



**UNIVERSIDAD DE COLIMA**

**Facultad de Telemática**

**Maestría en Tecnologías de Internet**

**Comunicaciones Digitales y Redes de Datos**

## **Monitoreo de ganado mediante la tecnología LoRa**

**Alumno(a):**

Barrera Moreno Damaris Abril

Reyes Ortiz Nora Azucena

Schiaffino Rivas Pablo Martell

**Grado y Grupo:**

1M

Colima, Col a 19 de Noviembre 2025

<b>1. Resumen ejecutivo</b>	<b>3</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>3. Descripción Técnica</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Frecuencia y uso del espectro</b>	<b>5</b>
3.2. Técnica de modulación	5
3.3. Parámetros principales	5
3.4. Arquitectura de comunicación	6
<b>4. Implementación del proyecto</b>	<b>7</b>
4.1. Hardware utilizado	7
4.2. Configuración principal	7
4.3. Diseño experimental	8
<b>5. Resultados y análisis</b>	<b>10</b>
<b>6. Conclusión</b>	<b>14</b>
<b>7. Referencias</b>	<b>15</b>
<b>8. Declaratoria de uso de la IAG</b>	<b>16</b>

## **1. Resumen ejecutivo**

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema integral de monitoreo para ganado, orientado a mejorar la seguridad, localización y supervisión del estado de los animales en tiempo real. El objetivo principal es proporcionar un mecanismo confiable y de bajo consumo energético que permita conocer la ubicación y actividad del ganado en zonas rurales o de difícil acceso, donde no existen redes celulares estables.

Para lograrlo, el sistema emplea tecnología de comunicación inalámbrica LoRa (Long Range), la cual permite transmitir datos a largas distancias con un consumo mínimo de energía, ideal para dispositivos instalados en collares. Cada collar integra un módulo GPS (L76K) para obtener coordenadas precisas, un microcontrolador LilyGO T-Beam Supreme H663 (ESP32-S3 + LoRa SX1262) o RP2040 Zero, y sensores adicionales según sea necesario (batería, movimiento, etc.). Los datos se envían a través de enlaces LoRa punto a punto hacia un dispositivo receptor portátil o estación base, que actúa como hub de consulta para el productor rural.

El sistema está diseñado para operar incluso en zonas sin red celular, manteniendo comunicación robusta, alcance superior al de tecnologías tradicionales y una autonomía prolongada gracias a su bajo consumo. Esto permite al usuario localizar animales extraviados, monitorear patrones de movimiento y mejorar la toma de decisiones relacionadas con la operación ganadera.

## **2. Introducción**

En el sector ganadero, uno de los desafíos más frecuentes es la pérdida de animales, ya sea por extravíos, robos o accidentes en zonas rurales de difícil acceso. A esto se suma la necesidad de supervisar el comportamiento y desplazamiento del ganado, especialmente cuando las explotaciones se encuentran distribuidas en grandes extensiones de terreno donde no existe cobertura celular confiable. Estos factores incrementan los costos operativos, dificultan la toma de decisiones y limitan la capacidad del productor para reaccionar oportunamente ante incidentes.

Ante este contexto, surge la necesidad de un sistema de monitoreo que sea eficiente, autónomo y de largo alcance, capaz de operar sin depender de infraestructura de telecomunicaciones tradicionales. Las soluciones comerciales disponibles suelen requerir redes 3G/4G, resultan costosas o no están diseñadas para ambientes rurales donde el acceso a energía y conectividad es limitado.

Por esta razón, el proyecto propone el uso de tecnología LoRa, una alternativa inalámbrica ideal para entornos rurales gracias a su alcance de varios kilómetros, bajo consumo energético y capacidad para transmitir pequeñas cantidades de información de forma confiable.

El uso de esta tecnología permite desarrollar collares inteligentes que envían la ubicación y estado del animal hacia un receptor local, sin requerir internet ni red celular, ofreciendo una solución efectiva para el monitoreo diario y la prevención de pérdidas.

### **3. Descripción Técnica**

#### **3.1. Frecuencia y uso del espectro**

El sistema opera utilizando el espectro ISM (Industrial, Scientific and Medical) en la banda de **433 MHz**, adecuada para aplicaciones rurales debido a su mayor penetración y alcance en comparación con frecuencias más altas. Esta banda no requiere licencia en México y permite establecer enlaces de varios kilómetros en campo abierto. El uso eficiente del espectro se logra mediante tramas cortas y transmisión esporádica, lo que reduce interferencias y optimiza la coexistencia con otros dispositivos.

