Universidad Técnica de Manabí
Fundada en 1952

La Técnica
Revista de las Agrociencias

Agroindustria

Implementación de un sistema IOT para el monitoreo de la cadena de frío en el transporte terrestre de productos agroalimentarios perecederos

Implementation of an IOT-based system for cold chain monitoring in the land transportation of perishable agro-food products

Autores

[1]*Cesar Augusto Romero Molano*
cesar.romero@unillanos.edu.co

[2]*Ayza Yamir Urbina Angarita*
aurbina@unillanos.edu.co

[1]**Andrés Felipe Orduz Pérez*
andres.orduz@unillanos.edu.co

[1]Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Ingeniería Electrónica. Villavicencio, Colombia. https://ror.org/042335e16

[2]Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería Agroindustrial. Villavicencio, Colombia. https://ror.org/042335e16

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Romero Molano, C. A., Urbina Angarita, A. Y., Orduz Pérez, A. F. (2026). Implementación de un sistema IOT para el monitoreo de la cadena de frío en el transporte terrestre de productos agroalimentarios perecederos. *La Técnica, 16*(1), 67-76. DOI: https://doi.org/10.33936/latecnica.v16i1.8380

Recibido: Abril 15, 2026
Aceptado: Junio 19, 2026
Publicado: Junio 30, 2026

Resumen

El transporte terrestre de productos agroalimentarios perecederos constituye un eslabón crítico para preservar la calidad e inocuidad de los alimentos en Colombia; sin embargo, predomina el monitoreo manual y discontinuo, lo que dificulta la trazabilidad y aumenta el riesgo de pérdidas durante el trayecto. En este estudio se diseñó e implementó un prototipo de sistema IoT de bajo costo para la captura y transmisión en tiempo real de temperatura, humedad relativa y posición geográfica durante el transporte terrestre refrigerado. El desarrollo se organizó mediante el marco ágil Scrum estructurado en tres sprints de cuatro semanas cada uno. El prototipo integró un microcontrolador ESP32, un sensor DHT22, un módulo GPS Ublox NEO-M8N y la plataforma ThingSpeak como canal de visualización en la nube. Se realizaron cinco recorridos experimentales entre Villavicencio, Granada, Puerto López y Restrepo, registrando muestras cada 2s en almacenamiento local y retransmitiendo datos a la nube cada 60s. Los resultados mostraron una temperatura media de 24,20 °C (desviación estándar 9,54 °C; rango 39,70 °C) y una humedad relativa media de 64,66% (desviación estándar 15,25%; rango 100%), valores consistentes con un ambiente cálido y húmedo y confirmatorios de la capacidad del dispositivo para registrar condiciones reales de operación. El sistema constituye una base tecnológica operativa sobre la cual futuras investigaciones podrán evaluar su adopción en flotas comerciales y su integración con sistemas activos de refrigeración.

Palabras clave: agricultura, eficiencia, inocuidad alimentaria, innovación, Internet de las Cosas.

Abstract

The land transport of perishable agri-food products is a critical link for preserving food quality and safety in Colombia; however, manual and discontinuous monitoring predominates, which hinders traceability and increases the risk of losses during transit. In this study, a low-cost IoT system prototype was designed and implemented for the real-time capture and transmission of temperature, relative humidity, and geographic position during refrigerated land transport. Development was managed using the Scrum agile framework structured into three four-week sprints. The prototype integrated an ESP32 microcontroller, a DHT22 sensor, a Ublox NEO-M8N GPS module, and the ThingSpeak platform as a cloud visualization channel. Five experimental routes were carried out between Villavicencio, Granada, Puerto López, and Restrepo, recording samples every 2 s in local storage and retransmitting data to the cloud every 60s. The results show a mean temperature of 24.20 °C (standard deviation 9.54 °C; range 39.70 °C) and a mean relative humidity of 64.66% (standard deviation 15.25%; range 100%), values consistent with a hot and humid environment and confirming the device's capability to record real operating conditions. The system constitutes an operational technological baseline upon which future research can evaluate its adoption in commercial fleets and its integration with active refrigeration systems.

Keywords: agriculture, efficiency, food safety, innovation, Internet of Things.

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

Introducción

La inocuidad alimentaria y la gestión de la calidad en la cadena de suministro son pilares fundamentales para las industrias alimentarias a nivel global. Dentro de este contexto, el transporte terrestre de alimentos refrigerados constituye un eslabón crítico de la cadena de frío, ya que durante esta etapa pueden presentarse variaciones térmicas que comprometan la seguridad y la calidad de los productos. Un seguimiento inadecuado de parámetros críticos como la temperatura y la humedad puede generar rompimientos en la cadena de frío, afectando la inocuidad, incrementando el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y ocasionando pérdidas económicas significativas para las empresas del sector (Manosalva y Cangrejo, 2018).

En Colombia, las limitaciones tecnológicas y la escasa adopción de sistemas de monitoreo continuo representan desafíos persistentes en la trazabilidad del transporte de alimentos. La falta de seguimiento efectivo y el incumplimiento de los estándares regulatorios pueden derivar en sanciones, pérdida de confianza del consumidor y deterioro de la calidad del producto. Ante esta situación, la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una alternativa viable y transformadora para fortalecer la trazabilidad, permitiendo el seguimiento en tiempo real de variables como la temperatura, la humedad y la posición geográfica de los productos durante su transporte (Yue, 2011; Witjaksono, 2018).

