shield/>

Figura N° 6. Aspecto físico del módulo Arduino GSM/GPRS Shield

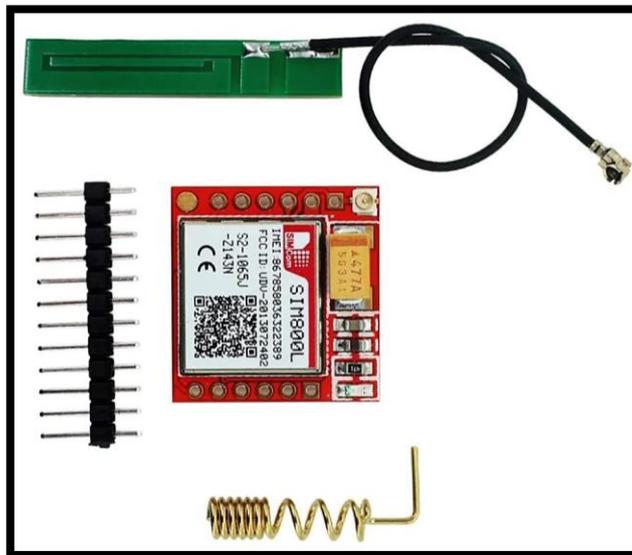
#### Características:

- Basado en el Chip de SIMCom's SIM900.
- Cuatro bandas 850/900/1800/1900 MHz: puede trabajar en redes GSM en todos los países de todo el mundo.
- Zócalo de tarjeta SIM y antena GSM: instalado en la tarjeta.
- Control vía comandos AT - Comandos estándar: GSM 07.07 & 07.05 / Comandos mejorados: SIMCOM AT comandos.
- Pila TCP/UDP integrada: permite cargar los datos a un servidor web.
- Servicio de mensajes cortos: usted puede enviar pequeñas cantidades de datos a través de la red (ASCII o puro hexadecimal).

- 12 GPIOs, 2 PWMs and an ADC (toda lógica a 2.8 voltios).
- Baja potencia de consumo: 1.5mA (modo sleep).
- Rango de temperatura industrial: -40°C a +85 °C.

#### GSM SIM 800L:

El módulo SIM800L (Ver La figura N° 7), es un dispositivo quad-band GSM/GPRS, trabaja en las frecuencias GSM850MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz y PCS1900MHz. Este módulo de telefonía celular que te permite añadir voz, texto, datos y SMS a tu proyecto en un pequeño paquete, contiene una cantidad sorprendente de la tecnología en este pequeño paquete. Es muy similar al SIM900 GSM/GPRS Shield.



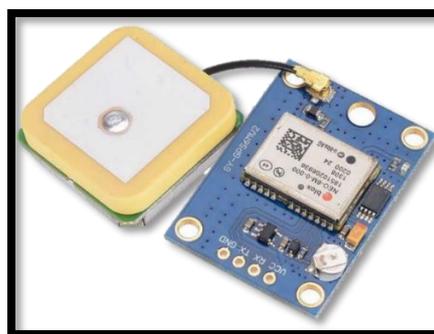
Fuente: <https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/modulo-gsm-sim800l-con-02-antenas/>

Figura N° 7. Aspecto físico del módulo GSM SIM 800L

#### Módulo UAR GPS NEO-6M (7):

El módulo GPS en su modelo GY-GPS6MV2 viene con un módulo de serie U-Blox NEO 6M equipado en el PCB, una EEPROM con configuración de fábrica, una pila de botón para mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, un indicador LED y una antena

cerámica. También posee los pines o conectores Vcc, Rx, Tx y Gnd por el que se puede conectar a algún microcontrolador mediante una interfaz serial. Para que nuestro módulo GPS funcione a la perfección se recomienda hacer las pruebas en un ambiente abierto o cercano a la ventana para una correcta recepción de la señal (Figura N° 8).