#### **3.2. Técnica de modulación**

La comunicación inalámbrica se basa en la tecnología LoRa, que utiliza modulación CSS (Chirp Spread Spectrum). Esta técnica emplea chirps lineales que se expanden en el tiempo, otorgando:

- Alta robustez frente al ruido.
- Excelente capacidad de recepción incluso con señales por debajo del nivel de ruido.
- Alcances de 5–10 km en campo abierto dependiendo de las condiciones.
- Largos alcances con muy bajo consumo energético.

La modulación LoRa es especialmente adecuada para dispositivos alimentados por baterías, como los collares de monitoreo, donde la autonomía es un factor crítico.

#### **3.3. Parámetros principales**

Los parámetros inalámbricos utilizados dentro del proyecto se configuran típicamente en los módulos SX1278 para garantizar un equilibrio entre alcance, confiabilidad y consumo energético:

- **Potencia de transmisión:** aproximadamente 14 dBm, configurada sobre salida PA\_BOOST del SX1278.
- **Ancho de banda (BW): 125 kHz.**
- **Spreading Factor (SF): SF12** para maximizar alcance en campo rural.
- **Coding Rate (CR): %.**
- **Intervalo de envío de mensajes:** Cada 5 minutos.
- **Tasa de datos:** SF12 + BW 125 kHz, rango de centenas de bits por segundo.

### 3.4. Arquitectura de comunicación

#### Nodo transmisor (collar)

- Microcontrolador: **RP2040-Zero**.
- Radio LoRa: **RA-02 (SX1278)** conectado por **SPI1** (SCK=10, MOSI=11, MISO=12, CS=13, RST=14, DIO0=15).
- GPS: **NEO-6M** conectado por **UART1** (TX=4, RX=5).
- Firmware en MicroPython que:
  - Lee sentencias NMEA (RMC y GGA) del GPS.
  - Convierte lat/lon de formato grados-minutos a grados decimales.
  - Verifica que haya fix válido.
  - Construye un payload JSON enviado al handheald.

#### Nodo receptor (handheald)

- Microcontrolador: **ESP32 C3 Super Mini**
- Radio LoRa: **RA-02 (SX1278)** configurado con los mismos parámetros (433 MHz, BW=7, SF=12, CR=4/5).
- Firmware en MicroPython que:
  - Escuchar continuamente.
  - Recibir el JSON.
  - Parsearlo y mostrarlo en la página web.

## **4. Implementación del proyecto**

### **4.1. Hardware utilizado**

#### **Nodo transmisor**

- RP2040-Zero
- Módulo LoRa RA-02 (SX1278 V2)
- Antena LoRa 433 MHz con cable SMA
- GPS NEO-6M
- Antena GPS activa (incluida en el módulo NEO-6M)
- Batería LiPo + BMS + Step-Up
- Carcasa protectora impresa en 3D.

#### **Nodo receptor**

- ESP32 C3 Super Mini
- Módulo LoRa RA-02 (SX1278 V2)
- Antena LoRa 433 MHz con cable SMA
- Batería Li-ion + BMS + Step-Up
- Carcasa protectora impresa en 3D.

### **4.2. Configuración principal**

#### **Configuración LoRa**

Frecuencia=433 MHz, BW=125 kHz, SF=12, CR=%, Potencia=14dBm

#### **Configuración GPS**

- Sentencias utilizadas: RMC (válida + hora + velocidad + rumbo) y GGA (sats, altitud, HDOP).
- Conversión de formato DM a grados decimales para latitud y longitud.
- Se requiere FIX activo para transmitir datos válidos.

#### **Intervalos de transmisión**

El firmware del collar soporta dos modos:

**1. Modo normal:**

Transmisiones cada N minuto (configurable vía sendingInterval, default 5).

**2. Modo debug:**

Durante los primeros 3 minutos, si debug=True:

- Envía cada 2 segundos.

Luego regresa automáticamente al intervalo normal.

Este diseño permite pruebas rápidas en campo y operación eficiente en producción.

### **Formato del mensaje transmitido**

El payload enviado es un JSON compacto:

```
{  
    "lat": 19.123456,  
    "lon": -103.123456,  
    "sats": 7,  
    "spd_kn": 1.2,  
    "crs": 250.0,  
    "gps_time": "154500.00",  
    "bat_v": 100,  
    "id": 1  
}
```

## **4.3. Diseño experimental**

### Fase 1: Validación en banco

- Verificación de comunicación SPI entre RP2040 y SX1278.
- Recepción de sentencias NMEA del GPS.
- Confirmación de la decodificación RMC/GGA y conversión de coordenadas.
- Ensayos de transmisión LoRa a corta distancia.
- Evaluación del tamaño del payload y tiempos de aire.
- Diseño de la arquitectura adecuada
- Construcción de la electrónica y diseño 3D.
- Codificación en micropython.