El uso de IoT en la cadena de frío ofrece herramientas valiosas que facilitan la recopilación y análisis de datos en tiempo real, lo que posibilita intervenciones proactivas ante desviaciones térmicas y fallas de refrigeración (Protopappas et al., 2025; Müller et al., 2026). Según Witjaksono (2018), la correcta implementación de estas tecnologías no solo mejora la trazabilidad hacia adelante, sino que también garantiza el cumplimiento normativo y la protección de la salud pública. De esta manera, la integración del IoT permite optimizar los procesos logísticos, reducir desperdicios alimentarios y fortalecer la confianza del consumidor en los productos refrigerados.

Sin embargo, la adopción de estas tecnologías enfrenta retos técnicos, económicos y operativos. Entre ellos se destacan la integración de los sistemas IoT con infraestructuras existentes, la gestión de grandes volúmenes de datos y los altos costos iniciales de instalación y mantenimiento (Badía-Melis et al., 2018; Ammar et al., 2021). Aun ante estas limitaciones, el IoT ofrece beneficios importantes, como el monitoreo preciso de condiciones críticas y la mejora de la eficiencia logística, siendo además clave para cumplir con las regulaciones de inocuidad alimentaria (Mercier et al., 2017).

En el ámbito nacional, la Resolución 2674 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los procesos de producción, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos destinados al consumo humano, asegurando condiciones adecuadas de higiene, control de temperatura y capacitación del personal involucrado (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Complementariamente, la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 22005:2009 define los principios básicos para el diseño e implementación de sistemas de trazabilidad alimentaria, orientados a garantizar la identificación, documentación y comunicación de la información a lo largo de la cadena de suministro (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2009).

Aun ante el marco normativo existente, el problema conserva una dimensión económica considerable a nivel nacional. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en Colombia se pierden y desperdician anualmente cerca de 9,76 millones de toneladas de alimentos, equivalentes al 34% de la producción total del país, concentrándose las mayores pérdidas en las cadenas de frutas y vegetales (62%) y de raíces y tubérculos (25%) grupos particularmente sensibles a variaciones térmicas durante el transporte refrigerado (DNP, 2019; FAO, 2019). El sector agropecuario colombiano genera más de 25 millones de toneladas de productos perecederos al año, y estudios de la FAO señalaron que en países en desarrollo hasta el 40% de los alimentos frescos se pierden antes de llegar al consumidor final, siendo la ruptura de la cadena de frío durante el transporte terrestre uno de los factores determinantes de esta pérdida (FAO, 2019). Esta magnitud del problema justifica la urgencia de soluciones tecnológicas de monitoreo accesibles para el contexto nacional.

La literatura reciente confirma el potencial del IoT en la trazabilidad agroalimentaria. Vesga et al. (2023) destacaron la eficacia de tecnologías como RFID en la gestión de la trazabilidad del cacao, mientras que Chaparro et al. (2021) evidenciaron el uso de módulos terminales remotos (MTR) para el monitoreo de procesos agroindustriales mediante redes IoT. Por su parte, Manosalva y Cangrejo (2018) propusieron una arquitectura tecnológica IoT que mejora la visibilidad logística mediante el registro en tiempo real de temperatura, humedad y localización. Asimismo, Pacheco da Costa et al. (2023) resaltaron cómo las tecnologías de monitoreo continuo contribuyeron a reducir pérdidas y desperdicios alimentarios y Giraldo et al. (2021) evidenciaron el impacto del IoT en la optimización de procesos y la reducción de costos en distintos sectores industriales.

No obstante, las soluciones reportadas presentan limitaciones relevantes para su adopción en el contexto colombiano. Los sistemas RFID como el propuesto por Vesga et al. (2023) ofrecieron alta trazabilidad, pero implican costos de infraestructura elevados que dificultan su escalamiento a pequeñas y medianas empresas

CC BY NC ND

transportadoras. Los módulos terminales remotos descritos por Chaparro et al. (2021) se orientaron a procesos agroindustriales fijos, sin abordar las condiciones dinámicas del transporte terrestre en movimiento. Por su parte, la arquitectura de Manosalva y Cangrejo (2018), aunque conceptualmente cercana al presente trabajo, no reportaron una validación experimental en campo bajo condiciones reales de transporte ni un análisis de viabilidad económica que respalde su adopción. Asimismo, las soluciones comerciales disponibles en el mercado colombiano basadas en dataloggers o sistemas de telemetría satelital suelen tener costos que superan la capacidad de inversión de transportadores pequeños y medianos, quienes concentran una parte considerable de la operación logística de alimentos perecederos en el país.

A diferencia de las soluciones previamente descritas, el presente trabajo aporta un prototipo IoT de bajo costo, validado experimentalmente en condiciones reales de transporte terrestre en el departamento del Meta, que integra monitoreo de temperatura, humedad y geolocalización con un análisis explícito de viabilidad técnica y económica para su adopción por parte de operadores de transporte de alimentos perecederos en el contexto colombiano. En este sentido, la investigación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema IoT para el seguimiento en tiempo real de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión logística, la eficiencia operativa y la seguridad alimentaria.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del sistema IoT, se implementó el marco de trabajo ágil Scrum, estructurando la investigación en tres iteraciones o Sprints de cuatro semanas cada uno (figura 1). Este enfoque permitió la entrega incremental de resultados y el ajuste continuo del prototipo frente a los requisitos técnicos y normativos identificados. Scrum facilitó la colaboración continua y la entrega incremental de resultados, permitiendo un seguimiento permanente y ajustes iterativos durante las fases de diseño, desarrollo, implementación y validación del sistema. La elección de esta metodología se fundamentó en su eficacia para gestionar entregables de manera controlada y alineada con los objetivos específicos del proyecto (Hernández-Salazar y Beltrán, 2020).