Fuente: <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/>

Figura N° 8. Módulo GPS GY-GPS6MV2 NEO-6M

**Aplicación web y base de datos de la monitorización de bovinos del CIDBA – Acraquia**

Se logro crear una aplicación web, que se encarga de gestionar la información captada con el dispositivo mencionado líneas arriba. A

continuación, se describe el proceso de diseño y programación de la aplicación web:

#### *Introducción a la programación en LabVIEW*

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual, es por ello que los programas creados en LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI y con la extensión (.vi), que significa como ya se describió instrumento virtual (Virtual Instruments).

También relacionado con el mismo concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un panel frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. Y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes

reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente, como la Figura N° 9.

Panel frontal: Es la parte que ve el usuario final, tiene fondo gris por defecto el cual puede ser cambiado por el usuario.

Diagrama de bloques: En esta ventana se realizó la programación, tiene fondo blanco por defecto, puede ser cambiado.

El panel frontal y el diagrama de bloques están conectados a través de los terminales (elementos que sirven como entradas o salidas de datos). De la misma forma que un indicador luminoso de la caratula de un instrumento está representado como un diodo en la circuitería interna, en un programa en LabVIEW ese mismo indicador luminoso estará representado en el diagrama de bloques como una salida del tipo booleano en el que se escribe un valor.

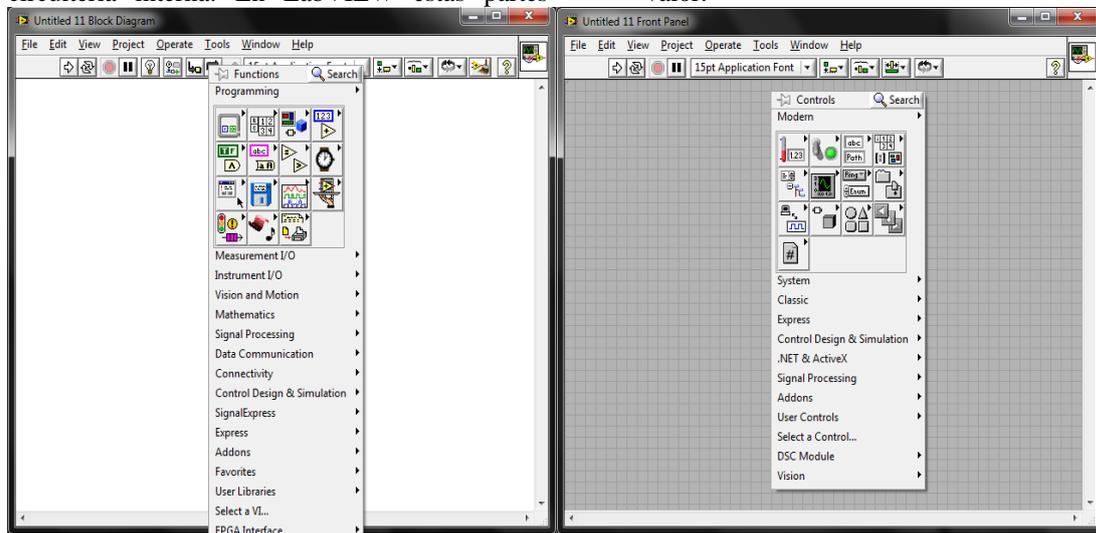


Figura N° 9. Panel frontal y de diagrama de bloques con sus paletas de control y función.

#### *Bovisoft*

Es el programa desarrollado en LabVIEW 2017, que se encarga de realizar el monitoreo de la posición geográfica, día y hora de los 3 vacunos (con estos datos se obtuvo el desplazamiento, tiempo de pastoreo, horario de beber agua, tiempo de dormir de vacunos del CIDBA – ACRAQUIA).

La Figura N° 10 muestra el panel frontal del programa Bovisoft en su versión 0.1; este programa presenta lo siguiente:

#### Configuración del sistema:

Puerto serial: Identifica el número de puerto serial utilizado de la conversión serial/USB del módulo Arduino Uno.

Id Bovino: Número que identifica al bovino monitoreado y toma los valores de 20, 21 y 22.