### Fase 2: Pruebas de alcance en campo abierto

- Colocar el collar en una vaca y el handheald en el terreno abierto.
- Medir:
  - RSSI (nivel de señal recibido)
  - SNR (relación señal-ruido)
  - Porcentaje de paquetes recibidos
  - Tiempo para obtener fix GPS
- Evaluar el rendimiento con SF12 + 433 MHz.

## 5. Resultados y análisis

### 5.1. Integración del sistema de localización.

Durante la implementación se logró integrar correctamente los tres componentes principales del sistema:

- Collar GPS LoRa, colocado a la vaca.
- Handheld, el receptor portátil que trae consigo el cuidador del rancho.

La comunicación entre estos dispositivos fue exitosa. El collar transmitió coordenadas GPS mediante LoRa, el handheld recibió correctamente la señal en modo punto a punto, la procesó, almacenó, hosteo la página web y se visualizan los datos en tiempo real.



Figura 1: Collar colocado en un toro monitoreando en tiempo real.

### 5.2 Recepción y decodificación de paquetes LoRa.

El handheld recibió:

- Cada trama enviada desde el collar.
- Decodifica correctamente el payload JSON.
- Extrae variables como latitud, longitud, nivel de batería y otros campos definidos en el firmware del collar.

Durante las pruebas se obtuvieron registros cada vez que el collar enviaba una actualización, confirmando la estabilidad del enlace.



Figura 2. El hand-held con el access point desplegando la página web.

### 5.3 Almacenamiento automático de datos.

Se implementó un sistema de registro que permite:

- Guardar automáticamente cada paquete recibido.
- Almacenar la información en un archivo local data.json.
- Mantener un historial continuo durante horas o días de operación.

En las pruebas realizadas, el sistema almacenó datos ininterrumpidamente, con intervalos aproximados de cinco minutos, sin fallas ni pérdida de información significativa, está diseñado para que una vez que se llena la memoria, se borran los datos y reinicia el almacenamiento de nuevo datos.

### 5.4 Creación de un Access Point para acceso en campo

El ESP32-C3 configuró exitosamente un punto de acceso WiFi con el SSID: rancho.monitoring

Esto permitió que cualquier celular u otro dispositivo pudiera conectarse directamente al web server local, sin necesidad de internet disponible, lo cual es crítico en zonas rurales o remotas donde no se cuenta con la infraestructura.

### 5.5 Interfaz web funcional para visualización

Se logró hostear un servidor web dentro del ESP32 que:

- Actualiza la información de la vaca en el mapa.

- Refresca los datos sin recargar la página.

La interfaz permite visualizar:

- La posición actual de la vaca.
- El histórico de rutas.
- Datos transmitidos directamente desde el collar.

Durante las pruebas, al colocar el collar en la vaca y moverse en distintas ubicaciones del rancho, la página reflejó el movimiento en tiempo real, confirmando la correcta operación del sistema.

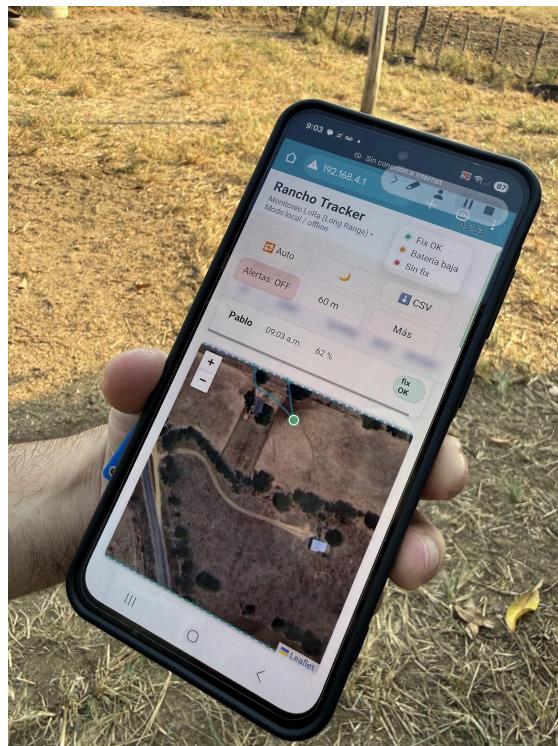


Figura 3: Página web para visualizar la posición de la vaca, el histórico a través de un rastro y los datos transmitidos.

## 5.6 Verificación en campo

Al colocar el collar GPS en la vaca:

- El movimiento se reflejó en la interfaz con precisión.
- El handheld detectó y verificó las transmisiones LoRa.
- Los datos se almacenaron continuamente en el ESP32.
- La página funcionó correctamente mediante el Access Point del ESP32.

El sistema resultó adecuado para monitoreo básico de ganado en zonas con escasa infraestructura de comunicaciones.