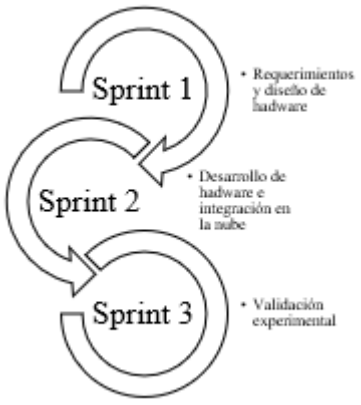

Figura 1. Esquema visual de metodología SCRUM usada.

Sprint 1: Requerimientos y diseño de hardware

Objetivo: Definir la arquitectura del sistema y seleccionar componentes compatibles con entornos de transporte.

Entregables: Diagrama de conexiones y prototipo funcional en PCB universal.

Criterios de aceptación: Los componentes (ESP32, DHT22 y GPS NEO-M8N) deben operar de manera integrada bajo una fuente de alimentación de 3.7V (batería 18650), garantizando un consumo energético eficiente para la autonomía del sistema.

Retrospectiva: Durante las pruebas iniciales de integración se identificó que la ubicación del sensor DHT22 en el protoboard, próxima a otros componentes electrónicos, generaba lecturas de temperatura con interferencia, no atribuibles a variaciones ambientales reales. Como acción correctiva, se reubicó el sensor con mayor separación respecto a los demás componentes y se ajustó su cableado, lo cual permitió obtener lecturas estables y consistentes con el proceso de calibración posterior.

Sprint 2: Desarrollo de software e integración en la nube

Objetivo: Programar la lógica de captura, procesamiento y transmisión de datos.

Entregables: Código fuente en Python y canal de visualización configurado en ThingSpeak.

Criterios de aceptación: El sistema debe capturar datos cada 60 segundos, almacenarlos localmente en formato .csv como mecanismo de respaldo y transmitirlos exitosamente a la nube mediante peticiones HTTP GET. Se incluyeron rutinas de manejo de excepciones para la reconexión automática en caso de pérdida de señal Wi-Fi.

Retrospectiva: Durante las primeras pruebas de integración se presentaron pérdidas intermitentes de conexión Wi-Fi que interrumpían la transmisión de datos hacia ThingSpeak. Como acción correctiva, se implementaron rutinas de manejo de excepciones (try-except) con reconexión automática, verificando que, ante fallos de conectividad, el sistema mantuviera el respaldo local en el archivo Datos.csv sin pérdida de registros. Esta corrección fue validada mediante pruebas de desconexión forzada previas al despliegue en campo.

Sprint 3: Validación experimental y retrospectiva

Objetivo: Evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de transporte terrestre.

Entregables: Reporte de cinco recorridos experimentales y base de datos de telemetría.

Mecanismos de Control: Tras cada recorrido, se realizaron sesiones de retrospectiva para analizar la estabilidad de la conexión y la variabilidad de las lecturas. Durante las retrospectivas se identificaron fluctuaciones térmicas asociadas a la exposición del sensor a corrientes de aire externas. Como acción correctiva, se reubicó el dispositivo en la zona central del

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (67-76): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8380

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

contenedor para mejorar la representatividad de las mediciones. (nuevo) Cabe destacar que la sensibilidad del sensor DHT22 a factores de ubicación, identificada inicialmente en banco de pruebas (Sprint 1), motivó una atención particular a este aspecto durante el despliegue en campo, lo que facilitó la rápida identificación y corrección del problema de exposición a corrientes de aire durante el Sprint 3.

Requisitos técnicos y normativos

El diseño del sistema IoT para el seguimiento de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos refrigerados se rigió por los requisitos técnicos y normativos establecidos en la Resolución 2674 de 2013 y la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 22005:2009, los cuales garantizaron la inocuidad y trazabilidad de los productos durante su transporte.

En este contexto, se establecieron los siguientes requisitos fundamentales:

1. Monitoreo continuo

Se buscó asegurar la integridad de los alimentos refrigerados durante todo el trayecto mediante un seguimiento constante de las condiciones ambientales. Este requisito respondió a lo estipulado en la Resolución 2674 de 2013, que exige el control permanente de temperatura y humedad durante el transporte de alimentos.

2. Precisión y fiabilidad

Los datos registrados deben ser exactos y confiables para respaldar decisiones informadas y garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad e inocuidad. Este aspecto está enmarcado dentro de las buenas prácticas de manufactura (BPM) definidas por la Resolución 2674 de 2013.

3. Comunicación inalámbrica

El sistema debe permitir la transmisión de datos en tiempo real desde los vehículos hacia la plataforma IoT, facilitando la supervisión remota y la toma de decisiones oportunas. Este requisito se alinea con la NTC-ISO 22005:2009, que resaltó la importancia de la comunicación eficiente a lo largo de la cadena de suministro para el intercambio de información crítica.

4. Almacenamiento y visualización de datos

La información recolectada debe almacenarse de forma segura y ser presentada de manera clara e intuitiva, posibilitando el análisis, la detección de anomalías y la trazabilidad de cada lote de alimentos. Este requerimiento respondió a la obligación de mantener registros documentales del movimiento y manipulación de productos establecida en la NTC-ISO 22005:2009.