Latitud, Longitud, Altitud: Muestra la posición geográfica actual del bovino, datos obtenidos del módulo GPS, el cual se actualiza automáticamente. Día, Mes, Año: Datos obtenidos desde el módulo GPS y se actualiza automáticamente.

Hora, Minutos, Segundos: Datos obtenidos desde el módulo GPS y se actualiza automáticamente.

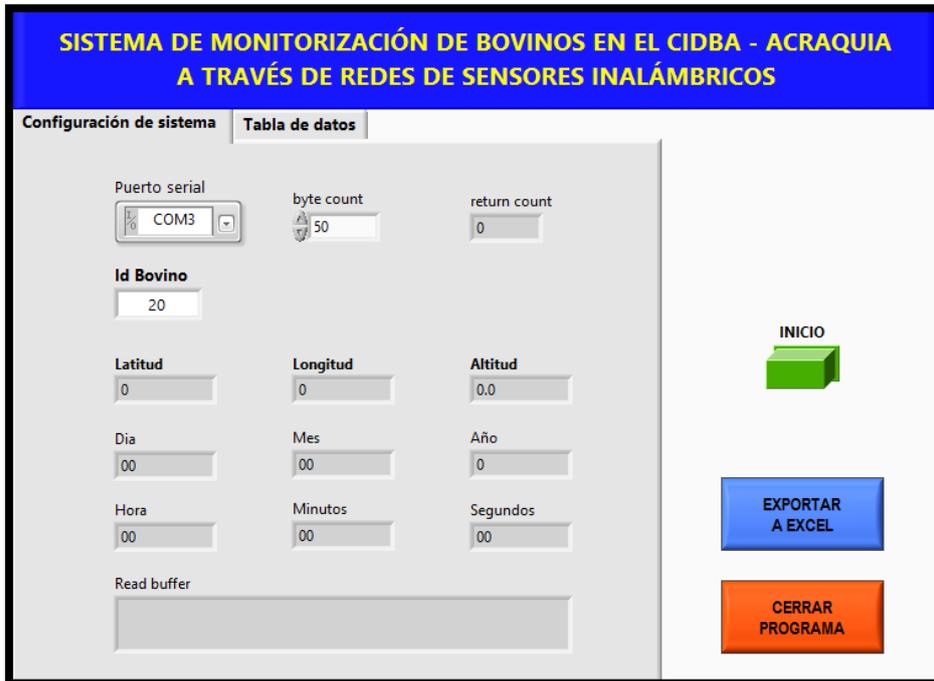


Figura N° 10. Panel frontal, configuración de sistema del programa Bovisoft V 0.1.

*Tabla de datos*

Esta tabla muestra los datos de latitud, longitud, altitud, fecha, hora y id bovino, el cual obedece al formato que será guardado.

Así; mismo se presenta:

Icono cerrar programa: Al hacer clic, se termina de ejecutar el programa.

Icono exportar: Al hacer clic en este icono se presenta una ventana emergente que nos permite guardar los datos obtenidos desde que se inició el programa. La Figura N° 9, muestra el instrumento virtual para generar un reporte de los datos obtenidos.

La Figura N° 11 muestra la tabla de datos del programa Bovisoft V 0.1 dentro del panel frontal.



Figura N° 11. Panel frontal, tabla de datos del programa Bovisoft V 0.1.

La Figura N° 12, muestra el diagrama de bloques del programa Bovisoft V 0.1, en el cual se realiza

la programación a través de las diversas funciones como:

- Programación (donde encontramos: estructuras, arreglos, datos, temporizadores, archivos de E/S, formas de onda, aplicación de control, generación de reporte, etc.)
- Instrumentos de E/S (como VISA, serial, etc.).
- Matemáticas (elemental, algebra lineal, integral/derivadas, etc.).
- Procesamiento de señal (generación de señales, operación con señales, filtros, transformadas, espectros, medidas de onda, etc.).
- Control y simulación (PID, lógica difusa).
- DSC (alarmas y eventos, historial, etc.).

