loT-Based Intelligent System for Remote Monitoring of Physiological Variables in Cattle Using a smart Collar

Ortiz-Vásquez Heydi Mari Cielo[1]; Rabanal-Díaz Isabel del Pilar[2]; Medina-Caballero Jorge[3]

[1-3]Universidad Privada del Norte, Perú, n00323749@upn.pe, n00322533@upn.pe, Jorge.m.caballero@upn.edu.pe

Abstract– This study proposes the development of a smart livestock monitoring system based on loT technology for the early detection of diseases in cattle in the Cajamarca region. The system consists of a smart collar that measures physiological variables such as body temperature and activity levels, enabling the identification of abnormal patterns in livestock behavior. The collected data is processed and sent to a mobile app, which generates alerts and recommendations to support the livestock farmer's decision-making, even in areas with limited internet connectivity. The proposal aims to improve productivity, reduce economic losses, and contribute to the sustainability of the livestock sector through the use of accessible and efficient technologies.

Keywords:

Sistema inteligente basado en LOT para el monitoreo remoto de variables fisiológicas en bovinos mediante un collar inteligente

Ortiz-Vásquez Heydi Mari Cielo[1]; Rabanal-Díaz Isabel del Pilar[2]; Medina-Caballero Jorge[3]

Resumen– ***Este estudio propone el desarrollo de un sistema inteligente de monitoreo ganadero basado en tecnología loT para la detección temprana de enfermedades en bovinos en la región Cajamarca. El sistema consiste en un collar inteligente que mide variables fisiológicas como la temperatura corporal y el nivel de actividad, permitiendo identificar patrones anómalos en el comportamiento del ganado. La información recolectada es procesada y enviada a una aplicación móvil donde se generan alertas y recomendaciones para apoyar la toma de decisiones del ganadero, facilitando el monitoreo continuo de los bovinos mediante tecnologías de comunicación y almacenamiento de datos. La propuesta busca mejorar la productividad, reducir pérdidas económicas y contribuir a la sostenibilidad del sector ganadero mediante el uso de tecnologías accesibles y eficientes.***

Palabras clave:

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina desempeña un papel fundamental en los sistemas agroalimentarios al contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y el desarrollo de las economías rurales. Según la ref. **[1]** el crecimiento sostenido de la demanda de productos de origen animal, junto con la necesidad de incrementar la productividad de manera sostenible, ha impulsado la incorporación de tecnologías que permitan optimizar la gestión pecuaria, promover el bienestar animal y fortalecer la toma de decisiones basada en datos.

En este escenario, según la ref. **[2]** la Precision Livestock Farming (PLF) se ha consolidado como uno de los enfoques tecnológicos más prometedores para la modernización de la ganadería. Así, la ref. **[3]** este paradigma integra tecnologías como sensores inteligentes, dispositivos portátiles e internet de las Cosas (loT), permitiendo la adquisición continua de información fisiológica, comportamental y ambiental de los animales, es por ello que la ref. **[4]** nos habla de la disponibilidad de estos datos favorece la detección temprana de alteraciones sanitarias, optimiza las prácticas de manejo y contribuye a una gestión más eficiente y sostenible de los sistemas ganaderos, mediante el empleo de sensores portátiles y plataformas de monitoreo continuo.

La ref. **[5]** nos habla en el Perú, la actividad ganadera constituye una importante fuente de ingresos para miles de pequeños y medianos productores, especialmente en las regiones altoandinas, donde la producción de leche representa una de las principales actividades económicas del sector agropecuario. A pesar de su relevancia, en numerosas explotaciones pecuarias el seguimiento del estado sanitario de ganado continúa realizándose mediante la observación visual y la experiencia del productor, lo que limita la detección oportuna de enfermedades y dificulta la implementación de estrategias preventivas sustentadas en la información objetiva.

Según la ref. **[5]** entre las regiones con mayor importancia en la producción lechera nacional destaca Cajamarca, lo cual registra uno de los mayores volúmenes de producción de leche fresca del país. Esta relevancia productiva convierte a la región en un escenario apropiado para la incorporación de tecnologías de monitoreo inteligente que contribuyan al seguimiento continuo del estado sanitario del ganado, favorezcan la detección temprana de alteraciones fisiológicas y apoyen la reducción de pérdidas económicas asociadas a problemas de salud animal.

Entre los principales factores que afectan la productividad bovina se encuentran la mastitis y el estrés térmico. La ref. **[6]** nos describe que la mastitis continúa siendo una de las enfermedades de mayor impacto económico en los sistemas de producción lechera debido a la disminución del rendimiento, el incremento de los costos de tratamiento y las pérdidas ocasionadas por el descarte de leche y animales, por lo que su identificación temprana constituye una estrategia esencial para reducir sus efectos. De manera similar, según la ref. **[7]** el estrés térmico ocasiona alteraciones en la temperatura corporal, la actividad y el comportamiento del ganado, comprometiendo el bienestar animal y disminuyendo el rendimiento productivo. En consecuencia, el monitoreo continuo de estas variables representa una herramienta de gran importancia para fortalecer la gestión sanitaria de los sistemas ganaderos.

Según la ref. **[2]** diversas investigaciones han demostrado el potencial de los sistemas basados en loT para el monitoreo inteligente del ganado. Asimismo, la ref. **[3]** el desarrollo de arquitectura que integran sensores, dispositivos de comunicación y plataforma de procesamiento ha ampliado las posibilidades para el seguimiento continuo de variables relevantes en la producción pecuaria. Sin embargo, la literatura de la ref. **[4]** reciente continúa identificando desafíos relacionados con la integración de múltiples variables fisiológicas y de comportamiento en soluciones de bajo costo, fácilmente implementables y adaptadas a las condiciones de los pequeños y medianos productores. En este contexto, el desarrollo de dispositivos capaces de integrar temperatura corporal, actividad y geolocalización dentro de una misma

arquitectura loT constituye una alternativa prometedora para fortalecer el monitoreo inteligente del ganado.

En respuesta a esta necesidad, el presente trabajo propone el desarrollo de un prototipo de collar inteligente basado en internet de las cosas (loT) para el monitoreo del ganado bovino, empleando un microcontrolador ESP32 integrado con sensores destinados a la adquisición de variables fisiológicas y de comportamiento, así como una plataforma de visualización en tiempo real. El objetivo de la investigación es diseñar e implementar una solución tecnológica que contribuya al seguimiento continuo del estado de los animales, facilite la detección temprana de posibles anomalías y apoye la toma de decisiones orientadas a mejorar la productividad y el bienestar del ganado.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo preexperimental, ya que comprende el diseño e implementación de un prototipo de collar inteligente basado en tecnología loT para el monitoreo de variables fisiológicas y de comportamiento en bovinos lecheros. Este tipo de estudio de acuerdo la ref. **[6]** permite evaluar una propuesta tecnológica mediante la implementación de un prototipo funcional, sin incorporar un grupo de control.

El desarrollo metodológico se estructuró en cinco fases consecutivas, las cuales abarcaron desde el diseño de la arquitectura del sistema hasta la evaluación de la viabilidad de su implementación. Cada fase fue definida con el propósito de garantizar la integración de los componentes de hardware y software, el establecimiento del procedimiento de monitoreo y la validación de la propuesta tecnológica mediante información científica especializada.

Fase I: En esta fase se definió la arquitectura general del collar inteligente, estableciendo la estructura funcional del sistema y la interacción entre sus componentes. Se seleccionó el microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento debido a su capacidad de comunicación inalámbrica y compatibilidad con aplicaciones loT. Asimismo, se determinaron los sensores encargados del monitoreo de temperatura corporal (DS18B20), movimiento (MPU6050) y ubicación geográfica (GPS NEO – 6M), considerando su precisión, disponibilidad y facilidad de integración.

Posteriormente, se diseñó el flujo de información desde la adquisición de las variables hasta su visualización remota, definiendo la comunicación entre los sensores, el microcontrolador, la red WiFi y la plataforma Blynk Cloud. A partir de esta selección de componentes, se estimó el costo de implementación del prototipo, considerando los elementos necesarios para su construcción, como parte de la evaluación de su viabilidad económica. De esta manera, la arquitectura definida estableció tanto los requerimientos funcionales como los elementos necesarios para el posterior desarrollo e integración física del prototipo.

Fase II: Con la arquitectura previamente establecida, se desarrolló el proceso de integración del prototipo mediante el ensamblaje de los componentes electrónicos, la configuración del microcontrolador ESP32 y la programación del sistema de monitoreo. Se realizó la conexión de sensores y del módulo GPS al microcontrolador, verificando la compatibilidad eléctrica y el correcto intercambio de información ente los dispositivos antes de habilitar la transmisión de datos.

Posteriormente, se desarrolló el programa de control del sistema utilizando Arduino IDE, incorporando las librerías necesarias para la adquisición de datos, el procesamiento de las variables monitoreadas y la transmisión de la información hacia la plataforma Blynk Cloud mediante conexión WiFi. Finalmente, se realizaron pruebas funcionales para verificar la correcta comunicación entre los componentes implementados, comprobando la adquisición y transmisión de los datos hacia la plataforma de monitoreo. Estas pruebas constituyeron la base para la evaluación técnica presentada en la sección de resultados.

Fase III: En esta fase se configuró la plataforma Blynk Cloud para la recepción, almacenamiento y visualización de los datos transmitidos por el ESP32. Asimismo, se definieron las variables monitoreadas por el sistema, estableciendo la frecuencia de adquisición de datos y la organización de la información mostrada al usuario mediante la aplicación móvil.

La configuración permitió supervisar en tiempo real la temperatura corporal, el comportamiento asociado al movimiento y la ubicación del bovino, facilitando el acceso remoto a la información generada por el collar inteligente.

Fase IV: Con el sistema implementado, se establecieron los criterios para la validación de la propuesta mediante la comparación con información científica reportada en estudios especializados. Para ello, se seleccionaron investigaciones relacionadas con bovinos lecheros que presentaran resultados compatibles con las variables monitoreadas por el sistema desarrollado, considerando parámetros de temperatura corporal, comportamiento asociado al movimiento y localización del animal.

Esta estrategia permitió contrastar el comportamiento esperado del prototipo con evidencia científica previamente publicada, establecer los parámetros de referencia para la interpretación de las variables monitoreadas y respaldar la aplicabilidad de la propuesta tecnológica.

Fase V: Finalmente, se evaluó la factibilidad de implementar el sistema en zonas rurales mediante el análisis de

la cobertura ofrecida por los principales operadores de telefonía móvil presentes en el Perú. Se compararon aspectos relacionados con la disponibilidad del servicio, cobertura geográfica y capacidad de transmisión de datos, con el propósito de identificar la alternativa más adecuada para garantizar el funcionamiento continuo del sistema loT en entornos ganaderos.

Los resultados obtenidos permitieron complementar la evaluación técnica del collar inteligente y analizar su potencial de aplicación en condiciones reales de operación.

III. RESULTADOS

3.1. Diseño de la arquitectura del sistema

Se obtuvo la arquitectura funcional del sistema loT propuesto para el monitoreo de bovinos lecheros, integrando los módulos de adquisición de datos, procesamiento, comunicación y visualización remota. La estructura diseñada establece el flujo de información desde la captura de las variables fisiológicas y de comportamiento hasta su consulta por parte del usuario mediante una plataforma de monitoreo en tiempo real.

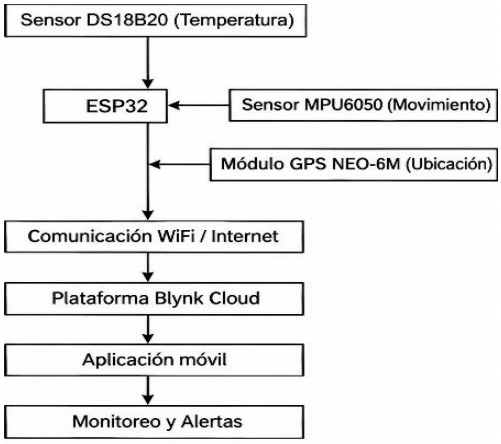


Fig.1 Arquitectura general del sistema loT propuesto para el monitoreo de bovinos

La Fig.1 presenta la arquitectura desarrollada. El sistema inicia con la adquisición de la temperatura corporal mediante el sensor DS18B20, el monitoreo del movimiento a través del MPU6050 y la obtención de la ubicación geográfica utilizando el módulo GPS NEO-6M. Posteriormente, la información es procesada por el microcontrolador ESP32, el cual centraliza los datos y los transmite mediante una conexión WiFi hacia la plataforma Blynk Cloud para su almacenamiento y visualización remota.

La arquitectura definida permitió establecer una comunicación continua entre los dispositivos que conforman el sistema, facilitando la adquisición, procesamiento y transmisión de las variables monitoreadas. Los materiales utilizados para el desarrollo del prototipo se presentan en la Tabla 1, donde se describen los principales componentes físicos empleados y la función que desempeña cada uno dentro del sistema IOT propuesto.

TABLA 1
MATERIALES UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO DEL COLLAR INTELIGENTE

Material	Cantidad	Descripción
ESP32	1	Microcontrolador encargado del procesamiento de datos y la comunicación WiFi del sistema.
Sensor de temperatura DS18B20	1	Medición de la temperatura corporal del bovino.
Sensor de movimiento MPU6050	1	Registro del movimiento para el cálculo del Índice Relativo de Movimiento (IRM).
Módulo GPS NEO-6M	1	Obtención de la ubicación geográfica del animal durante el monitoreo.
Resistencia de 4.7 kΩ	1	Resistencia pull-up utilizada para garantizar la correcta comunicación del sensor DS18B20 con el ESP32.
Protoboard mini (170 puntos)	1	Montaje y validación experimental del circuito electrónico durante el desarrollo del prototipo.
Batería Li-Po 3.7 V – 2000 mAh	1	Alimentación eléctrica del sistema durante el monitoreo.
Módulo cargador TP4056 con protección	1	Permite la recarga segura de la batería mediante conexión USB.
Caja protectora IP65	1	Protección de los componentes electrónicos frente a humedad, polvo y salpicaduras.
Correa de nylon ajustable	1	Sujeción segura y cómoda del dispositivo al bovino.
Cables de conexión (jumpers)	1	Interconexión de los diferentes componentes electrónicos del sistema.

A partir de los materiales y componentes definidos, se realizó la estimación del costo de implementación del prototipo, cuyos resultados se presentan a continuación.

3.1.1. Estimación del costo de implementación

El costo de implementación se determinó a partir de los componentes electrónicos y elementos complementarios requeridos para la construcción del collar inteligente. Se consideraron los costos correspondientes al sistema de procesamiento, sensores, módulo de ubicación, alimentación eléctrica, protección y elementos de sujeción, obteniendo una estimación de la inversión inicial necesaria para su implementación.

TABLA 2
COSTO ESTIMADO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL COLLAR INTELIGENTE

Componente	Cantidad	Costo unitario (S/.)
ESP32	1	42.00
DS18B20	1	12.00
MPU6050	1	18.00
Módulo GPS	1	45.00
Resistencia 4.7 kΩ	1	0.50
Mini Protoboard (170 puntos)	1	10.00
Batería Li-Ion 18650	1	37.00
Módulo TP4056 USB Tipo C	1	13.00
Interruptor ON/OFF	1	3.00
Carcasa impermeable personalizada	1	78.00
Collar de nylon reforzado	1	26.00
Cableado, conectores, termorretráctil, etc	1 lote	15.00
Tornillos, tuercas, arandelas y elementos de fijación	1 lote	9.00

El costo estimado de implementación presentado en la Tabla 2 permite valorar la inversión requerida para materializar el prototipo desarrollado. Los valores considerados corresponden a referencias de adquisición de los componentes y materiales empleados, por lo que pueden presentar variaciones asociadas al proveedor, disponibilidad, características del componente y momento de compra. En este sentido, el valor obtenido debe interpretarse como una aproximación de la inversión necesaria para reproducir el prototipo y no como un precio comercial fijo.

Desde la perspectiva de viabilidad, esta inversión se relaciona con las funcionalidades integradas en el sistema, que permiten el monitoreo de temperatura, movimiento y ubicación, así como la generación de alertas preventivas. De esta manera, el análisis económico inicial permite relacionar los recursos requeridos para la construcción del dispositivo con las capacidades de monitoreo que ofrece, constituyendo una referencia para su posible implementación en el sector ganadero. No obstante, debido a que el estudio se orientó a la evaluación funcional del prototipo y no contempló un seguimiento económico longitudinal de los animales, no fue posible cuantificar directamente los beneficios monetarios derivados de las alertas generadas.

3.2. Desarrollo e integración del prototipo

Se desarrolló el prototipo del collar inteligente mediante la integración del microcontrolador ESP32 con los sensores DS18B20, MPU6050 y el módulo GPS NEO-6M, de acuerdo con la arquitectura propuesta. La implementación permitió establecer la comunicación entre los dispositivos encargados de la adquisición de temperatura corporal, movimiento y ubicación geográfica, así como la transmisión de la información hacia la plataforma loT.

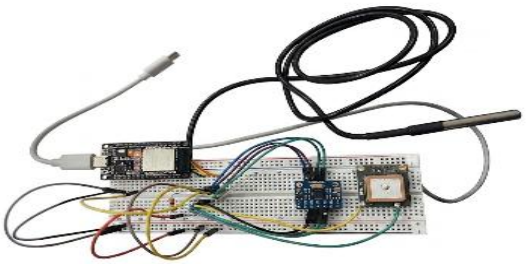


Fig. 2 Prototipo desarrollado del collar inteligente para el monitoreo de bovinos

La Figura 2 evidencia la integración física de los componentes electrónicos que conforman el sistema.

La distribución de los módulos permitió reducir la longitud de las conexiones entre dispositivos y simplificar la comunicación con el microcontrolador, favoreciendo una arquitectura compacta y escalable para futuras incorporaciones de nuevos sensores. Asimismo, la implementación facilitó la ejecución de pruebas funcionales individuales para verificar la respuesta de cada módulo antes de la integración completa del sistema.

Posteriormente, se elaboró el diagrama de conexiones utilizado durante el proceso de implementación.

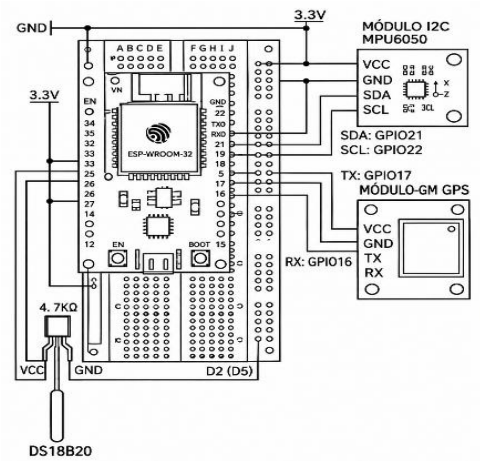


Fig. 3 Diagrama de conexiones del sistema electrónico implementado

Como se observa en la Fig.3, el ESP32 actúa como unidad central de procesamiento, estableciendo la comunicación con los sensores mediante las interfaces correspondientes y centralizando la información adquirida para su posterior transmisión, Esta organización permitió estructurar un flujo de datos ordenado entre los módulos electrónicos, reduciendo posibles errores de conexión y facilitando las tareas de programación, mantenimiento y ampliación del sistema.

La correcta integración entre hardware y software constituyó la base para la configuración del sistema de monitoreo remoto, cuyos resultados se presentan en la siguiente subsección.

3.3. Configuración del sistema de monitoreo loT

Se configuró el sistema de monitoreo remoto mediante la plataforma Blynk Cloud, permitiendo la recepción, organización y visualización en tiempo real de las variables adquiridas por el collar inteligente. La comunicación establecida entre el ESP32 y la plataforma loT facilitó el acceso remoto a la información registrada por los sensores a través de una interfaz gráfica accesible desde dispositivos móviles.



Fig. 4 Interfaz del sistema de monitoreo implementado en la plataforma Blynk Cloud.

La Fig.4 muestra la interfaz desarrollada para la supervisión del sistema, donde se presentan las variables fisiológicas y de comportamiento monitoreadas por el collar inteligente. La organización de la información permite visualizar de manera integrada la temperatura corporal, el estado de movimiento del animal y la ubicación geográfica obtenida mediante el módulo GPS, favoreciendo una interpretación rápida de las condiciones del bovino.

Desde el punto de vista funcional, la plataforma centraliza la información generada por los diferentes sensores en una única interfaz, reduciendo la necesidad de consultar múltiples dispositivos o sistemas independientes. Asimismo, la visualización en tiempo real facilita la supervisión continua del animal y proporciona una base para la generación de alertas cuando las variables monitoreadas superan los parámetros fisiológicos establecidos.

La disponibilidad de esta información constituye el punto de partida para la interpretación de los datos adquiridos por el sistema, proceso que se desarrolla en la siguiente subsección mediante la utilización de parámetros de referencia obtenidos de la literatura científica.

3.4. Resultados y validación del sistema propuesto

3.4.1. Resultados de la implementación del prototipo

Como resultado de las fases de diseño, integración y configuración del sistema loT, se obtuvo un prototipo funcional del collar inteligente capaz de adquirir, procesar y transmitir información correspondiente a las variables fisiológicas consideradas en el estudio. La implementación permitió integrar el sensor de temperatura DS18B20, el acelerómetro MPU6050, el módulo GPS NEO-6M y el microcontrolador ESP32 dentro de una arquitectura de monitoreo continuo orientada a la supervisión remota de bovinos lecheros.



Fig. 5 Prototipo físico del collar inteligente desarrollado

Durante las pruebas funcionales se verificó la correcta comunicación entre los sensores, el ESP32 y la plataforma Blynk Cloud, así como el funcionamiento del algoritmo desarrollado en Arduino IDE para la adquisición, procesamiento y transmisión de la información mediante comunicación WiFi.

La implementación del sistema permitió visualizar en tiempo real las variables monitoreadas a través de la interfaz desarrollada en Blynk, facilitando la supervisión remota y confirmando la integración de los componentes electrónicos, la estabilidad de la comunicación inalámbrica y el correcto intercambio de información entre el prototipo y la plataforma IoT. Esta validación garantizó el funcionamiento esperado del collar inteligente para la evaluación posterior de las variables fisiológicas.

3.4.2. Resultados del monitoreo de las variables fisiológicas

Una vez validado el prototipo, se evaluó el comportamiento del sistema durante el monitoreo continuo de la temperatura corporal y del nivel de actividad del bovino. El ESP32 ejecutó la adquisición, procesamiento y transmisión de la información

generada por los sensores, registrando las variables mediante la plataforma Blynk.

Los registros fueron organizados cronológicamente para analizar la evolución de las variables monitoreadas durante el periodo de evaluación. Cada registro incluyó la temperatura corporal, el Índice Relativo de Movimiento (IRM), la fecha y hora de adquisición, y el estado generado por el algoritmo de monitoreo.

El algoritmo procesó ambas variables de forma simultánea y las comparó con los parámetros de referencia establecidos. Cuando se identificó un comportamiento compatible con posibles alteraciones fisiológicas, el sistema generó una notificación preventiva para facilitar la inspección oportuna del animal. Los registros obtenidos fueron organizados en tablas para facilitar su interpretación y el análisis estadístico presentado en la siguiente sección.

3.4.3. Análisis de los registros obtenidos durante el monitoreo

Durante la evaluación funcional se analizaron de manera conjunta las variables de temperatura y movimiento, registradas mediante el sensor DS18B20 y el acelerómetro MPU6050, respectivamente. Esta integración permitió evaluar el comportamiento del bovino y la respuesta generada por el algoritmo de monitoreo ante posibles alteraciones fisiológicas.

Para caracterizar el comportamiento asociado al movimiento se empleó el Índice Relativo de Movimiento (IRM), calculado a partir de las aceleraciones registradas por el MPU6050. El IRM es un índice adimensional normalizado entre 0 y 1; valores cercanos a 1 representan un nivel de actividad habitual, mientras que valores menores indican una reducción de la movilidad. En conjunto con la temperatura, este indicador permitió establecer el estado generado por el sistema durante el periodo de evaluación

La Tabla 3 presenta los registros obtenidos durante la evaluación funcional, incluyendo las lecturas del DS18B20, la temperatura de referencia, el error porcentual, el IRM y el estado generado por el algoritmo de monitoreo.

TABLA 3
REGISTROS DE TEMPERATURA E ÍNDICE RELATIVO DE MOVIMIENTO DURANTE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO

Hora	DS18B20 (°C)	Ref. (°C)	Error (%)	IRM	Estado del sistema	Alerta
08:00	38.4	38.7	0.78	0.94	normal	No
08:05	38.5	38.9	1.03	0.93	normal	No
08:10	38.5	38.8	0.77	0.92	normal	No
08:15	38.6	38.9	0.77	0.90	normal	No
08:20	38.7	39.0	0.77	0.88	normal	No
08:25	38.8	39.2	1.02	0.86	Observación	No
08:30	38.9	39.3	1.02	0.84	Observación	No
08:35	39.0	39.4	1.02	0.81	Estrés térmico detectado	Sí
08:40	39.1	39.5	1.01	0.78	Estrés térmico detectado	Sí
08:45	39.2	39.7	1.26	0.75	Estrés térmico detectado	Sí
08:50	39.1	39.5	1.01	0.77	Observación	No
08:55	38.9	39.2	0.77	0.82	Condición normal	No

Los registros obtenidos durante la evaluación muestran una variación de la temperatura medida por el DS18B20 entre 38,4 °C y 39,2 °C, mientras que el Índice Relativo de Movimiento (IRM) presentó una disminución progresiva durante el periodo de mayor temperatura. Estos valores fueron analizados conjuntamente con la temperatura de referencia para evaluar la correspondencia de las lecturas del sensor. El error porcentual permitió cuantificar la diferencia relativa entre ambas mediciones, obteniéndose valores inferiores al 1,3 % en los registros evaluados. Esta comparación permite caracterizar el comportamiento de las mediciones del sensor integrado en el collar respecto al instrumento de referencia bajo las condiciones de evaluación.

Durante los primeros registros, la temperatura se mantuvo dentro del intervalo fisiológico reportado para bovinos adultos, mientras que el IRM permaneció en valores elevados, correspondientes a una condición de actividad habitual. La ref. **[7]** señala que la temperatura corporal de los bovinos puede presentar variaciones fisiológicas, por lo que su interpretación debe considerar el comportamiento del animal y las condiciones en las que se realiza la medición. Posteriormente, entre las 08:35 y 08:45 h, se observó un incremento de la temperatura acompañado de una reducción del IRM. La coincidencia de ambas variaciones fue interpretada por el algoritmo como un patrón compatible con estrés térmico y generó una alerta preventiva en la plataforma Blynk. Asi mismo la ref. **[9]** señalan que el estrés térmico puede afectar el comportamiento y el bienestar de los bovinos, incluyendo modificaciones en sus niveles de actividad.

La disminución de la actividad constituye, por tanto, una variable complementaria para la interpretación de las variaciones de temperatura. De tal manera, la ref. **[7]** señala que procesos inflamatorios asociados con enfermedades como la mastitis pueden relacionarse con alteraciones de la temperatura corporal y del comportamiento del animal. En este sentido, el sistema desarrollado no establece un diagnóstico clínico a partir de una medición aislada, sino que identifica patrones que requieren atención mediante el análisis conjunto de la temperatura y el Índice Relativo de Movimiento (IRM).

En consecuencia, la integración del sensor de temperatura DS18B20, el acelerómetro MPU6050, el microcontrolador

ESP32 y la plataforma Blynk permitió generar una señal preventiva a partir de la variación simultánea de las variables monitoreadas. Los registros obtenidos constituyen la base para el análisis estadístico presentado en la siguiente subsección, donde se evalúa el comportamiento general de las variables durante la evaluación funcional.

3.4.4. Análisis estadístico del comportamiento del sistema

Con el propósito de evaluar el comportamiento global del sistema durante la validación funcional, se realizó un análisis descriptivo de las variables registradas por el prototipo. A partir de los datos obtenidos en el escenario de evaluación presentado en la Tabla 3, se calcularon estadísticos descriptivos de la temperatura corporal y del índice Relativo de Movimiento (IRM), permitiendo cuantificar el comportamiento de ambas variables durante el monitoreo.

TABLA 4
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS VARIABLES MONITOREADAS DURANTE LA EVALUACIÓN

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Temperatura corporal (°C)	38.82	0.27	38.40	39.20
Índice Relativo de Movimiento (IRM)	0.85	0.06	0.75	0.94

Los resultados muestran una baja dispersión en ambas variables, indicando que las mediciones fueron consistentes durante el periodo de validación. La temperatura corporal presentó un incremento gradual, mientras que el IRM disminuyó progresivamente conforme avanzó la evaluación, comportamiento que coincide con el criterio de decisión implementado en el algoritmo.

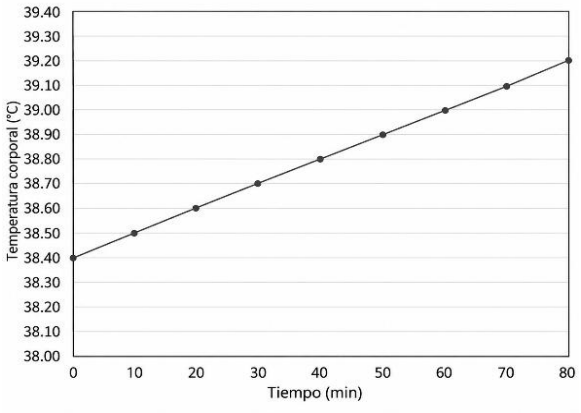


Fig. 6 Evolución de la temperatura corporal durante la evaluación funcional

La figura 6 evidencia una tendencia ascendente de la temperatura corporal (38.4°C – 39.2 °C), confirmando la capacidad del sistema para registrar y transmitir continuamente la información fisiológica hacia la plataforma Blynk.

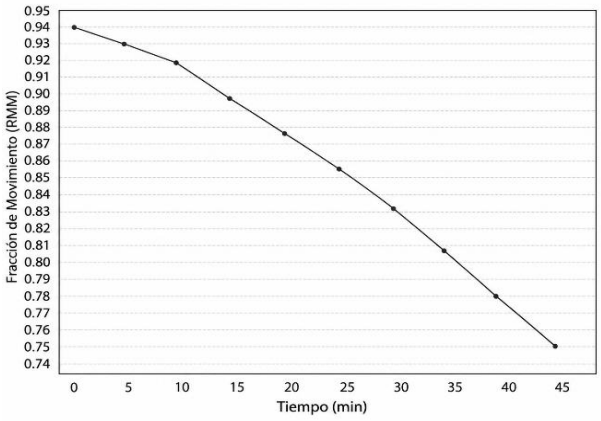


Fig. 7 Evolución del Índice Relativo de Movimiento (IRM) durante la evaluación funcional.

La figura 7 muestra una disminución progresiva del Índice Relativo de Movimiento (IRM), pasando de valores cercanos a 0,94 hasta 0,75. Permitiendo al algoritmo generar alertas únicamente cuando ambas variables presentaron simultáneamente un patrón compatible con una posible alteración fisiológica.

3.4.5. Evaluación de la variabilidad de implementación del sistema

Con el propósito de evaluar la factibilidad de implementación del sistema loT propuesto, se verificó el funcionamiento conjunto de los componentes electrónicos, la comunicación inalámbrica y la visualización de la información durante la validación funcional del prototipo. Asimismo, se analizaron las condiciones mínimas requeridas para su operación en unidades de producción lechera.

TABLA 5
CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Parámetro evaluado	Condición de implementación
Microcontrolador	ESP32
Sensor de temperatura	DS18B20
Sensor de monitoreo	MPU6050
Plataforma de monitoreo	Blynk
Comunicación	Red WiFi o punto de acceso móvil
Intervalo de actualización	Cada 5 minutos

La evaluación realizada evidenció que la arquitectura propuesta permitió la adquisición, procesamiento y transmisión de la información de forma continua durante el periodo de monitoreo. La comunicación entre el ESP32 y la plataforma Blynk se mantuvo estable, posibilitando la visualización en tiempo real de la temperatura corporal y del índice Relativo de Movimiento (IRM), así como la generación automática de

alertas cuando el algoritmo identificó un patrón compatible con una posible alteración fisiológica.

Desde el punto de vista operativo, el sistema únicamente requiere una red WiFi o un punto de acceso móvil para transmitir la información hacia la aplicación, condición que facilita su implementación en pequeñas y medianas unidades de producción ganadera donde exista cobertura de Internet. Asimismo, el intervalo de actualización de 5 minutos permitió mantener un monitoreo continuo sin generar un tráfico innecesario de datos ni comprometer el desempeño del microcontrolador.

3.5. Evaluación de la viabilidad de conectividad

Con el propósito de evaluar la viabilidad de implementación del sistema loT en zonas rurales, se analizaron las alternativas de conectividad disponibles para garantizar la transmisión de la información registrada por el prototipo hacia la plataforma Blynk.

TABLA 6
ALTERNATIVAS DE CONECTIVIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA IOT EN ZONAS RURALES

Alternativa de conectividad	Medio de acceso	Aplicación en el sistema	Viabilidad
Red WiFi local	Router con internet	Transmisión continua de datos del ESP32 hacia Blynk	Alta
Punto de acceso móvil (Hotspot)	Red móvil 4G/5G	Conexión del ESP32 mediante un teléfono inteligente	Alta
Internet satelital (LEO/VSAT)	Conectividad satelital	Monitoreo remoto en zonas sin cobertura móvil suficiente	Alta

El análisis evidenció que el sistema puede operar mediante una red WiFi convencional o un punto de acceso móvil cuando existe cobertura, permitiendo la comunicación entre el ESP32 y la plataforma Blynk para el monitoreo continuo de la temperatura corporal y del Índice Relativo de Movimiento (IRM).

En zonas rurales con limitada infraestructura de telecomunicaciones, las tecnologías de Internet satelital de órbita baja (LEO) y los sistemas VSAT constituyen una alternativa viable para aplicaciones IoT en el sector agropecuario, ya que favorecen la disponibilidad de conectividad para el monitoreo remoto. Asimismo, la plataforma Checa tu Señal de OSIPTEL de la ref. **[11]** permite verificar previamente la cobertura disponible según el operador y la tecnología móvil, facilitando la selección de la alternativa de conexión más adecuada.

En conjunto, estos resultados evidencian que la arquitectura IoT propuesta puede implementarse tanto en zonas con cobertura móvil como en áreas rurales que requieran conectividad satelital, ampliando su potencial de aplicación para el monitoreo preventivo de bovinos lecheros.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos demostraron que el sistema permitió monitorear de forma continua la temperatura corporal y el Índice Relativo de Movimiento (IRM), evidenciando una respuesta consistente durante la evaluación funcional. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por la ref. **[12]**, quienes indican que ambas variables constituyen indicadores confiables para la detección temprana de alteraciones fisiológicas en bovinos. Asimismo, la ref. **[7]** señala que el monitoreo continuo favorece una intervención oportuna, reduciendo el impacto de enfermedades que afectan la productividad del ganado.

En cuanto a la arquitectura tecnológica, la integración del microcontrolador ESP32, los sensores y la plataforma Blynk permitió la transmisión remota de las variables monitoreadas de manera estable durante las pruebas. Estos resultados son consistentes con lo descrito por la ref. **[2]**, quienes destacan el potencial del Internet de las Cosas para la supervisión continua del ganado. Del mismo modo, la ref. **[8]** señalan que la combinación de sensores fisiológicos con plataformas inalámbricas constituye una alternativa eficiente para fortalecer la gestión sanitaria en sistemas pecuarios. En comparación con estos estudios, la propuesta desarrollada emplea componentes de bajo costo y una arquitectura de fácil implementación, lo que favorece su adopción por pequeños y medianos productores.

Finalmente, la evaluación de las alternativas de conectividad evidenció que la arquitectura propuesta puede operar mediante diferentes tecnologías de acceso a Internet según la disponibilidad de cobertura en la unidad ganadera. Esta característica amplía las posibilidades de implementación del sistema en zonas rurales, al permitir la adaptación de los mecanismos de comunicación a las condiciones específicas de cada entorno productivo, favoreciendo así la continuidad del monitoreo y la transmisión de datos en tiempo real.

V. CONCLUSIONES

La investigación permitió desarrollar e implementar un collar inteligente basado en tecnologías loT para el monitoreo remoto de bovinos lecheros, integrando un microcontrolador ESP32, los sensores DS18B20 y MPU6050, y la plataforma Blynk Cloud. La validación funcional confirmó la correcta adquisición, procesamiento y transmisión de la información fisiológica, evidenciando el cumplimiento del objetivo planteado y el funcionamiento estable de la arquitectura propuesta durante la evaluación funcional.

La comparación entre la temperatura registrada por el sensor DS18B20 y la temperatura de referencia permitió evaluar la concordancia de las mediciones obtenidas durante la

evaluación funcional, observándose errores porcentuales reducidos respecto a los valores de referencia. Asimismo, el Índice Relativo de Movimiento (IRM) permitió complementar la interpretación de la temperatura mediante el seguimiento de los cambios en la actividad del bovino. La integración de ambas variables permitió al algoritmo identificar patrones compatibles con condiciones de observación o posibles alteraciones fisiológicas y generar alertas preventivas, sin que ello implique establecer un diagnóstico clínico.

La evaluación de la implementación y de las alternativas de conectividad evidenció que la arquitectura desarrollada puede operar mediante redes WiFi, puntos de acceso móviles e Internet Satelital, favoreciendo su aplicación tanto en unidades ganaderas con cobertura convencional como en zonas rurales con limitada infraestructura de telecomunicaciones. En conjunto, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad técnica de la propuesta y evidencian un costo estimado de implementación asociado a sus funcionalidades de monitoreo preventivo, convirtiéndolo en una alternativa de bajo costo para fortalecer el monitoreo preventivo y contribuir a una gestión más eficiente de la ganadería lechera.

REFERENCIAS

[1] Animal production [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [cited 2026 Sept 17]. Available from: https://www.fao.org/animal-production/en/

[2] Tangorra FM, Buoio E, Calcante A, Bassi A, Costa A. Internet of Things (IoT): Sensors Application in Dairy Cattle Farming. Animals [Internet]. 2024 Oct 24 [cited 2026 Sept 17];14(21):3071–1. Available from: https://www.mdpi.com/2076-2615/14/21/3071

[3] Akhigbe BI, Munir K, Akinade O, Akanbi L, Oyedele LO. IoT Technologies for Livestock Management: A Review of Present Status, Opportunities, and Future Trends. Big Data and Cognitive Computing. 2021 Feb 26;5(1):10.

[4] Neethirajan S, Tuteja SK, Huang ST, Kelton D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. Biosensors and Bioelectronics. 2017 Dec;98:398–407.

[5] Midagri: en Perú existen más de 452 mil productores de leche [Internet]. Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. 2025 [cited 2026 Sept 17]. Available from: https://agraria.pe/noticias/midagri-en-peru-existen-mas-de-452-mil-productores-de-leche-39615

[6] Hernández-Sampieri R, Mendoza Torres CP. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 1a ed. Ciudad de México: McGraw-Hill Education; 2018. 714 p.

[7] Ruegg PL. A 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. Journal of Dairy Science [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2026 Sept 17];100(12):10381–97. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217310329

[8] West JW. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. Journal of Dairy Science [Internet]. 2003 June [cited 2026 Sept 17];86(6):2131–44. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030203738O3X

[9] Polsky L, von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. Journal of Dairy Science [Internet]. 2017 Nov [cited 2026 Sept 17];100(11):8645–57. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217308494

[10] Steiner JM, Xenoulis P, Suchodolski JS. Letter to the Editor. Journal of Veterinary Internal Medicine. 2014 Nov 1;28(6):1635–6.

[11] Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones. Checa tu señal [Internet]. Lima: OSIPTEL; [citado 12 sep 2026]. Disponible en: https://checatusenal.osiptel.gob.pe/

[12] Zhang M, Wang X, Feng H, Huang Q, Xiao X, Zhang X. Wearable Internet of Things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring. Journal of Cleaner Production [Internet]. 2021 Aug 20 [cited 2026 Sept 17];312:127712. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621019302