5. Escalabilidad del sistema

Se exige que el sistema sea adaptable a diferentes tipos de vehículos y flotas, de modo que pueda implementarse a gran escala dentro del sector del transporte de alimentos. Este principio también está contemplado en la NTC-ISO 22005:2009, que definió los requisitos para el diseño e implementación de sistemas de trazabilidad a lo largo de toda la cadena alimentaria.

Selección de materiales y componentes

La selección de los materiales y componentes electrónicos se realizó mediante un análisis técnico basado en disponibilidad local, costo, rendimiento, fiabilidad y compatibilidad con los requisitos del sistema (tabla 1).

Tabla 1. Componentes evaluados para el sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

Componente	Alternativas evaluadas	Criterios de evaluación	Selección final	Justificación
Microcontrolador	ESP32, Raspberry Pi Pico W, Arduino Yun	Rendimiento, conectividad, consumo energético y costo.	ESP32 (ESP-WROOM-32)	Integra Wi-Fi y Bluetooth, presenta bajo consumo energético y una adecuada relación costo-rendimiento para aplicaciones IoT
Sensor de Temperatura y Humedad	DHT22/ AM2302, SHT31-D, BME280, DS18B20	Precisión, costo y facilidad de integración	DHT22/ AM2302	Proporciona precisión suficiente para el monitoreo ambiental con bajo costo y sencilla integración al ESP32.
Modulo GPS	Ublox NEO-M8N, GY-NEO6MV2, Adafruit Ultimate GPS	Precisión, compatibilidad y consumo energético	Ublox NEO-M8N	Ofrece mayor precisión y soporte para múltiples sistemas de posicionamiento satelital.
Pantalla	OLED 0.96”, LCD 16×2, TFT 1.8”	Consumo energético, visibilidad y tamaño	OLED 0.96”	Presenta bajo consumo, alto contraste y fácil integración mediante interfaz I2C.
Fuente de alimentación	Batería 18650, batería alcalina, batería NiMH	Autonomía, vida útil y costo.	Batería Li-ion 18650	Ofrece mayor densidad energética y mejor autonomía.

CC BY NC ND

Plataforma IoT

La plataforma seleccionada para la gestión de datos fue ThingSpeak, debido a su facilidad de uso, interfaz intuitiva y herramientas integradas de visualización y análisis. Su versión gratuita ofrece suficiente capacidad para la etapa de pruebas y prototipado. Aunque presentó limitaciones de escalabilidad frente a plataformas como AWS IoT o Azure IoT Hub, su rapidez de implementación y bajo costo la hacen idónea para proyectos académicos y pilotos tecnológicos.

Diseño del sistema y desarrollo del prototipo

El sistema se montó sobre un protoboard (PCB universal), integrando todos los componentes descritos. El ESP32 procesó los datos de los sensores y gestionó la comunicación inalámbrica hacia ThingSpeak, como se observa en la figura 1. El circuito incluye los componentes del sistema (tabla 2).

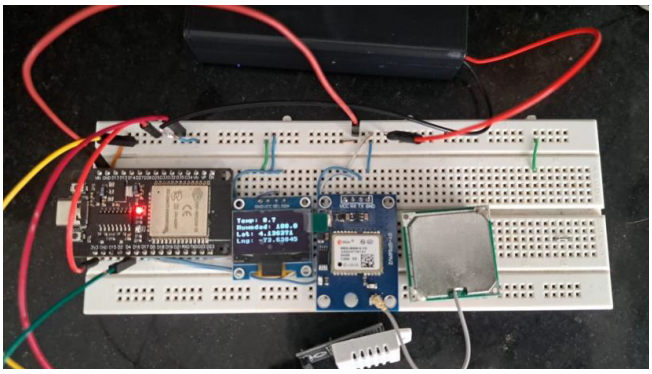

Figura 1. Montaje IoT en protoboard para el Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

Tabla 2. Componentes del Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

Sensor DHT22	Módulo GPS Ublox NEO-M8N	Pantalla OLED 0.96”	Batería de Litio
Mide temperatura y humedad	Obtiene coordenadas geográficas	Muestra valores de medición en tiempo real	Garantiza autonomía del sistema

Desarrollo del software

El software fue desarrollado en Python utilizando el entorno Thonny IDE. El código implementó la lectura de sensores, el procesamiento de datos y su envío a ThingSpeak mediante conexión Wi-Fi.

1.Configuración inicial

Se importaron las librerías necesarias y se configuraron las credenciales de red (SSID, contraseña) y la clave API de ThingSpeak, almacenadas en el archivo secret.py.

2. Lectura y visualización de datos

La función readGps() lee continuamente los valores del sensor DHT22 (temperatura y humedad) y del módulo GPS (latitud y longitud). Los datos se visualizaron en la pantalla OLED para retroalimentación inmediata al usuario.

3. Envío de datos

Cada 60 segundos, los datos fueron enviados a ThingSpeak mediante una petición HTTP GET. El dispositivo confirmó el envío exitoso en pantalla y almacenó una copia local en el archivo Datos.csv.

4. Manejo de errores

El código incluyó manejo de excepciones (try-except) para reconexión automática en caso de pérdida de conexión Wi-Fi o error de lectura de sensores.

Validación experimental y calibración de sensores

Antes de la realización de las pruebas de campo, el sensor DHT22 fue sometido a un proceso de verificación utilizando como referencia un termohigrómetro digital comercial calibrado. Las mediciones se realizaron durante un periodo continuo de una hora, registrando datos cada dos segundos. Las diferencias observadas se mantuvieron dentro de los rangos de precisión especificados por el fabricante (±0,5 °C para temperatura y ±2% para humedad relativa), por lo que el sensor fue considerado apto para las pruebas experimentales.

El módulo GPS Ublox NEO-M8N fue validado comparando las coordenadas registradas con puntos geográficos previamente identificados mediante aplicaciones cartográficas comerciales. Los errores observados fueron inferiores a 5 m en condiciones de cielo abierto.

Es importante precisar que los recorridos experimentales se realizaron bajo condiciones de transporte pasivo, es decir, sin un sistema de refrigeración activa en el contenedor, con el propósito de evaluar la capacidad del prototipo para capturar y transmitir variables ambientales críticas durante el trayecto. La integración del sistema con equipos de refrigeración activa se identificó como línea de trabajo futura. Para la evaluación del sistema se realizaron cinco recorridos experimentales entre los municipios de Villavicencio, Granada, Puerto López y Restrepo (Meta, Colombia). El dispositivo se ubicó en la zona central del contenedor de transporte, evitando la exposición directa a corrientes de aire externas y a superficies metálicas que pudieran alterar las mediciones.

Los recorridos experimentales se realizaron transportando productos cárnicos y pesqueros (pollo y pescado), seleccionados por representar categorías de alta perecibilidad y sensibilidad térmica, relevantes para evaluar la capacidad del sistema de detectar condiciones fuera de rango. Es importante precisar que, al tratarse de un transporte pasivo sin refrigeración activa, el propósito del experimento fue validar la capacidad técnica del prototipo para monitorear y transmitir variables ambientales en

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (67-76): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8380

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

tiempo real, y no evaluar ni certificar la inocuidad del producto transportado durante las pruebas. La duración de los recorridos varió entre 1 y 3 horas, dependiendo de la ruta y las condiciones de tráfico entre los municipios evaluados.

Durante cada recorrido se registraron automáticamente temperatura, humedad relativa, latitud y longitud a intervalos de dos segundos. Los datos fueron almacenados simultáneamente en memoria local mediante archivos CSV y transmitidos a la plataforma ThingSpeak para su visualización remota. La validación funcional del sistema se estableció mediante tres criterios: i) adquisición continua de datos durante todo el recorrido, ii) transmisión exitosa de la información hacia la plataforma en la nube y iii) almacenamiento local de respaldo sin pérdida de registros.

Resultados y discusión

El sistema IoT diseñado para el seguimiento de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos fue sometido a un proceso de pruebas experimentales que permitió evaluar su desempeño en condiciones reales. Las pruebas se realizaron con el propósito de verificar la estabilidad del dispositivo, la transmisión de datos en tiempo real y la precisión de los sensores durante recorridos simulados de transporte, como se observa en la figura 2.



Figura 2. Contenedor de transporte usado para el Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

Configuración experimental

El prototipo ensamblado se verificó inicialmente en condiciones ambientales controladas y posteriormente se ubicó en un contenedor de transporte de alimentos para monitorear las condiciones internas durante trayectos reales (figura 3). Se efectuaron cinco recorridos entre los municipios de Villavicencio, Granada, Puerto López y Restrepo (Meta, Colombia), los días 11, 13 de mayo y 1, 2 y 21 de junio, simulando condiciones típicas de transporte terrestre refrigerado.

Durante cada recorrido, el sistema registró datos de temperatura, humedad y coordenadas geográficas, los cuales fueron enviados a la plataforma ThingSpeak a intervalos de un minuto. Los valores se publicaron en los canales designados (Field 1: temperatura, Field 2: humedad, Field 3: latitud, Field 4: longitud), accesibles públicamente en el enlace.

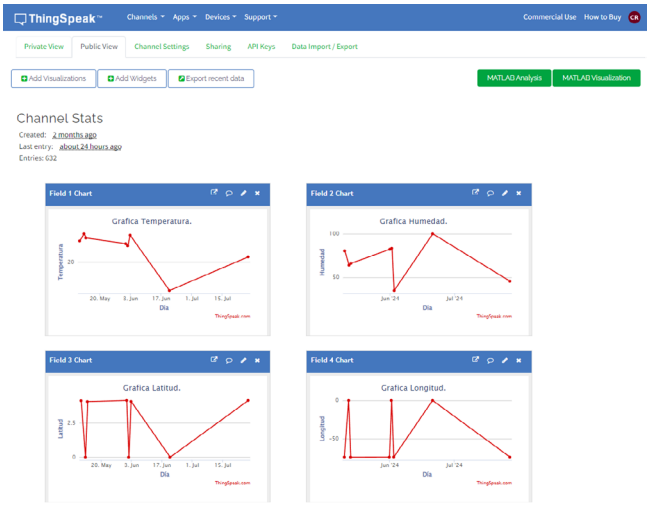

Figura 3. Publicación en ThingSpeak de la salida del Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

Recolección y visualización de datos

La transmisión de datos en tiempo real se validó mediante las herramientas de visualización de ThingSpeak, que permiten representar las mediciones en gráficos de línea y en mapas geográficos.

Para el análisis detallado de los trayectos, las coordenadas registradas se exportaron en formato .csv y se visualizaron en Google My Maps (figura 4), lo cual permitió comparar la ruta real con el comportamiento térmico observado durante los recorridos.

Los datos almacenados en la plataforma ThingSpeak fueron procesados en Python, verificando la consistencia y estabilidad de las mediciones. Los resultados obtenidos evidenciaron una variabilidad significativa en las mediciones de temperatura, con un rango de 39,70 °C, y de humedad relativa, con un rango de 100%. La media de temperatura fue de 24,20 °C y la de humedad 64,66%, valores que reflejaron un ambiente moderadamente cálido y húmedo, típico del clima del piedemonte llanero (figura 5). Las desviaciones estándar obtenidas (9,54 °C para temperatura y 15,25% para humedad) indicaron fluctuaciones

CC BY NC ND

considerables, atribuibles a los cambios de exposición solar y ventilación durante el trayecto.

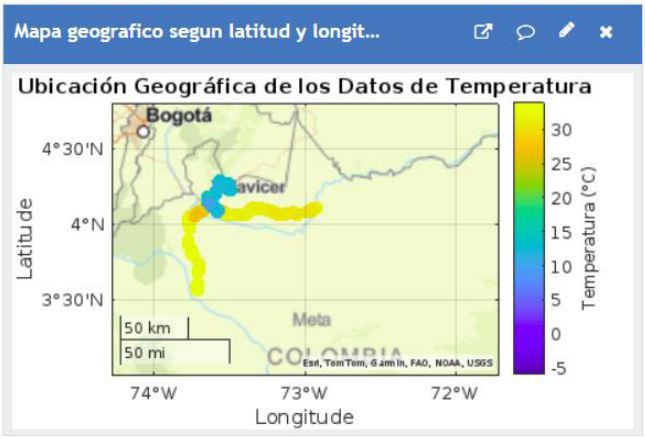

Figura 4. Mapa geográfico ThingSpeak de la salida del Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

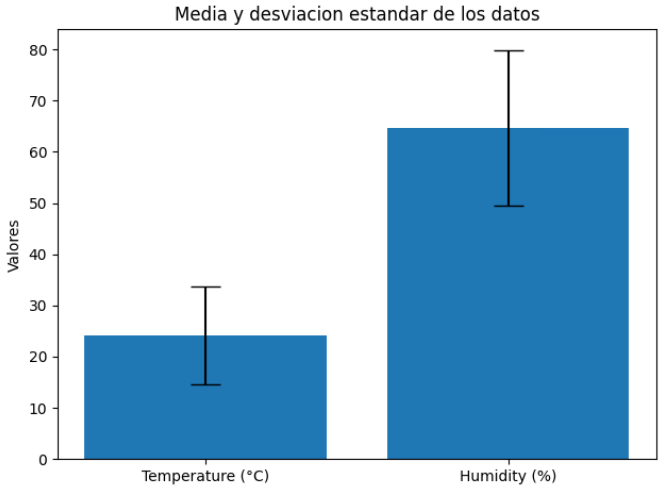

Figura 5. Media y desviación estándar de los datos de la salida del Sistema IoT de la cadena de frío en el transporte terrestre de alimentos.

El análisis de correlación mostró una relación negativa débil (-0,12) entre temperatura y humedad, indicando que ambas variables variaron de forma independiente bajo las condiciones evaluadas. El modelo de regresión lineal confirmó esta relación, explicando únicamente el 1,42% de la variabilidad de la temperatura. Este resultado sugirió que, en las condiciones del transporte terrestre, la humedad ambiental no constituyó un predictor determinante del comportamiento térmico dentro del contenedor. En conjunto, los resultados validaron la eficacia del prototipo IoT para monitorear en tiempo real variables críticas de la cadena de frío, permitiendo la supervisión remota, la trazabilidad geográfica y la identificación de condiciones fuera de rango durante el transporte de alimentos.

El uso de productos cárnicos y pesqueros bajo transporte pasivo permitió observar condiciones térmicas de alto riesgo real, lo cual reforzó la pertinencia de sistemas de monitoreo como el propuesto; sin embargo, estudios futuros deberán validar el desempeño del sistema integrado con equipos de refrigeración activa, condición necesaria para el transporte comercial de este tipo de productos conforme a la normativa vigente (Resolución 2674 de 2013). Asimismo, el tamaño de la muestra (cinco recorridos) constituyó una validación de concepto inicial, y la ampliación a un mayor número de trayectos permitiría fortalecer la robustez estadística de los hallazgos. Finalmente, el estudio no incluyó una medición empírica de la autonomía energética de la batería ni una cuantificación sistemática de la tasa de pérdida de conectividad durante los recorridos; ambos aspectos se identifican como métricas clave para trabajos futuros orientados a la evaluación de escalabilidad operativa del sistema.

En cuanto a la confiabilidad de la transmisión, se registraron pérdidas intermitentes de conectividad durante algunos de los recorridos de campo, similares a las observadas en las pruebas de integración del Sprint 2. En todos los casos, el mecanismo de reconexión automática implementado permitió restablecer la transmisión hacia ThingSpeak sin pérdida de registros, gracias al respaldo simultáneo en archivo CSV local. No obstante, el presente estudio no cuantificó de forma sistemática la tasa de pérdida de paquetes ni el tiempo de reconexión, por lo que se recomienda que estudios futuros incorporen esta métrica de forma explícita para evaluar la confiabilidad del sistema en condiciones de conectividad variable propias de zonas rurales.

La comparación con estudios internacionales recientes (tabla 3) permitió contextualizar los aportes y limitaciones del presente prototipo dentro de las tendencias actuales de monitoreo IoT en cadena de frío. En línea con lo reportado por Alshdadi et al. (2024) para condiciones climáticas cálido-húmedas similares a las del piedemonte llanero, la arquitectura basada en microcontrolador de bajo costo con conectividad inalámbrica y plataforma en la nube demostró ser una alternativa viable y replicable en contextos con recursos limitados; sin embargo, a diferencia de dicho estudio cuya validación se realizó mediante simulación con teléfono móvil el presente trabajo aporta evidencia de campo obtenida en condiciones reales de transporte con producto perecedero real.

Por otra parte, la arquitectura basada en ESP32 y ThingSpeak reportada por Abiguru et al. (2025) coincidió en gran medida con la del presente sistema, lo que sugirió que esta combinación tecnológica constituyó una solución consolidada y de fácil replicación para el monitoreo de variables ambientales en cadena de frío, aunque con oportunidades de mejora comunes, como la incorporación de alertas automáticas por umbral y sensores adicionales (gas, vibración, estado de puerta).

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (67-76): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8380

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

Tabla 3. Comparación con estudios internacionales recientes de monitoreo IoT en cadena de frío.

Estudio	Tecnología/ Componentes	Contexto de validación	Autonomía energética	Diferencia con el presente estudio
Presente estudio	ESP32, DHT22, GPS NEO-M8N, ThingSpeak (Wi-Fi)	5 recorridos reales, transporte terrestre pasivo (Meta, Colombia)	No medida empíricamente	—
Alshdadi et al. (2024)	NodeMCU, sensor temp/ humedad, Wi-Fi + red móvil 4G/5G, RFID, GPS	Prueba simulada mediante smartphone en Jeddah (Arabia Saudita), clima cálido-húmedo similar al del presente estudio	No reportada	Su validación fue simulada (teléfono móvil), no un despliegue real en vehículo; sí incluye análisis de costos
Garrido-López et al. (2024)	Datalogger portátil con IoT celular; sensores de temperatura, humedad, CO_2, luminosidad y vibración	Pruebas de laboratorio y de autonomía de batería	Validada empíricamente: hasta 1 mes de autonomía	Mayor variedad de sensores y validación formal de autonomía energética — señala justo la métrica que el presente estudio identificó como limitación
Mohammed et al. (2022)	Sistema de control IoT para cámaras de almacenamiento frío (no transporte), sensores de temperatura, humedad, CO_2, etileno	Validado en almacenamiento fijo (dátiles), comparando cámara modificada vs. tradicional	No aplica (alimentado por red eléctrica fija)	Es almacenamiento fijo, no transporte en movimiento; usa control activo de refrigeración (a diferencia del transporte pasivo del presente estudio)
Abiguru et al. (2026)	ESP32, DHT11, GPS, módulo GSM, ThingSpeak; incluye sensor de gas y estado de puerta	Pruebas en "situaciones del mundo real" (detalle metodológico limitado en la fuente)	No reportada	Arquitectura muy similar a la del presente estudio (ESP32+ThingSpeak), pero añade alertas SMS por umbral y no reporta transporte terrestre validado con producto real

Un hallazgo relevante de esta comparación fue la ausencia, en el presente estudio, de una validación empírica de la autonomía energética del sistema, aspecto que sí fue abordado de forma rigurosa por Garrido-López et al. (2024), quienes reportaron hasta un mes de autonomía en su datalogger celular mediante estrategias de optimización de consumo. Esta comparación refuerza la limitación ya identificada en el presente trabajo y señaló una dirección concreta para investigaciones futuras: la caracterización formal del consumo energético bajo condiciones reales de operación prolongada. Finalmente, la comparación con el sistema de Mohammed et al. (2022), orientado al almacenamiento fijo con refrigeración activa, permite dimensionar con mayor claridad el alcance del presente estudio: mientras que dicho sistema opera bajo condiciones controladas y con alimentación eléctrica continua, el prototipo aquí desarrollado fue validado en un escenario más exigente transporte terrestre en movimiento, bajo alimentación autónoma por batería y sin refrigeración activa, lo cual constituye un aporte diferencial en términos de aplicabilidad práctica para el contexto de transportadores de alimentos perecederos en Colombia.

Se desarrolló e implementó un prototipo de sistema de monitoreo basado en Internet de las Cosas (IoT) orientado al seguimiento de variables ambientales críticas durante el transporte terrestre de alimentos perecederos en Colombia. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica de la propuesta bajo condiciones reales de operación, así como su potencial para contribuir al fortalecimiento de la trazabilidad alimentaria en el país.

El sistema diseñado, conformado por sensores de temperatura, humedad y geolocalización integrados a un microcontrolador ESP32 y conectados a la plataforma ThingSpeak, demostró un desempeño estable durante los cinco recorridos de campo, permitiendo la transmisión y visualización de datos en tiempo real, incluso ante pérdidas intermitentes de conectividad gracias al mecanismo de reconexión automática implementado. La arquitectura modular y de bajo costo desarrollada resulta compatible con los lineamientos generales establecidos en la legislación vigente Resolución 2674 de 2013 y la NTC-ISO 22005:2009 en materia de monitoreo continuo, comunicación y trazabilidad; no obstante, su adopción como herramienta de cumplimiento normativo formal requeriría procesos adicionales de validación y certificación que exceden el alcance de este trabajo.

El análisis experimental evidenció que el sistema es capaz de capturar y transmitir de forma continua las condiciones ambientales del trayecto, permitiendo identificar variaciones térmicas e higrométricas relevantes para la toma de decisiones logísticas. Es importante precisar que las pruebas se realizaron bajo condiciones de transporte pasivo, sin refrigeración activa, con productos cárnicos y pesqueros; por lo tanto, los resultados dan cuenta de la capacidad de monitoreo del prototipo y no constituyen, por sí mismos, evidencia de garantía de inocuidad alimentaria durante las pruebas realizadas.

Conclusión

El prototipo desarrollado constituye una base tecnológica accesible y técnicamente viable para el monitoreo de variables críticas durante el transporte terrestre de alimentos perecederos en el contexto colombiano. Su adopción, junto con la integración futura de sistemas de refrigeración activa, la validación en

CC BY NC ND

un mayor número de recorridos y condiciones estacionales, y la cuantificación empírica de su autonomía energética y confiabilidad de conectividad, podría contribuir a fortalecer la eficiencia operativa y la trazabilidad en el sector agroalimentario colombiano. El desarrollo de soluciones locales, asequibles y adaptadas al contexto nacional representa un paso relevante hacia la modernización tecnológica del transporte de alimentos perecederos en el país.

Conflicto de intereses

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

Referencias bibliográficas

Abiguru, G., Hariprasath, R., Dharun, M. and Jai Krishnan, T. (2026). IoT-enabled risk monitoring system for cold supply chain management in logistics applications. *International Journal of Engineering & Extended Technologies Research*, *8*(2), 1432-1442. https://doi.org/10.15662/IJEETR.2026.0802102

Alshdadi, A., Kamel, S., Alsolami, E., Lytras, M. D. and Boubaker, S. (2024). An IoT smart system for cold supply chain storage and transportation management. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *14*(2), 13167-13172. https://doi.org/10.48084/etasr.6857

Ammar, M. A., Mohammed, A. A.-A., Ifadhila, A., Silvia, A. and Nabeel, M. (2021). The Internet of Things in the food supply chain: Adoption challenges. *Benchmarking: An International Journal*, *28*(1), 72-90. https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2020-0371

Badía-Melis, R., McCarthy, U., Ruiz-García, L., García-Hierro, J. and Robla Villalba, J. I. (2018). New trends in cold chain monitoring applications: A review. *Food Control*, *86*, 170-182. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.022

Chaparro Mesa, J. E., Barrera Lombana, N. y León Socha, F. A. (2021). Módulo terminal remoto para la adquisición de datos, monitoreo y control de procesos agroindustriales (AgriculTIC). Ingeniare. *Revista Chilena de Ingeniería*, *29*(2), 245-264. https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000200245

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2019). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. DNP*.

Garrido-López, J., Jiménez-Buendía, M., Toledo-Moreo, A., Giménez-Gallego, J. and Torres-Sánchez, R. (2024). Monitoring perishable commodities using cellular IoT: An intelligent real-time conditions tracker design. *Applied Sciences*, *14*(23), 11050. https://doi.org/10.3390/app142311050

Giraldo Castellanos, J. D., López Hernández, V. y Castaño Gonzales, T. (2021). Tópicos de investigación de Internet de las Cosas en la cadena de suministro. *Expotech*, *7*(1), 1-10. https://doi.org/10.22490/25394088.5608

Hernández-Salazar, E. y Beltrán, C. A. (SCRUM, 2020). Un enfoque práctico de metodología ágil para la ingeniería de software. *Revista Tecnol. Investig. Academia TIA*, *8*(2), 61-73.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2009). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 22005:2009.* Trazabilidad en la cadena de alimentos para el consumo humano y para animales: Principios generales y requerimientos básicos para el diseño e implementación del sistema.

Manosalva Barrera, N. E. y Cangrejo Aljure, L. D. (2018). Arquitectura tecnológica IoT para la trazabilidad de productos frescos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, *12*(3), 28-42. http://rcci.uci.cu

Mercier, S., Villeneuve, S., Martin, M. and Ismail, U. (2017). Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(4), 647-667. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Resolución 2674 de 2013. Diario Oficial No. 48.862.* https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=54030

Mohammed, M., Riad, K. and Alqahtani, N. (2022). Design of a smart IoT-based control system for remotely managing cold storage facilities. *Sensors*, *22*(13), 4680. https://doi.org/10.3390/s22134680

Müller, W. A., Ferreira, S. B. and Botelho da Silva, S. (2026). Enhancing food safety in the cold chain through Internet of Things and Artificial Intelligence. *Journal of Food Science*, *91*(2), e70871. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70871

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *Pérdida y desperdicio de alimentos*.

Pacheco da Costa, T., Gillespie, J., Cama-Moncunill, X., Ward, S., Condell, J., Ramanathan, R. and Murphy, F. (2023). A systematic review of real-time monitoring technologies and their potential application to reduce food loss and waste: Key elements of food supply chains and IoT technologies. *Sustainability*, *15*(1), 614. https://doi.org/10.3390/su15010614

Protopappas, L., Bechtsis, D. and Tsotsolas, N. (2025). IoT Services for Monitoring Food Supply Chains. *Applied Sciences*, *15*(13), 7602. https://doi.org/10.3390/app15137602

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

Vesga Ferreira, J. C., Contreras Higuera, M. F. y Vesga Barrera, J. A. (2023). Trazabilidad de los bultos de cacao mediante el sistema RFID, soportado en el uso de series de tiempo bajo la arquitectura del IoT. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *24*(1), 1-13. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2911

Witjaksono, G. (2018). IoT for agriculture: Food quality and safety. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *343*(1), 012023. https://doi.org/10.1088/1757-899X/343/1/012023

Yue, T. (2011). *Internet of things technology application in the food supply chain management*. 2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE) (pp. 1-4). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICEBEG.2011.5882613

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Cesar Augusto Romero Molano: Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **Ayza Yamir Urbina Angarita:** Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **Andrés Felipe Orduz Pérez:** Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Curación de datos, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

CC BY NC ND