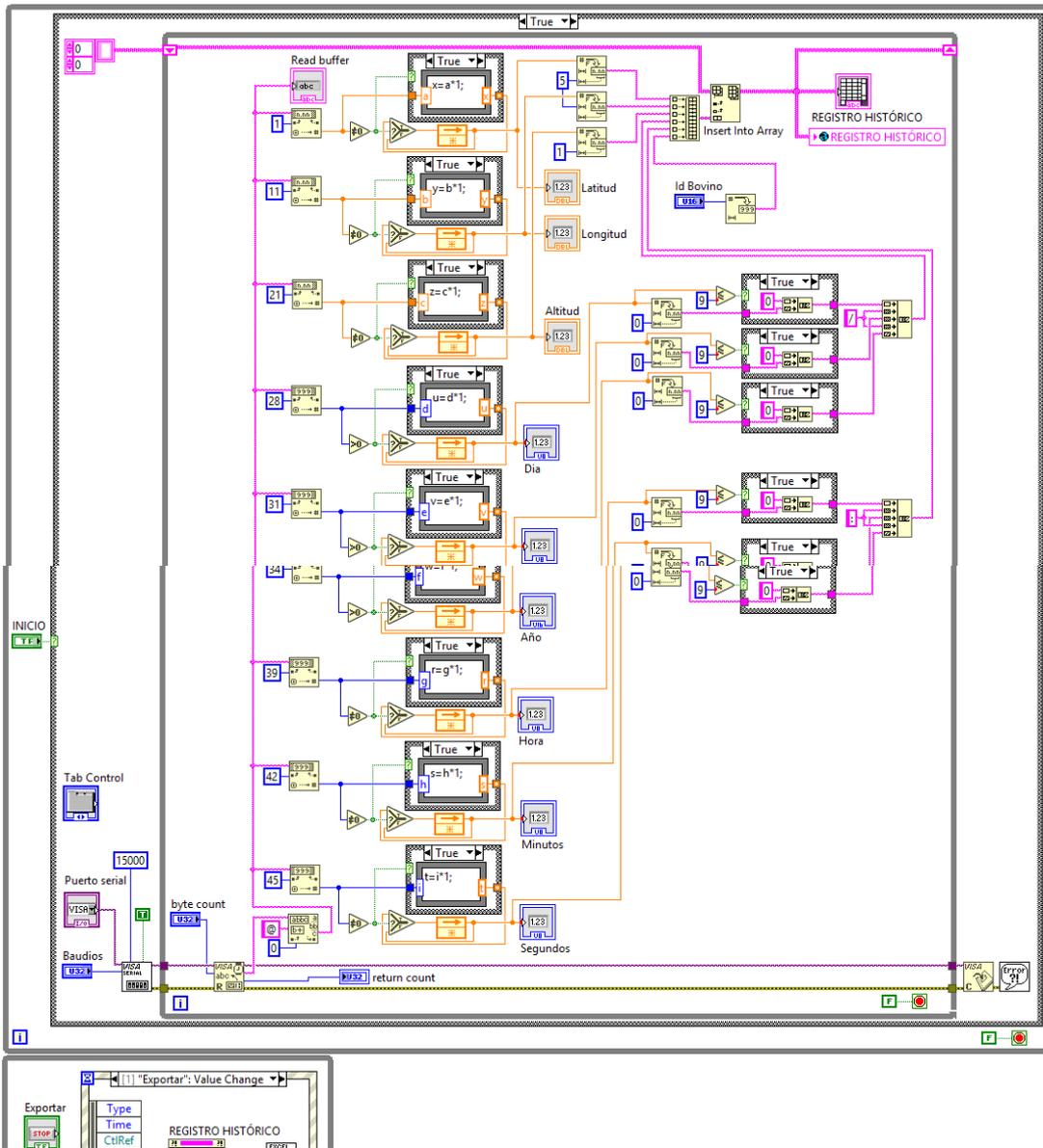


Figura N° 12. Diagrama de bloques del programa BOVISOFT V 0.1

Obtenido los datos con el programa BOVISOFT V 0.1, se puede descargar en archivo Excel. Haciendo clic en el Icono EXPORTAR A EXCEL, se muestra la ventana de la figura 13, al aceptar se

genera el archivo Excel que se abre automáticamente, como se muestra en la Figura N° 14.