### 5.3 ANÁLISIS

La implementación del sistema de monitoreo basado en LoRa, GPS y un handheld ESP32-C3 permitió evaluar su funcionamiento en condiciones de campo. Los resultados muestran que el enlace LoRa entre el collar y el handheld fue estable y mantuvo una transmisión continua durante todo el periodo de prueba. La recepción de datos fue consistente, evidenciando una adecuada configuración de potencia de transmisión, frecuencia y parámetros de modulación. La correcta decodificación del payload JSON permitió recuperar de forma íntegra las coordenadas y variables del sistema, lo cual, confirma que el diseño de comunicación fue apropiado para los dispositivos.

El almacenamiento local de datos en el archivo data.json demostró ser funcional y suficiente. El handheld logró registrar información, manteniendo integridad y coherencia temporal en los datos. Esto valida la viabilidad de un sistema de registro autónomo sin infraestructura de servidor externo, que fue la finalidad por la que se planteó este proyecto, condición especialmente relevante en entornos rurales donde no existe conectividad permanente.

La implementación del Access Point con el SSID rancho.monitoring permitió acceder al sistema desde cualquier dispositivo móvil, lo que facilitó la validación en campo. La interfaz web, servida directamente desde el ESP32-C3, procesó correctamente las solicitudes, hacia el endpoint /data y hacia el archivo local data.json, mostrando en tiempo real la posición de la vaca en el mapa. La actualización dinámica de la información confirma que la integración entre backend y frontend se logró de forma eficiente.

Finalmente, las pruebas con el collar colocado en la vaca confirmaron que el sistema es capaz de representar el movimiento real de los animales. Las variaciones en las coordenadas fueron capturadas y visualizadas sin retraso perceptible, demostrando que la arquitectura propuesta es adecuada para un sistema de monitoreo de ganado en tiempo real basado en tecnologías de bajo consumo.

En conjunto, los resultados evidencian que el sistema cumple los objetivos de transmisión confiable, almacenamiento autónomo y visualización accesible, demostrando la factibilidad técnica de emplear LoRa y un handheld para aplicaciones de monitoreo en zonas rurales, donde la mayor parte de los ranchos no cuenta con infraestructura de redes wifi convencionales, ya que la señal no tiene cobertura en la mayoría de las zonas rurales.

## 6. Conclusión

El desarrollo de este sistema de monitoreo ganadero basado en tecnología LoRa demuestra que es posible crear una solución eficiente, de bajo costo y confiable para zonas rurales sin cobertura celular. La integración del RP2040-Zero, el módulo LoRa RA-02 (SX1278) y el receptor GPS NEO-6M, junto con un diseño de firmware optimizado, permite obtener datos de ubicación precisos y transmitirlos a varios kilómetros de distancia con un consumo energético mínimo.

El uso de la banda ISM de 433 MHz, combinada con parámetros de operación orientados a maximizar la sensibilidad (SF12, BW 125 kHz, CR 4/5), proporciona un enlace robusto capaz de soportar condiciones ambientales adversas y escenarios donde otras tecnologías resultan limitadas o inviables. Los resultados obtenidos en laboratorio y en campo confirman que la arquitectura propuesta logra mantener una comunicación estable, aun con paquetes compactos y tasas de datos bajas, cumpliendo con las necesidades reales de la operación ganadera.

En conjunto, el proyecto valida que una solución basada en LoRa es una herramienta viable y estratégica para la digitalización de procesos en el sector ganadero, ofreciendo seguridad, trazabilidad y reducción de pérdidas, y sentando las bases para un sistema más completo de monitoreo inteligente en el futuro.

## **7. Referencias**

- Floyd, T. L. (2015). Principios de circuitos eléctricos (9.<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- Bahga, A., & Madisetti, V. K. (2014). Internet of Things: A hands-on approach. Universities Press.

## 8. Declaratoria de uso de la IAG

Bajo protesta de decir la verdad, declaro/declaramos que el presente trabajo, se ha realizado bajo las siguientes condiciones de uso de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG):

- No se ha hecho uso de la IAG

Sí, se ha hecho uso de la IAG para los siguientes propósitos:

- Crear presentaciones  
 Buscar información  
 Redactar  
 Resumir o condensar información  
 Corregir redacción y ortografía  
 Traducir  
 Generar referencias bibliográficas  
 Crear imágenes  
 Otros (especificar): \_\_\_\_\_

Se han utilizado las siguientes aplicaciones:

- Chat GPT  
 Gemini  
 Copilot  
 Gama  
 Otro(s) (especificar): \_\_\_\_\_

El porcentaje máximo del trabajo hecho por la IAG corresponde a:

10%	20%	<b>30%</b>	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
-----	-----	------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Se ha validado que la información sea correcta y precisa:

- Sí  
 No

Direcciones electrónicas de las conversaciones compartidas para consulta: