



Tecnología IoT para el monitoreo de la salud animal en el sector ganadero

IoT technology for animal health monitoring in the livestock sector

Autores

- ✉ *Grace Katiuska Viteri Guzmán 
✉ Ignacio Hugo Monserrate Sánchez 
✉ Alfredo Enrique Arrese Vilche 

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

El artículo destaca dos modelos de prototipos innovadores de collares de medición, equipados con sensores avanzados para prevenir y monitorear la salud animal, en el contexto de la Ganadería 4.0, a través de la Internet de las Cosas (IoT). Uno de los modelos utilizó la placa MKR-NB1500 con conectividad celular LTE-M, mientras que el otro empleó la placa ESP8266, con conectividad a través de su módulo WIFI. Ambos prototipos incorporaron sensores para controlar la temperatura corporal mediante el sensor DS18B20, la presión arterial con el MAX30102, la actividad del ganado con el MPU6050 y la geolocalización con el módulo GPS NEO-6M. El esquema integró a la plataforma Arduino Cloud para la recopilación de datos generados por los sensores. La metodología descriptiva se utilizó para realizar una revisión exhaustiva de artículos científicos y un análisis de la tecnología IoT adecuada para el control de cada aspecto del monitoreo. Se llevó a cabo una encuesta en Google Forms y entrevistas a veterinarios para identificar las variables de monitoreo prioritarias, como la temperatura corporal, geolocalización, actividad y pulso cardíaco. La muestra incluyó ganaderos representativos de las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas en la costa ecuatoriana. Con la participación de 12 ganaderos, el método proporcionó una comprensión profunda de las expectativas de los usuarios clave antes de la implementación del prototipo, brindando información valiosa para adaptar y mejorar el diseño del collar en el contexto de la Ganadería 4.0.

Palabras clave: ganadería 4.0; IoT; sensores avanzados; LTE-M; plataforma Cloud IoT; tecnología emergente.

Abstract

The article highlights two models of innovative prototypes of measuring collars equipped with advanced sensors to prevent and monitor animal health in the context of Livestock 4.0 through the Internet of Things (IoT). One of the models used the MKR-NB1500 board with LTE-M cellular connectivity, while the other used the ESP8266 board with connectivity through its WIFI module. Both prototypes incorporate sensors to monitor body temperature using the DS18B20 sensor, blood pressure with the MAX30102, livestock activity with the MPU6050 and geolocation with the NEO-6M GPS module. The scheme integrates the Arduino Cloud platform for the collection of data generated by the sensors. The descriptive methodology is used to conduct a comprehensive review of scientific articles and an analysis of the IoT technology suitable for the control of each aspect of monitoring. A survey is carried out in Google Forms and interviews with veterinarians to identify priority monitoring variables, such as body temperature, geolocation, activity and heart rate. The sample includes representative ranchers from the provinces of Manabí, Los Ríos and Guayas on the Ecuadorian coast. With the participation of 12 livestock farmers, the method provides a deep understanding of the expectations of key users before the implementation of the prototype, providing valuable information to adapt and improve the collar design in the context of Livestock 4.0.

Keywords: livestock 4.0; IoT; advanced sensors; LTE-M; Cloud IoT platform; emerging technology.

Recibido: Noviembre 13, 2023

Aceptado: Marzo 29, 2024

Publicado: Abril 15, 2024



Introducción

La ganadería desempeña un papel fundamental en la industria agropecuaria. Esta actividad no solo provee alimentos de origen animal, como carne, leche y huevos, sino que también son fuentes de materias primas para la industria textil, farmacéutica y cosmética. Además, la ganadería contribuye significativamente a la economía global, generando empleo, ingresos y divisas en muchos países. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), en Ecuador, en el año 2022 el sector del ganado vacuno predominó con un total de 3,9 millones de cabezas a nivel nacional, seguido del ganado porcino; y la producción diaria de leche a nivel nacional fue de 5,5 millones de litros, con un rendimiento de 6,8 litros·vaca⁻¹.

Por lo tanto, la ganadería, como columna vertebral de la producción de alimentos y recursos, se enfrenta a desafíos cada vez más complejos en la era moderna. Uno de los problemas fundamentales que obstaculiza la eficiencia y el bienestar en la cría de animales es la detección tardía de problemas de salud. La incapacidad para identificar rápidamente indicadores de enfermedades o malestar en el ganado no solo afecta la producción, sino que también compromete la salud de los animales, resultando en consecuencias económicas. La gestión ganadera tradicional se ve limitada por la dependencia de signos visibles de enfermedades, lo que conduce a intervenciones reactivas y a menudo tardías.

La falta de herramientas efectivas para monitorear continuamente la salud animal se agudiza en el contexto de la Ganadería 4.0, donde la automatización y la digitalización son esenciales para alcanzar niveles óptimos de eficiencia. La brecha actual entre las tecnologías emergentes y su implementación práctica en la gestión diaria de rebaños resalta la necesidad urgente de soluciones innovadoras que aborden directamente esta problemática.

Además de los desafíos relacionados con la salud animal, la industria ganadera se enfrenta a una amenaza persistente en muchas regiones: el abigeato. El robo de ganado no solo impacta directamente en las pérdidas económicas para los ganaderos, sino que también crea un entorno de inseguridad en la producción ganadera. Esta problemática se agrava por la falta de herramientas efectivas para rastrear y monitorear el movimiento del ganado de manera continua.

Es pertinente mencionar al Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things) como solución a los temas presentados en el sector ganadero, debido a la alta aplicabilidad que ofrece esta tecnología en diversos sectores de la industria, la misma que se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o que sean electrónicos a Internet, este concepto se deriva del avance de la tecnología y a

la necesidad de compartir y controlar las cosas que los rodean (Li et al., 2015). Sin duda, los avances en la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) han brindado hoy en día una oportunidad única para abordar muchos desafíos. A partir de esto se puede mencionar a la Ganadería 4.0, que según el Centro de la Industria Láctea del Ecuador (CIL Ecuador, 2023), se refiere no solo a la automatización de los procesos de producción, sino que incluye máquinas industriales, electricidad, computación y robótica. Todas juntas contribuyen a una mayor eficiencia dentro de la ganadería usando herramientas como drones, sensores, chips entre otros dispositivos de la familia de IoT.

La tecnología del Internet de las Cosas (IoT) ofrece grandes ventajas en el ámbito ganadero, especialmente en países líderes de esta industria, donde se está experimentando un rápido desarrollo. Diversas investigaciones científicas destacan el uso de tecnologías innovadoras en distintos aspectos de la ganadería. Estas incluyen avances en localización y seguimiento del ganado, detección automática de enfermedades, gestión nutricional avanzada y la implementación de sistemas de ordeño robotizado. Este progreso en la aplicación de tecnologías IoT está contribuyendo significativamente a la modernización y eficiencia en el sector ganadero.

En esta investigación se resalta el surgimiento de la Ganadería 4.0 como un cambio paradigmático. La integración de tecnologías emergentes, en particular el Internet de las Cosas (IoT), ha inaugurado una era, donde el monitoreo continuo y en tiempo real de la salud del ganado, no solo es posible, sino imperativo. Aun ante el reconocimiento creciente de los beneficios potenciales asociados con la Ganadería 4.0, la implementación práctica de estas tecnologías en la gestión diaria del ganado sigue siendo un desafío. Por lo tanto, se exponen investigaciones previas que han establecido las bases teóricas, discutiendo los fundamentos teóricos de la IoT en la agricultura y el monitoreo animal.

Sin embargo, la traducción de estas teorías en soluciones prácticas, especialmente en el contexto de la detección temprana y prevención de problemas de salud, representa una brecha notable que esta investigación busca abordar. Para ello, en este artículo se identifican, con la colaboración de ganaderos y profesionales de la salud animal, las variables clave para el monitoreo y bienestar de los bovinos. Este proceso inicial permite determinar la tecnología IoT apropiada para diseñar un modelo tecnológico capaz de recopilar datos de estas variables y visualizarlos en tiempo real a través de una plataforma, lo que facilita la detección eficiente de anomalías en el ganado.

Arquitectura de Internet de las Cosas (IoT)

Martin (2019) indicó en su investigación que el Internet de las Cosas (IoT) constituye una red que conecta numerosos dispositivos, pero surge la pregunta de cómo se supervisan y administran estos dispositivos, así como el manejo de los datos que generan. Los dispositivos y objetos se vinculan a una plataforma específica de IoT, la cual recopila y procesa datos provenientes de sensores. Posteriormente, aplica herramientas de análisis y estadísticas para presentar información relevante. Estas plataformas están diseñadas para filtrar la información y seleccionar datos útiles según un patrón predefinido. Por ejemplo, en el caso de medir la contaminación en un lago, si todas las mediciones se encuentran dentro de un rango lógico, un valor extremadamente alto podría considerarse una lectura incorrecta del sensor. Considerar ese valor como preciso podría generar errores en las estadísticas. A estas plataformas se las conoce como centro de datos y se ubican en la nube, donde reciben y procesan datos. El origen de estos datos proviene del Edge.

El Edge es el lugar donde ocurren las actividades físicas e incluye todos los dispositivos que constantemente recopilan y envían datos. Estos dispositivos necesitan un destino para enviar los datos y ser recopilados. Inicialmente, la nube servía como este destino, pero debido al rápido aumento en el número de dispositivos conectados, ha surgido un espacio intermedio llamado niebla, conocido por su término en inglés, Fog.

Al principio, los centros de datos en el Edge se parecían a versiones en pequeña escala de los centros de datos de proveedores de servicios en la nube. A medida que aumenta el número de dispositivos, estos centros se alejan de los modelos tradicionales y se vuelven más abstractos: pasan de centralizados a distribuidos, de homogéneos a heterogéneos, de tener un solo dueño a innumerables propietarios. Los servidores descentralizados que actúan como intermediarios entre la nube y el Edge se conocen como Fog, que es un lugar donde los datos de un conjunto “pequeño” de sensores se preprocesan y preparan para su envío a la nube, donde se centralizan. Actúa como un “intermediario” entre el Edge y la Nube.

Siguiendo la arquitectura del Internet de las Cosas, es necesario en esta investigación definir a los dispositivos que estarán en la sección del “Edge”, para la cual se conceptualiza a los sensores de IoT. Tokio School (2022) los definió como chips electrónicos que tienen integrado un circuito compatible con los estándares de comunicación habituales en el mundo de IoT y que permiten extraer datos y tener información del mundo real a partir de lo físico. En otras palabras, son los “detectives” electrónicos que recolectan pistas sobre lo que está sucediendo en el mundo real y las comparten con el sistema IoT.

Tokio School (2022) indicó que los sensores son capaces de convertir una medida de entrada como la humedad, temperatura, presión, entre otros; en una señal medible e interpretada por dispositivos electrónicos. Después de esta conversión y transmisión de información, los datos recopilados pueden ser

almacenados en bases de datos para ser procesados y analizados. Los sensores son como traductores especializados en el lenguaje del entorno físico, por ejemplo, consideran variables como la humedad, temperatura o presión y las convierten en un código que los dispositivos electrónicos pueden entender. Después, transmiten ese código a través de la red para que los dispositivos y sistemas electrónicos lo puedan “leer”. Una vez que estos datos se reciben, se guardan en bases de datos para que se puedan estudiar y analizar más a fondo. Es como si los sensores fueran los intérpretes que permitieron que los dispositivos electrónicos comprendieran lo que estaba sucediendo en el mundo real.

PowerBank: es una batería externa o cargador portátil, que almacena energía eléctrica y se utiliza para cargar otros dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles, relojes inteligentes y otros dispositivos que se cargan mediante un cable USB, muy necesario a considerar para el sistema de monitoreo de la salud de los bovinos.

Protoboard: Jiménez y González (2001), quienes citan a Blauvelt, indicaron que la protoboard consiste en un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí. Los orificios permiten el montaje de componentes electrónicos y cables para interconectarlos. La placa está hecha de un material aislante y un material conductor. Dicho de otra manera, es una herramienta utilizada en electrónica para realizar prototipos y experimentos con componentes electrónicos.

Conectividad: según lo mencionado por Pérez (2019), las redes en IoT por lo general son inalámbricas debido a la conveniencia de su despliegue, y las tecnologías usadas son 3G, 4G, Bluetooth y ZigBee. Las tecnologías inalámbricas se refieren a sistemas y dispositivos de comunicación que transmiten datos sin la necesidad de cables físicos. Estos sistemas utilizan ondas electromagnéticas, como radiofrecuencias o microondas, para la transmisión de información entre dispositivos. Las tecnologías inalámbricas son fundamentales en diversas aplicaciones, incluyendo comunicaciones móviles, redes Wi-Fi, Bluetooth, RFID, y tecnologías emergentes como 5G, permitiendo la conectividad sin restricciones geográficas y facilitando la movilidad y la interconexión de dispositivos en entornos diversos.

En el caso de la conectividad a la nube, se ha considerado mencionar a dos formas de comunicación, el uso de la tecnología LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) la cual ofrece una conectividad confiable, eficiencia energética y seguridad de datos, lo que lo convierte en una tecnología poderosa para mejorar la productividad y sostenibilidad en las fincas ganaderas ecuatorianas. Hernández et al. (2022) indicaron que LTE-M, también llamada LTE-MTC y LTE Cat M, es una tecnología LPWAN de baja potencia que facilita la reutilización de infraestructuras LTE existentes, ofreciendo una cobertura ampliada. Desarrollada por 3GPP, LTE-M permite dispositivos y servicios diseñados para IoT. Otra alternativa es usar como medio de conectividad WIFI, por lo que, para brindar conexión con la plataforma IoT se debe adquirir un router LTE que “está basado en el protocolo IP, soportando tanto IPv4 e IPv6” (Radicelli-García et al., 2018).



Estos dos tipos de conectividad, se diferencian en que LTE (Long Term Evolution) es una tecnología de comunicaciones móviles de banda ancha de alta velocidad que proporciona acceso a internet móvil de alta velocidad para dispositivos como teléfonos inteligentes y tabletas. En cambio, LTE-M es una variante de LTE diseñada específicamente para dispositivos de IoT, que ofrece una conectividad más eficiente y de menor consumo de energía que LTE tradicional, lo que lo hace ideal para dispositivos IoT que requieren una larga duración de la batería y que pueden estar ubicados en áreas remotas.

Las plataformas de Internet de las Cosas (IoT) son entornos de software que facilitan el desarrollo, despliegue y gestión de aplicaciones y dispositivos IoT. Estas plataformas proporcionan una serie de herramientas y servicios que permiten la conectividad, recopilación de datos, análisis, seguridad y control remoto de dispositivos conectados a la red. Quintanilla y Cartagena (2019) indicaron que una plataforma IoT es la base para que dispositivos estén interconectados y se genere un ecosistema propio. Dicho de otra forma y según Link-labs, una plataforma web integrada al Internet of Things (IoT) es el software que conecta hardware, puntos de acceso y redes de datos a lo que generalmente suele ser la aplicación de la que disfruta el usuario.

Las plataformas de IoT deben tener las siguientes características para ser consideradas para un proyecto de esta naturaleza, como las que mencionaron Quintanilla y Cartagena (2019; p 8):

1. Conectividad y normalización: con diferentes protocolos y diferentes formatos de datos en una interfaz de “software”, garantiza la precisa transmisión de datos y la interacción con todos los dispositivos.
2. La gestión de dispositivos: asegura que todas las “cosas” conectadas están funcionando correctamente.
3. Base de datos: almacenamiento escalable de datos del dispositivo basados en la nube a un nuevo nivel en términos de volumen de datos, variedad, velocidad y veracidad.
4. Procesamiento y gestión de la acción: aporta datos basados en reglas de acción de evento-disparadores que permitan la ejecución de las acciones “inteligentes” basados en datos específicos del sensor.
5. Analítica: lleva a cabo una serie de análisis complejos de la agrupación de datos básicos y de aprendizaje automático.
6. Visualización: permite a los seres humanos observar las tendencias de cuadros de mando de visualización de datos, donde se retrata vívidamente a través de gráficos.

7. Herramientas adicionales: la IoT permite a los desarrolladores de prototipos, probar y comercializar para visualizar, gestionar y controlar los dispositivos conectados.

8. Interfaces externas: se integran con los sistemas de 3^a parte y el resto del ancho de TI en los ecosistemas a través de una función de interfaces de programación de aplicaciones (API), kits de desarrollo de software (SDK), y puertas de enlace.

Con fundamento en lo expuesto, se planteó diseñar un modelo de sistema basado en IoT que permitió monitorear la salud y bienestar del ganado vacuno.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló mediante la metodología descriptiva, que se empleó para realizar una revisión exhaustiva de artículos científicos y un análisis de la tecnología IoT adecuada para el control de cada monitoreo (Guevara et al., 2020; p. 171). Se llevó a cabo una encuesta en Google Forms que se centró en identificar las variables de monitoreo prioritarias según la perspectiva de los participantes, tales como la temperatura corporal, la geolocalización, la actividad o movimiento, y el pulso cardíaco, complementados con entrevista a un veterinario.

Este enfoque mixto y la observación directa, permitió recopilar datos detallados sobre las preferencias y necesidades específicas de los ganaderos en relación con la tecnología del collar inteligente. La muestra consistió en ganaderos representativos de la población objetivo, y la recopilación de datos se realizó a través de la encuesta estructurada.

La unidad de análisis correspondió a ganaderos de diferentes localidades de la costa ecuatoriana, en las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas. La muestra estuvo representada por 12 ganaderos. Para la cuantificación se aplicaron técnicas estadísticas para medir las respuestas por parte de los encuestados desde el software PSPP.

Este método proporcionó una comprensión profunda de las expectativas de los usuarios clave antes de la implementación del prototipo, proporcionando información valiosa para la adaptación y mejora del diseño del collar en el contexto de la Ganadería 4.0.

Existen algunas herramientas con mayor utilidad en el ámbito de IoT que facilitan su gestión, la recopilación de datos y el control remoto de dispositivos conectados. Cada una tiene sus propias características y enfoques específicos, en la tabla 1 se describen algunas de ellas.

Tabla 1. Plataformas IoT más utilizadas.

Plataforma	Descripción	Enlace
Arduino Cloud	Plataforma en línea de Arduino que facilita la conexión y gestión remota de proyectos basados en Arduino. Permite la recopilación y visualización de datos, así como el control remoto de dispositivos IoT.	https://create.arduino.cc/cloud
Google Cloud IoT	Ofrece una solución integral para las necesidades de IoT, desde la conexión y gestión de dispositivos hasta el procesamiento y análisis de datos, respaldado por la infraestructura y la experiencia de Google Cloud.	https://cloud.google.com/iot
Blynk	Plataforma IoT que proporciona una interfaz fácil de usar para la creación de aplicaciones para dispositivos Arduino, Raspberry Pi y otros. Permite la visualización de datos, control remoto de dispositivos y la creación de interfaces personalizadas a través de una aplicación móvil.	https://blynk.io/
AWS IoT	Servicio de Amazon Web Services que facilita la conexión y administración de dispositivos IoT. Ofrece funciones como la recopilación de datos, análisis y seguridad para proyectos de IoT a escala.	https://aws.amazon.com/iot-core/
IBM Watson IoT	Plataforma de Internet de las Cosas de IBM que proporciona servicios para la conectividad de dispositivos, la recopilación y análisis de datos IoT.	https://www.ibm.com/products/maximo/remote-monitoring
Microsoft Azure IoT	Servicio de Microsoft Azure diseñado para la creación, implementación y administración de soluciones IoT. Proporciona funciones para la recopilación de datos y el análisis en tiempo real.	https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-hub/

Resultados y discusión

Una vez efectuado el levantamiento de la información mediante las visitas *in situ*, entrevistas y encuestas, se presentan los resultados obtenidos. La entrevista permitió conocer datos para el monitoreo de temperatura y pulso cardíaco, y los síntomas más usuales de enfermedad que presentan los bovinos, la frecuencia con la que los dueños de ganado vacuno realizan chequeos a sus animales y, sobre el nivel de aceptación del collar de medición por parte del bovino, tal como lo detalla la tabla 2.

Tabla 2. Respuestas de las entrevistas realizadas a los veterinarios.

Criterio	Resumen de respuesta
Síntomas de malestar	Inapetencia, fiebre y decaimiento (poca más usuales que sufre el ganado vacuno).
Rangos normales de temperatura corporal (°C) en el ganado vacuno.	Vaca adulta: 37,7 °C mínima/38,5 °C media/39,0 °C máxima. Ternera: 38,5 °C mínima/39,0 °C media/39,5 °C máxima.
Rangos normales de presión arterial (lpm) en el ganado.	Vaca adulta: 40 mínima/60 media/80 máxima. Ternera: 80 mínima/95 media/110 máxima.
Opinión sobre si los bovinos aceptarían un collar de medición.	Las vacas lecheras son más dóciles que las vacas de carne y serían ellas las que la aceptarían sin inconvenientes.
Frecuencia de visitas para chequeo médico al ganado vacuno.	Ocasionalmente cada mes.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la encuesta de aquellos criterios que permitieron identificar la importancia que tiene para el ganadero la salud y bienestar de sus bovinos, las variables a monitorear y el nivel de aceptación que tendría la implementación de un sistema de monitoreo del ganado con tecnología IoT en el sector ganadero.

Tabla 3. Respuestas de las encuestas realizadas a los ganaderos.

Criterio	Análisis
Importancia del bienestar y salud del ganado.	El ganadero considera muy importante el bienestar y la salud del ganado, porque el 92% de los encuestados se expresaron positivamente.
Forma de monitoreo de salud en los animales.	El 50% de los ganaderos monitorean la salud de su ganado mediante revisiones periódicas con el veterinario, mientras que el 25% lo hace por observación visual, y el otro 25% por pruebas específicas de laboratorio y eventualmente con veterinarios.
Aceptación de un sistema de medición conectada a internet.	El 33% de los ganaderos indicaron que sería muy favorable el uso de esta tecnología en su ganado para monitorear la salud y bienestar del animal, mientras que el 67% indicaron que sería favorable.
Variables importantes a monitorear.	Para los ganaderos es muy importante medir la temperatura corporal con 67% de votos, seguido de otro aspecto como la geolocalización con un 58% de votos, la actividad o movimiento y el ritmo cardíaco del ganado también lo consideraron importante medir con un 50% de votos, y con respecto a la rumia el 41% lo consideraron importante medir, mientras que el 8% indicaron que también sería importante considerar medir el peso y consumo de alimentos.



Tabla 3. Respuestas de las encuestas realizadas a los ganaderos.

Criterio	Análisis
Ventajas de implementar un sistema tecnológico con acceso a internet.	El 50% de los ganaderos indicaron que el implementar un sistema de monitoreo tecnológico, les daría la ventaja de tener mayor eficiencia en la alimentación y cuidado del ganado, el 42% indicaron que mejoraría la detección temprana de enfermedades, y el 8% les beneficiaría controlar el asunto del abigeato.
Competitividad en el mercado.	El 50% indicó que el uso de un sistema tecnológico de medición en sus granjas, en cierta medida les permitirá ser más competitivos en el mercado, y el 42% consideró que en gran medida les permitirá ser más competitivos, mientras que el 8% estuvo en dudas.

La figura 1, presenta las cuatro variables que se consideraron para el proceso de monitoreo y recolección de datos, estas fueron seleccionadas tomando en cuenta aquellos criterios con 50% o más, por la que los ganaderos votaron: temperatura corporal 67%, geolocalización 58%, actividad o movimiento 50% y pulso cardíaco 50%. Estos controles dieron paso a determinar los dispositivos IoT para el modelo del sistema de monitoreo de salud y bienestar animal.

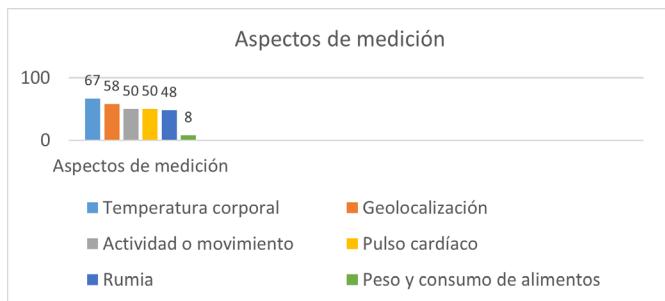


Figura 1. Variables de monitoreo.

Las variables de monitoreo que tuvieron prioridad por los encuestados fueron factores que influyeron en el bienestar del ganado vacuno. Como fue el caso de la exposición prolongada a condiciones climáticas extremas, como altas temperaturas ambientales, las cuales pueden causar estrés calórico y fiebre en el ganado y afectar el bienestar y producción ganadera. Sharma y Koundal (2018) mencionan que la exposición a altas temperaturas solares activa mecanismos termorreguladores en el ganado, pudiendo reducir el metabolismo, la ingesta y la productividad.

La fiebre en bovinos puede deberse a diversas causas, desde infecciones hasta la ingestión de sustancias tóxicas, siendo crucial

identificar la causa para un tratamiento adecuado y prevenir la propagación de enfermedades en el rebaño. Para esto, el sensor DS18B20 permitió medir la temperatura, y una de las ventajas que presentó fue la precisión, y su alto nivel de compatibilidad con las placas MKR-NB1500 y ESP8266.

Para Medina y López (2021), DS18B20 es un sensor para la medición de la temperatura corporal, el cual proporciona lecturas de 9 a 12 bits, y cuenta con tres pines los cuales son Vdd, GND y DATA. Dentro de esta familia de sensores se puede destacar la resistencia al agua y polvo. Según el trabajo realizado por Scozzina et al. (2023), el sensor DS18B20 fue elegido porque operó correctamente en el rango de temperatura necesaria y también evaluaron la compatibilidad con la placa que realizaron para el desarrollo del prototipo.

El movimiento del bovino es otra variable monitoreada con prioridad para los ganaderos con el fin de conocer sobre el bienestar o salud del ganado vacuno. Un bovino según, Guzmán (2021) cuando permanece acostado la mayor parte del día o que no está rumiando de 8 a 9 horas diarias puede, con alta probabilidad, estar siendo aquejado por una molestia, enfermedad o herida. La inmovilidad del ganado puede deberse a diversas razones como espacio limitado, enfermedades, lesiones, factores ambientales estresantes y problemas reproductivos. Una observación atenta del comportamiento permite abordar estas causas, asegurando el bienestar óptimo de los animales.

Por lo tanto, el sensor MPU6050 es el dispositivo ideal que combina un acelerómetro y un giroscopio, lo que le permite medir tanto la aceleración lineal como la velocidad angular en tres ejes, tal como lo indicó Muñoz (2021) que este sensor es una unidad de medición inercial, que combina un giroscopio de tres ejes X, Y, Z, que mide la aceleración dinámica, inclinación o vibración. Su uso ayuda a registrar movimientos inusuales o comportamientos anómalos del ganado. Por ejemplo, podría detectar señales de cojera o movimientos bruscos que podrían indicar problemas de salud, identificar la época de celo de las vacas, entre otros. Para Rojas (2019) la comunicación puede realizarse tanto por SPI como por bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos.

En cuanto a la variable de la geolocalización del ganado vacuno es crucial para los ganaderos por algunas razones, ya que proporciona información valiosa sobre la ubicación de sus animales. La geolocalización en el ganado tiene múltiples utilidades, como prevenir robos al rastrear la ubicación, facilitar la gestión del pastoreo al supervisar la ubicación del ganado y prevenir conflictos dentro del hato. Esta herramienta es esencial para mejorar la gestión, bienestar y seguridad animal, además de contribuir a la eficiencia operativa y el cumplimiento de regulaciones en la industria ganadera.



El sensor que tiene esta funcionalidad es el GPS NEO-6M, porque brinda una ubicación geoespacial de alta precisión, y coincidió con lo que indicaron Ponce et al. (2018), que es un módulo que permite la obtención de la información de geolocalización y que cuenta con una antena de cerámica conectada a un receptor GPS Ublox NEO-6M, el cual recibe las señales enviadas por los Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNNS.

Por otra parte, Loja y Naula (2022) sugirieron el uso del sensor por el uso del protocolo NMEA que contiene la cadena de datos \$GPRMC con tramas como la hora, longitud, orientación y fecha.

El monitoreo del ritmo cardíaco en el ganado vacuno también es una práctica valiosa en la gestión de la salud y el bienestar de los animales. La medición precisa de la frecuencia cardíaca proporciona información crucial sobre la salud cardiovascular de los bovinos, permitiendo detectar posibles problemas médicos o condiciones de estrés. El pulso cardíaco en el ganado varía según la edad, la actividad y el estado fisiológico, y su seguimiento constante puede ayudar a identificar signos tempranos de enfermedades o condiciones adversas. El dispositivo MAX30102, es el sensor que permite identificar los cambios en la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en la sangre, estos pueden indicar estrés o malestar en los animales.

Vélez (2020) igualmente menciona que es un módulo integrado destinado a medir ritmo cardíaco, incluye dos LEDs, un fotodetector, elementos ópticos y electrónica de bajo ruido con eliminación de la luz ambiental. Según el estudio de Wang et al. (2021), en el cual usaron este sensor porque puede obtener una lectura de frecuencia cardíaca de 20 a 200 y un 50 al 100% de lectura de saturación de oxígeno en sangre. La fuente de alimentación era de 3,3 a 5 v.

Por lo tanto, se propone el diseño de dos modelos de un sistema basado en IoT que monitoree la salud y el bienestar del ganado vacuno, como el control de la temperatura corporal usando el sensor DS18B20, la presión arterial con el MAX30102, el movimiento o actividad del bovino con el MPU6050 y la geolocalización con el módulo GPS NEO-6M. Para esto, se han elegido dos placas que interactúan correctamente con los sensores descritos: la placa MKR-NB1500 y la ESP8266. Ambos productos usados en proyectos de IoT.

La placa MKR-NB1500 es una placa de desarrollo de Arduino, diseñada para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) que requieren conectividad celular LTE-M. Además posee eficiencia energética, capacidad de integración de sensores y programación flexible. En Arduino (2023) se señaló que esta placa “puede comunicarse a través de las redes NB-IoT y LTE-M, y es excelente de usar para proyectos de baja potencia en áreas remotas”. Al usar esta placa, se permite una conexión directa de cada bovino, proporcionando total independencia de otros dispositivos de conexión de redes. Para asegurar su uso, se debe verificar la cobertura en la finca. En cambio, la placa ESP8266 tiene como medio de conectividad su módulo WIFI, por lo que, para brindar conexión con la nube Arduino, se necesitaría un router LTE.

Según TECmikro.com (2023), ESP8266 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP8266, con capacidad de conectarse por WIFI, que permite crear aplicaciones de forma fácil y rápida, y se ha popularizado por su bajo costo y versatilidad. El módulo integra además una interfaz USB-serial y un regulador de voltaje de 3.3V, lo que facilita su conexión y programación.

El diseño del primer modelo utiliza la placa ESP8266, la cual estaría interconectada con el router 4G LTE (figura 2). El segundo modelo utilizó la placa MKR-NB1500 que manejó el chip con tecnología IoT LTE-M, como lo muestra la figura 3. La plataforma de IoT elegida fue Arduino Cloud porque los componentes electrónicos que se han seleccionado son compatibles con esta plataforma.

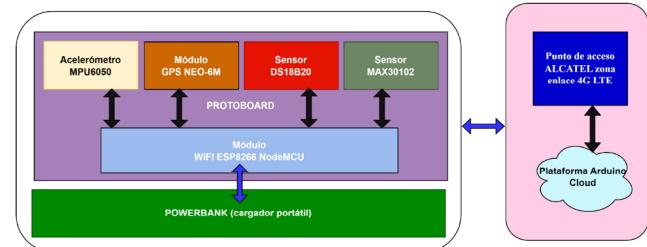


Figura 2. Modelo del sistema de monitoreo con placa ESP8266.

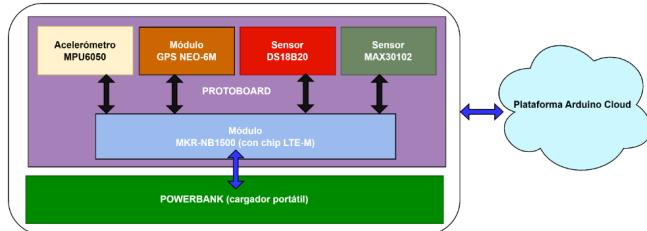


Figura 3. Modelo del sistema de monitoreo con placa MKR-NB1500.

Si bien es cierto que, los modelos propuestos incluyen monitorear las cuatro variables ya descriptas para mantener el bienestar de los bovinos, existen investigaciones de desarrollos tecnológicos con menos funcionalidades de medición, como el que citan Aranda et al. (2021), que mediante el Internet de las Cosas (IoT) se emplean redes eficientes en consumo y alcance extendido para la supervisión animal. Un nodo específico recopila detalles sobre la ubicación y estado biológico del ganado. La solución integra LoRa y MQTT para gestionar eficazmente el almacenamiento y la transmisión de la información.

El estudio de Toledo (2022), en cambio, hace mención a un prototipo unifuncional que emplea GPS mediante una placa Arduino y un módulo SIM808 para rastrear en tiempo real la ubicación del ganado vacuno. Las coordenadas recibidas se transmiten a una plataforma web de IoT para visualización de los datos.



En esta investigación se pretendió monitorear la actividad del ganado, por ejemplo, si se alimentó o no, mediante los movimientos del cuello del bovino. En cambio, en otra investigación, para controlar si estaban alimentándose, se diseñó un sistema basado en IoT para diagnosticar la acidosis ruminal en bovinos y monitorear parámetros nutricionales. Se midieron los valores de pH y temperatura del rumen con un microcontrolador IoT, registrando datos en un servidor. Tras pruebas en laboratorio y en rumiantes, el dispositivo permitió la detección temprana de la acidosis, facilitando intervenciones reguladoras oportunas. El material del circuito demostró durabilidad al retirarlo del rumen. (Gündüz y Başçiftçi, 2022).

En fin, esta investigación destacó la importancia de monitorear múltiples factores para garantizar el bienestar del ganado vacuno, desde la exposición a condiciones climáticas extremas hasta el control de la geolocalización, actividad y el ritmo cardíaco. La comparación con otros desarrollos muestra la amplitud y eficacia de la propuesta, abarcando diversas funcionalidades para un monitoreo integral del ganado, diferenciándose de enfoques más limitados en la medición.

Conclusión

La implementación de un sistema tecnológico de monitoreo de salud y bienestar del ganado vacuno en el sector ganadero, sin lugar a dudas, permite tener más control sobre los bovinos, porque se previenen pérdidas por enfermedad o por abigeato. La industria ganadera, al adoptar un sistema tecnológico, tendrá en gran medida una ventaja competitiva en el mercado nacional e internacional.

Para este efecto, en este estudio, se identifican las variables para el monitoreo de salud y bienestar de los bovinos, que son establecidas por el veterinario y por los ganaderos que indican por medio de entrevistas y encuestas se dé prioridad en el chequeo a: la temperatura corporal, geolocalización, actividad física o movimiento y ritmo cardíaco como los controles con más prioridad.

Se ha realizado un análisis de las tecnologías de IoT disponibles en el mercado para su aplicación en sistemas de monitoreo ganadero. Este análisis ha abarcado aspectos como: la precisión de los sensores, la capacidad de conectividad inalámbrica y la integración con plataformas de gestión de datos. Este proceso ha permitido identificar la tecnología IoT más adecuada para mejorar el monitoreo y la gestión del ganado, sentando así las bases para futuras implementaciones tecnológicas en el sector ganadero.

Por lo tanto, se proponen dos modelos tecnológicos de IoT como solución al problema que enfrentan los ganaderos para cubrir las

cuatro variables de monitoreo. Se considera que el modelo con la placa MKR NB-1500 sería el adecuado porque cubre hasta los lugares en la cual no tienen muchas veces internet. Los dos modelos incluyen el uso de los sensores DS18B20, MAX30102, GPS NEO-6M, y el acelerómetro MPU6050. Estos dispositivos estarían conectados a la plataforma Arduino Cloud que recopila datos del monitoreo con el fin de visualizar las anomalías.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aranda, M., Beltramini, P., Cano, J., Virragrán, L., Moreno, J., Gallina, S. y Herrera Conegliano, O. A. (2021). IoT aplicado a la ganadería extensiva. *Revista Argentina de Ingeniería*, 9(17), 106-113. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10086>
- Arduino. (2023). *Documentación de Arduino*. <https://docs.arduino.cc/hardware/mkr-nb-1500/#compatibility>
- Centro de la Industria Láctea del Ecuador (CIL). (2023). *Ganadería 4.0: tendencia revolucionaria para el sector lácteo*. <https://www.cil-ecuador.org/post/ganader%C3%ADA-4-0-tendencia-revolucionaria-para-el-sector-l%C3%A1cteo>
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. 10.26820/recimundo/4.(3).julio. 2020. 163-173
- Gündüz, K. A. y Başçiftçi, F. (2022). Monitoreo del pH basado en IoT para la detección de acidosis ruminal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 74, 457-472.
- Guzmán Chaves, G. E. (2021). *Sistema basado en Internet de las Cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red Lorawan*. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/61871>
- Hernández, S. A. C., Rico-Martínez, M., Jiménez-Agudelo, Y., Vesga, L. F. A. y López, J. L. C. (2022). *Métodos de evaluación y medición de redes móviles emergentes: Aplicación NB-IoT para transportar datos de calidad del aire*. En la Nueva Era, 341.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2022*. <https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/BIINEC-war/index.xhtml>



- Jiménez Rodríguez, W. C. and González Contreras, E. S. (2001). *Protoboard configurable por software, denominada "SOFTBOARD"*. <http://hdl.handle.net/11349/29055>
- Li, S., Xu, L.D. & Zhao, S. The internet of things: a survey. *Inf. Syst. Front.*, 17, 243-259 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Loja Aguilar, A. F. y Naula Cedacero, E. M. (2022). *Diseño de un sistema de monitoreo de posicionamiento y de la temperatura del entorno para ganado bovino utilizando una red de área local*. Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21620>
- Martin Iglesia, M. (2019). *Análisis de la simulación de dispositivos, circuitos y sistemas electrónicos para Internet de las Cosas (IoT)*. https://oa.upm.es/54136/1/TFG_MARIO_MARTIN_IGLESIAS.pdf
- Medina, J. D. C. y López, L. J. R. (2021). Utilización de IoT en el diagnóstico temprano del Covid-19. *Desarrollo e Innovación en Ingeniería*, 2, 429-441.
- Muñoz Garnica, C. C. (2021). *Diseño de un sistema de escritura y dibujo virtuales, basado en un acelerómetro*. Departamento de Ingeniería Eléctrica. CINVESTAV, México. <https://www.vlsilab.cinvestav.mx/files/Munoz-Garnica-MC-ppt-marb.pdf>
- Pérez, M. R., Mendoza, M. A. y Suárez, M. J. (2019). Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. *Paradigma*, 40(18), 1-8.
- Ponce, L. A. E., García, Y. R., Alonso, J. M. M., González, A. L. y Vargas, H. A. F. (2018). Dispositivo de rastreo gps para ganado bovino. *Pistas Educativas*, 39(127), 217-226.
- Quintanilla Padilla, R. E. y Cartagena Lobos, C. L. (2019). *Plataforma IoT para el control y monitoreo de variables físicas con tecnología Open Hardware: aplicación Área Académica*. 56 p. <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/3989>
- Radicelli-García, C. D., Pomboza-Floril, M. y Cepeda-Astudillo, L. (2018). Conectividad a Internet en zonas rurales mediante tecnologías de TDT (DVB-RCT2), o telefonía móvil (4G-LTE). *DINA*, 85(204), 319-324. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.62690>
- Rojas Lozano, D. (2019). *Monitoreo del comportamiento ingestivo de bovinos de pastoreo mediante el desarrollo e implementación de modelos de Machine Learning*. Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/1992/44640>
- Scozzina, M., Toledo, P., Roatta, S. and Sartorio, A. (2023). Cows communication system. *Memorias de las JAIO*, 9(6), 18-27
- Sharma, B. and Koundal, D. (2018). Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective. *IET Wirel. Sens. Syst.*, 8, 143-151. <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2017.0060>
- TECmicro.com. (2023). *Módulo WIFI ESP8266 NODEMCU*. <https://tecmikro.com/modulos-shields/598-modulo-wifi-esp8266-nodemcu.html>
- Tokio School. (2022). *Sensores IoT: qué son, para qué sirven, tipos, características y más*. <https://www.tokioschool.com/noticias/sensores-iot/>
- Toledo, M. A. (2022). Seguimiento y control de ganado vacuno mediante geoposicionamiento. *Project, Design and Management*, 4(1), 91-113. doi: 10.35992/pdm.4vi1.828
- Vélez, D. P. (2020). Diseño de un dispositivo wearable para el monitoreo de la oxigenación y ritmo cardiaco. In: *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 7(1), 485-492.
- Wang, L., Zhang, M., Li, Y., Xia, J. and Ma, R. (2021). Wearable multi-sensor enabled decision support system for environmental comfort evaluation of mutton sheep farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 1-13. 106302. doi:10.1016/j.compag.2021.106302

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Grace Katiuska Viteri Guzmán	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, diseño de encuesta y entrevista, análisis e interpretación de los datos, resultados, discusión, conclusiones, preparación, edición del manuscrito y formato de la bibliografía.
Ignacio Hugo Monserrate Sánchez	Participó en la preparación y edición del manuscrito de la sección de conectividad y diseño de los gráficos, resumen, palabras clave, formato de la bibliografía.
Alfredo Enrique Arrese Vilche	Participó en la revisión del contenido del manuscrito referente a las placas de IoT y casos de uso de los sensores, refuerzo en la introducción, metodología y formato de la bibliografía.