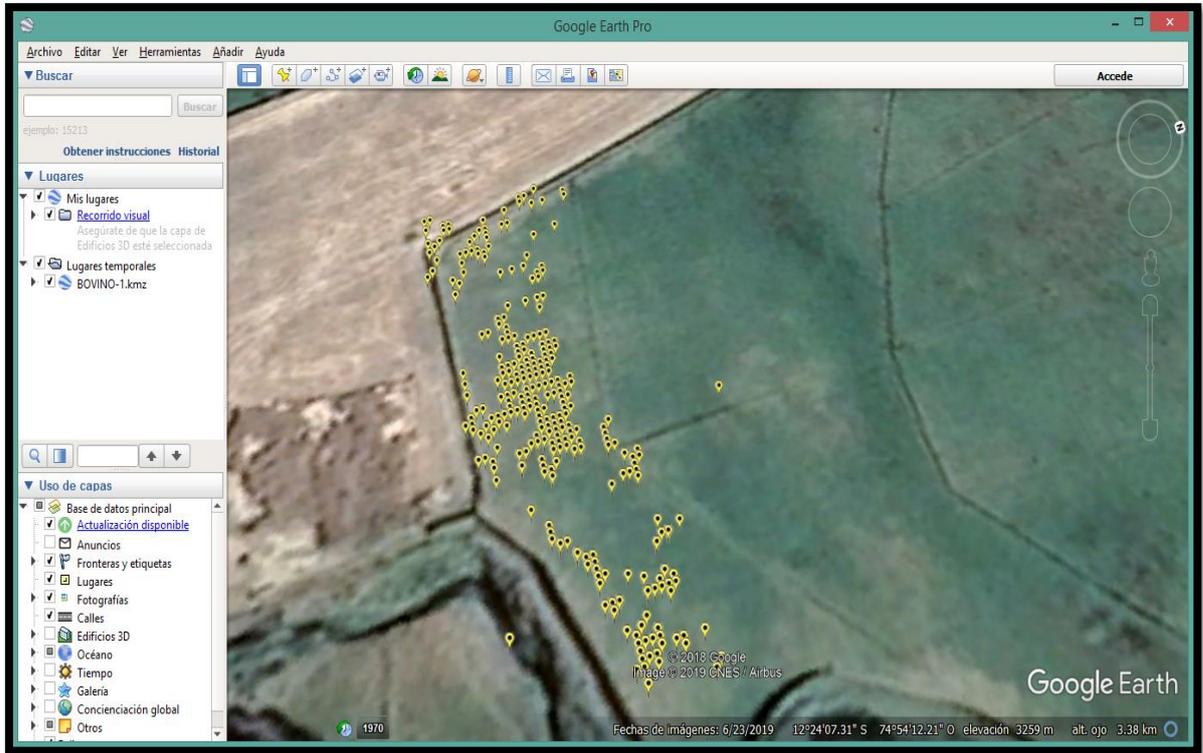


Figura N° 15. Lugar donde se colocó el sistema en el cuello de las vacas y los movimientos realizados.

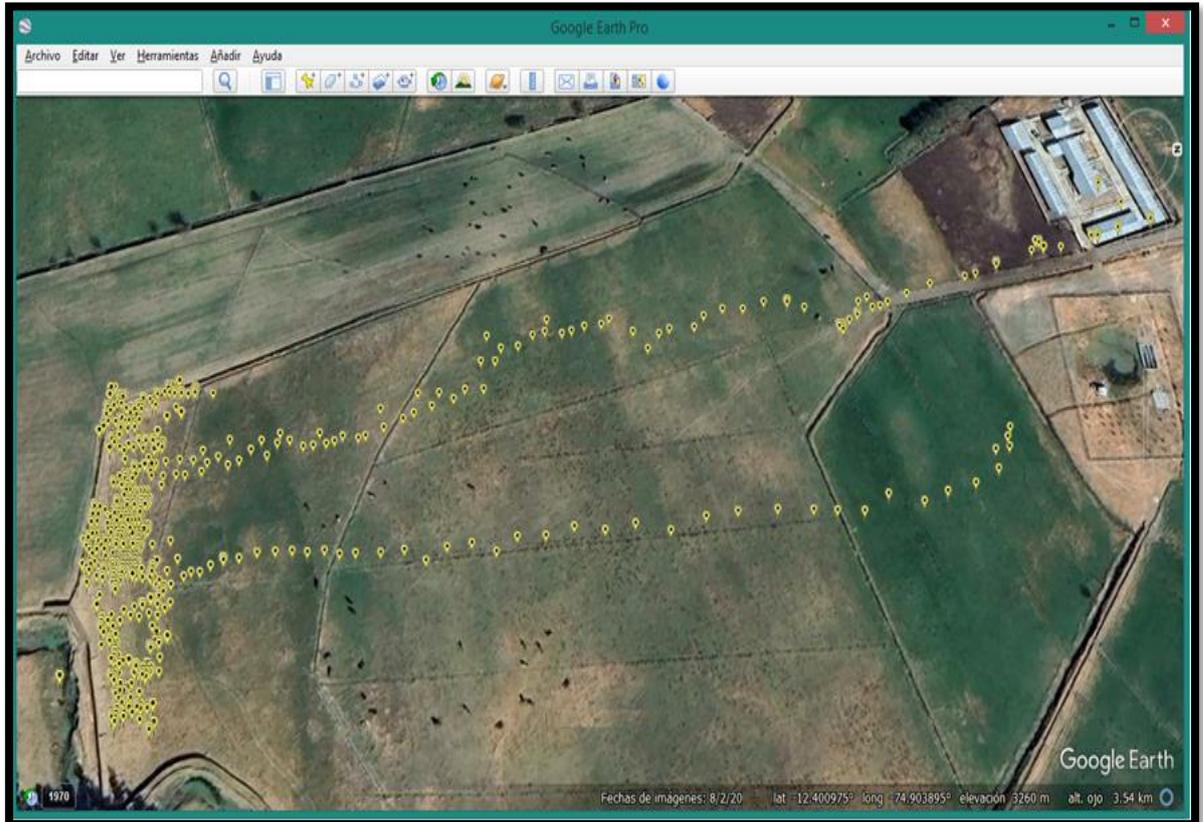


Figura N° 16. Movimiento de la vaca desde que se colocó el sistema en el cuello e ingreso al establo.

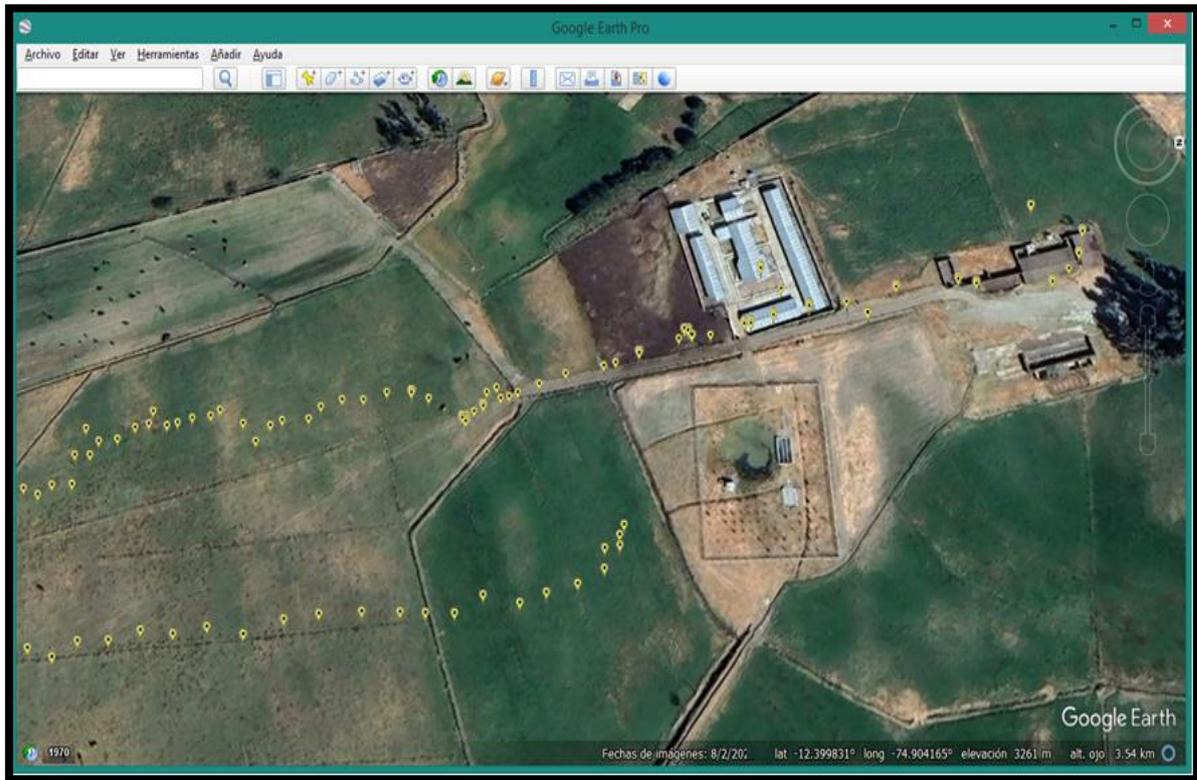


Figura N° 17. Movimiento una vaca que ingresa al establo y luego se le saca el canguro, el cual se lleva a otro lugar.

#### 4. DISCUSIÓN

El desplazamiento (276 metros diarios) encontrado en el presente estudio fue inferior a lo reportado por Polania (2012), quien reporto un desplazamiento de 7.3 Km diarios en vacunos de la raza Brahmán y 6.1 Km diarios en vacunos cruzados (Holstein x Brahmán). Estas diferencias pueden deberse al tipo de sistema de producción, ya que el sistema de producción del Centro de Investigación y Desarrollo de Bovinos – Acaquia es semi intensivo (pastoreo basado en pastos cultivados y cercas eléctricas) y del estudio reportado por Polania es extensivo (pastoreo libre y basado en pastos naturales).

El tiempo de pastoreo (8.26 horas) reportado en el presente trabajo es ligeramente inferior a los reportados por Soca et al. (2007) y Benitez et al. (2007), quienes reportaron un tiempo de pastoreo de 9 horas y 9.58 horas respectivamente. Estas diferencias probablemente se deban a tipo de sistema de producción, ya que los trabajos conducidos por Soca et al. (2007) y Benitez et al. (2007) fueron en sistemas extensivos, por otro lado, también las diferencias se pueden atribuir al sexo de los vacunos, ya que en el presente trabajo se utilizaron animales del sexo hembras (vacas en producción) y en los estudios mencionados utilizaron animales del sexo macho (novillos), y

como se sabe el comportamiento y manejo en machos y hembras difiere.

Respecto a los horarios de beber agua, los resultados de la presente investigación son similares a los reportados por Fundora et al. (2007) y Rivadeneira (2007).

#### 5. CONCLUSIONES

Los valores encontrados para desplazamiento, tiempo de pastoreo y tiempo de dormir de los bovinos del CIDBA fueron 276 metros, 8.26 horas y 11.35 horas respectivamente. Asimismo, el horario de beber oscilo entre las 08:55 horas y las 10:05 horas por la mañana y de las 12:59 horas hasta las 14:15 horas por la tarde. Finalmente, el uso de redes de sensores inalámbricos representa una herramienta innovadora y eficiente para mejorar la gestión del pastoreo en sistemas ganaderos, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la conservación de los recursos naturales. Se recomienda fortalecer la infraestructura tecnológica, capacitar a los usuarios y fomentar la integración con programas de manejo sostenible.

#### 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al FONDO DE APOYO ECONÓMICO A LOS DOCENTES INVESTIGADORES (FAEDI) de la Universidad Nacional de Huancavelica por el apoyo logístico.

## 7. REFERENCIAS

- Anderson, P., Smith, J., & Brown, L. (2013). Advances in GPS technology for cattle tracking. *Journal of Animal Science*, 91(2), 456-469.
- Arce, A. I. C., Tech, A. R. B., Silva, A. C. D. S., & Costa, E. J. X. (2009). Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. *Archivos de zootecnia*, 58(222), 253-263.
- Benítez, D., Ramírez, A., Díaz, M., Ray, J., Guerra, J., & Vegas, A. (2007). Comportamiento de machos vacunos en un sistema racional de pastoreo en el Valle del Cauto. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3), 227-230.
- Brown, R., & Taylor, H. (2020). Rotational grazing and technology: A winning combination. *Journal of Sustainable Agriculture*, 42(1), 34-47.
- Fernández, J., López, E., & Vásquez, D. (2021). Innovative practices in Andean cattle systems. *Revista Andina de Ganadería*, 35(2), 45-57.
- Fundora, O., Tuero, O., González, M. E., Rivadeneira, W., Alonso, F., & Vera, A. M. (2007). Estudio comparativo de la conducta alimentaria de búfalos de río y vacunos de la raza Siboney de Cuba en la etapa de ceba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3), 243-247.
- García, R., Fernández, A., & López, M. (2015). Patterns of cattle grazing using wireless sensors. *Agricultural Systems*, 136, 95-102.
- Guzmán, C., & Herrera, L. (2021). Resilience through technology in rural communities. *Technology and Society*, 15(1), 67-81.
- Herrera, R., & Vargas, P. (2022). Adopting IoT for sustainable cattle farming in Latin America. *Journal of Agriculture and Technology*, 75(4), 193-207.
- Johnson, D., & White, C. (2020). Optimizing livestock production through data-driven decisions. *Journal of Agricultural Science*, 68(1), 22-33.
- Jones, H., Miller, D., & Wilson, T. (2017). Environmental monitoring using wireless sensors in livestock systems. *Journal of Climate Research*, 45(3), 221-235.
- López, G., Martínez, C., & Ortiz, F. (2020). Impact of grazing management on soil conservation. *Soil and Environment*, 12(4), 330-345.
- Martínez, H., & Gómez, A. (2019). Economic analysis of wireless sensor networks in livestock. *Agricultural Economics*, 59(2), 85-98.
- Nagl, L., Schmitz, R., Warren, S., Hildreth, T. S., Erickson, H., & Andresen, D. (2003, September). Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle. In *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE Cat. No. 03CH37439)* (Vol. 4, pp. 3012-3015). IEEE.
- Ortiz, R., García, M., & Paredes, S. (2022). Sustainable livestock in rural highlands. *Journal of Rural Studies*, 89(3), 90-102.
- Polania Ortiz, Y. E. (2012). Movimiento De Vacunos En Un Paisaje Arbolado Y Su Relación Con El Gasto De Energía.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rivadeneira Torres, W. A. (2012). Comparación de Conducta Alimentaria Entre Búfalos de Río (*Bubalus Bubalis*) y Bovinos (*Bos indicus*), Bajo un Sistema de Alimentación "AD LIBITUM" y en Confinamiento Total (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Rodríguez, P., Gómez, J., & Fernández, E. (2018). Animal health monitoring using IoT technologies. *Veterinary Journal*, 203(5), 210-220.
- Smith, L., Johnson, K., & Taylor, P. (2019). Wireless networks in modern cattle farming: A review. *Livestock Science*, 208, 115-125.
- Soca, P. M., Cabrera, M. R., & Bruni, M. A. (2007). Nivel de suplementación, ganancia de peso vivo y conducta de vacunos en crecimiento bajo pastoreo de campo natural. *Agrociencia Uruguay*, 11(1), 1-10.
- Wilson, J., Taylor, M., & Rodríguez, L. (2021). Technological advances in grazing pressure assessment. *Journal of Environmental Science*, 56(3), 123-137.