

**PLATAFORMA WEB PARA MONITOREO Y VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS
AMBIENTALES EN CAFÉ MEDIANTE SENSORES IOT
WEB PLATFORM FOR MONITORING AND VISUALIZATION OF ENVIRONMENTAL
PARAMETERS IN COFFEE USING IOT SENSORS**

Autores: ¹Ángel Ariel Cedillo Illescas, ²María Mercedes Encalada Arévalo y ³Juan Pablo Pazmiño Piedra.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7057-6783>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-8629-5944>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0069-7680>

¹E-mail de contacto: angel.cedillo.36@est.ucacue.edu.ec

²E-mail de contacto: maria.encalada.50@est.ucacue.edu.ec

³E-mail de contacto: juan.pazmino@ucacue.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*3*}Universidad Católica de Cuenca, (Ecuador).

Artículo recibido: 30 de Julio del 2025

Artículo revisado: 1 de Agosto del 2025

Artículo aprobado: 4 de Agosto del 2025

¹Estudiante de último año de la carrera de software de la Universidad Católica de Cuenca, (Ecuador).

²Estudiante de último año de la carrera de software de la Universidad Católica de Cuenca, (Ecuador).

³Ingeniero Electrónico y Tecnólogo, egresado de la Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina), con más de 20 años de experiencia laboral docente, Magíster en Gerencia y Liderazgo Educativo, Máster Universitario en Industria 4.0, egresado, Diplomado en Pedagogías Innovadoras, egresado, ha ejercido la docencia en niveles de secundaria, bachillerato, educación universitaria y programas de posgrado. Además, ha ocupado cargos de gestión académica, destacándose como Coordinador de Investigación en el Instituto Tecnológico Sudamericano y como Director de las Carreras de Robótica e Inteligencia Artificial y Sistemas Biomédicos en la Universidad Católica de Cuenca, (Ecuador), liderando proyectos estratégicos relacionados con la robótica, la inteligencia artificial, la innovación y el desarrollo tecnológico.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo principal diseñar y desarrollar una plataforma web para el monitoreo en tiempo real de parámetros de aire y suelo en plantaciones de café. La investigación se ejecutó en la Hacienda La Papaya, Saraguro, Ecuador. La metodología de desarrollo de software usada fue SCRUM, la cual está orientada a la creación de soluciones rápidas y adaptables al cambio. Para la recolección de datos, se implementó una red de sensores IoT creados usando módulos LoRa e32 que permitió la comunicación inalámbrica entre largas distancias en zonas sin internet, los sensores usados fueron: RS485 para el suelo (midiendo las variables de NPK, humedad, temperatura, salinidad, conductividad y pH) y AM2302 para el aire (temperatura y humedad). Y para la transmisión de datos se usó un gateway HLK-RM08. Para el procesamiento de los datos, se estructuró un backend en Node.js, encargado de recibir y validar los datos provenientes de los sensores, para luego almacenarlos en la base de datos PostgreSQL. Para la visualización de información en tiempo

real, se usó Grafana para crear paneles interactivos, lo cual permitió un análisis de los datos a mayor profundidad. Los resultados obtenidos demostraron la funcionalidad y fiabilidad de la plataforma, se validó la capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos para la necesidad de los usuarios finales, el cual era de 500 lecturas/hora, con una latencia inferior a un minuto en el dashboard. Esta solución se validó como una herramienta viable y de bajo costo que optimiza la gestión agronómica, impulsando así la agricultura y creando una base de la cual puede ser expandida con la implementación de módulos predictivos, de georreferenciación, e inclusive con inteligencia artificial.

Palabras clave: Sensores IoT, Plantaciones de café, Plataforma web, SCRUM, Monitoreo en tiempo real.

Abstract

The main objective of this study was to design and develop a web platform for real-time monitoring of air and soil parameters in coffee plantations. The research was carried out at Hacienda La Papaya, Saraguro, Ecuador. The

software development methodology used was SCRUM, which is oriented to the creation of fast and adaptable solutions to change. For data collection, an IoT sensor network was implemented using LoRa e32 modules that allowed wireless communication over long distances in areas without internet. The sensors used were: RS485 for the soil (measuring NPK, humidity, temperature, salinity, conductivity, and pH variables) and AM2302 for the air (temperature and humidity). An HLK-RM08 gateway was used for data transmission. For data processing, a backend was structured in Node.js, in charge of receiving and validating the data coming from the sensors and then storing them in the PostgreSQL database. For the visualization of real-time information, Grafana was used to create interactive panels, which allowed a more in-depth analysis of the data. The results obtained demonstrated the functionality and reliability of the platform, the processing and data storage capacity was validated for the end users' needs, which was 500 readings/hour, with a latency of less than one minute in the dashboard. This solution was validated as a viable and low-cost tool that optimizes agronomic management, thus boosting agriculture and creating a base from which it can be expanded with the implementation of predictive modules, georeferencing, and even artificial intelligence.

Keywords: IoT sensors, Coffee plantations, Web platform, SCRUM, Real-time monitoring.

Sumário

O principal objetivo deste estudo foi projetar e desenvolver uma plataforma baseada na Web para o monitoramento em tempo real dos parâmetros do ar e do solo nas plantações de café. A pesquisa foi realizada na Hacienda La Papaya, Saraguro, Equador. A metodologia de desenvolvimento de software utilizada foi a SCRUM, a qual é orientada para a criação de soluções rápidas e adaptáveis a mudanças. Para a coleta de dados, foi implementada uma rede de sensores IoT utilizando módulos LoRa e32 que permitem a comunicação sem fio a longas distâncias em áreas sem internet. Os sensores

utilizados foram: RS485 para o solo (para medir NPK, umidade, temperatura, salinidade, condutividade e pH) e AM2302 para o ar (para medir temperatura e umidade). Um gateway HLK-RM08 foi utilizado para a transmissão de dados. Para o processamento de dados, um backend foi estruturado em Node.js, o qual tem a função de receber e validar os dados provenientes dos sensores e, em seguida, armazená-los no banco de dados PostgreSQL. Para a visualização das informações em tempo real, o Grafana foi utilizado para criar painéis interativos, os quais permitem uma análise mais aprofundada dos dados. Os resultados obtidos demonstraram a funcionalidade e a confiabilidade da plataforma e validaram a capacidade de processamento e armazenamento de dados para as necessidades dos usuários finais, que era de 500 leituras/hora, com uma latência de menos de um minuto no painel. Esta solução foi validada como uma ferramenta viável e de baixo custo que otimiza o gerenciamento agrônomo, impulsionando a agricultura e criando uma base a partir da qual pode ser expandida com a implementação de módulos preditivos, georreferenciamento e até mesmo inteligência artificial.

Palavras-chave: Sensores IoT, Plantações de café, Plataforma web, SCRUM, Monitoramento em tempo real.

Introducción

El café ha logrado posicionarse como una de las principales materias primas del comercio global, situándose entre los productos más comercializados a nivel internacional, solo superado por el petróleo en términos de volumen (Chango y García, 2021). Más allá de su popularidad como bebida, este cultivo representa una fuente significativa de ingresos para diversos países productores, especialmente en economías en desarrollo. En México, por ejemplo, la producción de café impulsa la economía con aproximadamente 20 mil millones de pesos anuales (Vanegas et al., 2023), lo que se traducen en cerca de 1.056 millones de dólares. Se calcula que la industria

cafetalera genera ingresos que superan los 200 billones de dólares anuales (Amrouk et al., 2025). Asimismo, se estima que alrededor de 125 millones de individuos en el planeta dependen directamente del cultivo del café para su trabajo (Bermudez et al., 2022), y más de 20 millones lo ven como su principal fuente de ingresos (Dorado, 2023). Además de su impacto económico, el café tiene un peso social considerable, al contribuir a la estabilidad y sostenibilidad de muchas comunidades rurales dedicadas a su cultivo. Tal es el caso de Perú, donde el 95% de las plantaciones están a cargo de pequeños agricultores y más de 230 mil familias dependen del café como su principal fuente de ingresos (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo, 2023).

En el caso particular de Ecuador, las condiciones tanto naturales, como climáticas, favorecen el desarrollo de diversas variedades de café de alta calidad, lo que ha permitido que se adentren en nichos de mercado especializado muy competitivo a nivel internacional (Jadán et al., 2024). Sin embargo, el sector cafetalero enfrenta múltiples desafíos que limitan explotar su potencial. Entre las principales dificultades que podemos identificar, se encuentra la escasa incorporación de la tecnología, la falta de infraestructura para esta y el acceso a financiamiento, lo cual afecta de mayor manera a pequeños y medianos productores (Jijón, 2024). Estos factores frenan la modernización del cultivo y la capacidad para adaptarse frente a entornos cambiantes, ya sean del mercado, o del clima. Como se mencionó antes, una de las debilidades más frecuentes es la carencia de mecanismos tecnológicos que permitan al productor tener un seguimiento constante de las variables agronómicas esenciales para la toma de decisiones, como la temperatura, humedad del suelo o la calidad de la fertilización. Esto genera una limitación a la hora de aplicar

prácticas agrícolas basadas en datos concretos, lo que reduce significativamente la eficiencia de estos. En las plantaciones de café, la limitación tecnológica impide manejar adecuadamente factores como la radiación solar o el riego, lo que desencadena el desperdicio de agua y una baja calidad y productividad del café (Corrales et al., 2025).

En este escenario, la tecnología IoT (Internet de las Cosas) presenta una herramienta de alto potencial, dado a que permite la interconexión de dispositivos inteligentes capaces de recolectar y analizar datos en tiempo real en un entorno agrícola (Espinosa et al., 2021). Investigaciones recientes ya han demostrado que el uso de aplicaciones y dispositivos IoT en entornos agrícolas puede mejorar la productividad, reducir el uso de recursos naturales y mejorar la toma de decisiones técnicas (Sánchez et al., 2025). Así ocurre con la gestión del riego al incorporar sensores IoT, lo que permite ajustar los horarios, pronosticar el clima y analizar datos en tiempo real. Esto reduce el consumo de agua y eleva la productividad, ya que los agricultores pueden gestionar de manera remota y precisa la cantidad de agua que necesitan sus cultivos (Premkumar y Sigappi, 2022).

Según Bai et al. (2019), el control del suelo mediante tecnología IoT posibilita la evaluación de factores importantes como la humedad, el nivel de pH y los nutrientes disponibles. Los datos obtenidos a través de los sensores ayudan a gestionar el terreno de manera más efectiva, puesto que optimizan el uso de nutrientes y disminuyen considerablemente la probabilidad de aplicar fertilizantes en exceso. En el presente estudio se propone el diseño, desarrollo y validación de una plataforma web basada en el uso de sensores IoT, enfocada en el monitoreo de variables claves tanto en suelo como en aire en cultivos de café. Esta propuesta se diferencia

de los sistemas convencionales en su enfoque de bajo costo, accesibilidad y facilidad de implementación para productores de mediana y pequeña escala. El desarrollo contempla la creación de una interfaz gráfica que permite la visualización de datos en tiempo real, envío de alertas, y la generación de gráficas que beneficien la toma de decisiones. Dicho desarrollo se realizó siguiendo la metodología ágil SCRUM, utilizando sensores conectados a un entorno backend robusto con Node.js y con una visualización usando la herramienta de Grafana. Los resultados obtenidos permitirán evaluar la funcionalidad del sistema como apoyo a la gestión técnica del cultivo de café, priorizando la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia productiva de las fincas involucradas.

Materiales y Métodos

Para la implementación del sistema, se seleccionó la hacienda de producción de café de especialidad Hacienda La Papaya, ubicada en el cantón Saraguro, provincia de Loja (Ecuador), la cual cuenta con condiciones agroecológicas adecuadas y apertura al uso de tecnología en sus actividades. Durante las primeras reuniones de trabajo, se definieron los instrumentos a ser usados para la recolección de datos, la estructura de trabajo a seguir y las herramientas tecnológicas para el análisis y la visualización de datos. La medición de las propiedades del suelo se realizó con sensores instalados en varias zonas productivas (7, 9, 11, 12, 13, 14) y en el banco de semillas. Estos dispositivos lograron registrar datos esenciales como humedad, temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica, y concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio.

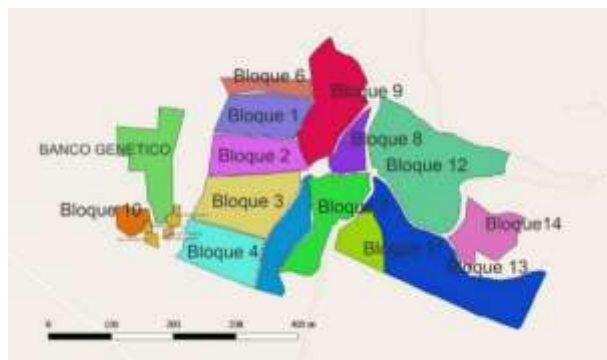


Figura 1. División de la hacienda.

Por otro lado, las condiciones atmosféricas fueron vigiladas mediante sensores que se encontraban en la Sala de Secado 1. Su tarea principal fue medir la temperatura y la humedad del aire, factores clave durante la etapa posterior a la cosecha del grano de café. Esta organización facilitó la evaluación del comportamiento del sistema en diferentes sectores de la finca, tanto en áreas de cultivo como en espacios de procesamiento, lo que resultó vital para validar su funcionalidad en diversos contextos de la producción agrícola real. La ingeniería de requisitos consiste en definir, analizar y documentar las funcionalidades que debe cumplir un sistema, siendo un proceso clave para asegurar que las necesidades de las partes interesadas se vean reflejadas en el desarrollo del software (Zakarija et al., 2021). En ese sentido, uno de los enfoques más reconocidos para evaluar la calidad del producto es el modelo FURPS, propuesto por Hewlett-Packard en 1987, el cual clasifica los requisitos en dos grandes categorías funcionales y no funcionales, basándose en cinco dimensiones principales: funcionalidad, usabilidad, confiabilidad, rendimiento y soporte (Reyes y Pinto, 2024). FURPS+ es una versión ampliada del modelo FURPS desarrollada por IBM Rational Software (Singh y Kassie, 2018), en la que se busca ampliar la propuesta al incorporar una nueva categoría relacionada con requerimientos que no encajan en ninguna categoría planteada,

como pueden ser la implementación, la distribución, la operación, plataformas físicas o aspectos legales que pueden llegar a afectar el desarrollo y funcionamiento del software.

SCRUM es una metodología de desarrollo ágil, usada ampliamente para el desarrollo de software por su enfoque en la colaboración, independencia, autoorganización del equipo, y la entrega continua de valor. Está estructurada en ciclos breves de trabajo llamados sprints, los cuales permiten planificar, ejecutar y revisar el trabajo mediante diferentes iteraciones. Según Estrada et al. (2021), esta metodología tiene unas bases sólidas que promueven la transparencia, inspección y adaptación, lo que permite la detección temprana de problemas y el tiempo de respuesta del equipo frente a los diferentes cambios que pueden darse durante el periodo de desarrollo. Las reuniones diarias también juegan un papel fundamental, dado a que permiten ajustar tareas, coordinar esfuerzos y alinear al equipo tanto con los objetivos del proyecto, como con las necesidades del cliente. Como lo señala Stray et al. (2020) este enfoque surge de las metodologías ágiles, con el propósito de mejorar la comunicación dentro del equipo. Así, se fomenta la colaboración y se refuerza la independencia, haciendo más sencillo el acceso a la información importante. Complementariamente, para Žáček et al. (2024), SCRUM destaca por su enfoque en la asignación clara de responsabilidades en el equipo, donde cada integrante tiene tareas definidas para cada componente del sistema. Este tipo de organización mejora el control del progreso y optimiza la distribución de trabajo. Además, al incluir un análisis de riesgos al culminar un sprint, permite anticipar posibles problemas y tomar decisiones acordes a estas (Binboga & Altin Gumussoy, 2024). Por lo tanto, el trabajo con equipos pequeños contribuye a mejorar el enfoque y la

coordinación de los mismos, mientras que la flexibilidad a la hora de la planificación permite adaptarse a cambios sin perder de vista los objetivos del proyecto. Todo esto, en conjunto, favorece la eficacia de SCRUM para proyectos dinámicos. Dentro de los materiales de Hardware, se encuentran, LoRa e32, es una tecnología desarrollada por la empresa Semtech de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia (Romero et al., 2021). Su principal ventaja es la capacidad de enviar y recibir datos a larga distancia utilizando muy poca energía, lo cual la convierte en una opción ideal para dispositivos como sensores remotos alimentados por baterías pequeñas. En condiciones favorables, puede alcanzar entre 15 y 20 kilómetros de cobertura y mantener su funcionamiento durante varios años con una sola batería (Rapallini y Mazzeo, 2021).

El sensor NPK se emplea para medir tres nutrientes fundamentales que se encuentran en el suelo, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Estos elementos son esenciales para el desarrollo saludable de las plantas y están presentes con frecuencia en fertilizantes comerciales (Gottmukkala et al., 2023). Para estimar la concentración de estos nutrientes, el sensor analiza la conductividad eléctrica o ciertas propiedades espectrales del terreno (Pande et al., 2021). Normalmente, está compuesto por sondas que permiten realizar mediciones de NPK en tiempo real o con un leve retraso. Estos sensores se pueden presentar en varios formatos, ya sea versiones portátiles o de mano, lo cual facilita su uso en campo. Además, la señal de salida que emiten se basa en el protocolo de comunicación RS485 (Cheruvu et al., 2023), lo que permite la transmisión de datos estable, inclusive a través de distancias largas.

El sensor de aire AM2302, o también denominado DHT22, es un dispositivo usado

comúnmente para medir temperatura y humedad en varios entornos (Postolache, 2020). El funcionamiento del sensor se basa en una combinación de un termistor con un detector de humedad, lo que permite captar los datos ambientales de forma precisa (Munir et al., 2021). Dado a su bajo costo y su fiabilidad, es una opción muy atractiva para diferentes aplicaciones. En cuanto a su diseño, está construido con cuatro pines, que ofrecen lecturas de las variables dentro de un rango aceptable, por ejemplo, ofrece una lectora de temperatura entre un rango de 0 a 50 grados Celsius, con una precisión entre el 2 al 5%, mide humedad entre un 20 al 80%, con un margen de error del 5% (Munir et al., 2021; Zheng et al., 2022). Gracias a su resistencia a las interferencias, en conjunto con su rendimiento, lo hacen una herramienta confiable ampliamente usada en el monitoreo climático en diferentes entornos agrícolas.

El Gateway HLK-RM08 es un dispositivo desarrollado por la empresa Hi-Link, el cual funciona como un gateway que permite que equipos sin capacidad de red, como los sensores, o los microcontroladores, puedan conectarse fácilmente a una red o a internet, mediante WiFi o conexión por cable. Su principal ventaja es que se coloca como puente entre los dispositivos y la red, haciendo que la transmisión de datos se simplifique, evitando la necesidad de programación avanzada o hardware adicional. Otro de sus puntos fuertes es su tamaño reducido y bajo consumo de energía, haciéndolo ideal para integrarlo en proyectos que requieran comunicación remota, dada su capacidad para ser configurable mediante un navegador web (Hi-Link, 2016). Para la comunicación a largas distancias, se usaron antenas de 15 dBi, las cuales están diseñadas con la capacidad de emitir señales a largas distancias de forma focalizada y precisas.

La ganancia de las antenas, expresada en decibelios isotrópicos (dBi), representa su capacidad para dirigir la energía en una dirección determinada (Hardesty, 2024). Estas antenas se usan cuando se requiere una transmisión estable y de largo alcance hacia un punto específico.

Mientras que, los materiales de Software corresponden a la Grafana, la cual es una herramienta que se enfoca en la visualización y análisis de datos, que permite la creación de diferentes tipos de paneles, como gráficos, tablas e identificadores en tiempo real (Kirešová et al., 2023). Ofrece una compatibilidad con una gran variedad de fuentes de datos, como bases de datos, servicios en la nube, tablas de Excel o archivos de texto plano (Mehdi et al., 2023). Una de sus fortalezas es la simplificación a la hora de la interpretación de los datos, ya que reduce la complejidad necesaria para generar información visualmente clara y comprensible para la toma de decisiones. El PostgreSQL, es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto. Para Jeyaraj et al. (2022), PostgreSQL ofrece soporte para varias funciones esenciales como son las vistas, subconsultas y operaciones personalizadas, en conjunto con un fuerte enfoque en la integridad y fiabilidad de los datos. Además, permite su ejecución en diferentes sistemas operativos, lo que lo convierte en una opción muy robusta y de fácil uso en cualquier entorno de desarrollo.

Asimismo, el Node.js es un entorno de ejecución, el cual es de código abierto, y está basado en el motor V8 de JS (JavaScript) de Chrome, el cual está diseñado para desarrollar aplicaciones del lado del servidor, con un alto nivel de eficacia y escalabilidad (Esquivel et al., 2025). Utiliza un modelo de programación asíncrono y orientado a eventos, lo que permite manejar múltiples conexiones

simultáneamente sin bloquear el sistema. Esta arquitectura lo hace ideal para servicios en tiempo real, APIs y microservicios. Node.js se enfoca en crear un ecosistema robusto, con varias herramientas como TypeScript, GraphQL, y soporte para varios tipos de arquitecturas, consolidándose como una de las tecnologías más usadas y populares para el desarrollo web actual (Vangavolu, 2025).

Resultados y Discusión

Para facilitar la identificación y organización de los requisitos del sistema, se aplica el modelo FURPS+, el cual los agrupa según dimensiones técnicas específicas. A continuación, se detallan los criterios correspondientes a cada una de estas categorías.

F – Funcionalidad

- F.1. El sistema debe permitir la recepción de datos desde sensores de suelo conectados (temperatura, humedad, NPK, conductividad, salinidad, pH).
- F.2. El sistema debe permitir la recepción de datos desde sensores de aire conectados (temperatura, humedad).
- F.3. El usuario debe poder visualizar los datos en tiempo real desde el dashboard.
- F.4. El sistema debe generar gráficas de tendencias históricas por sensor.
- F.5. Debe haber un sistema de alertas cuando un valor supere un umbral predefinido.
- F.6. El sistema debe tener roles de usuario: administrador y usuario lector.
- F.7. El sistema debe generar gráficas comparativas de variables entre diferentes sensores.
- F.8. El backend debe almacenar los datos recibidos en una base de datos relacional.

- F.9. El backend debe registrar automáticamente la fecha, hora y ubicación de cada lectura sensorial.

U – Usabilidad

- U.1. La interfaz del dashboard debe ser intuitiva y accesible desde dispositivos móviles.
- U.2. Las gráficas deben ser interactivas y mostrar información detallada al pasar el cursor sobre el gráfico.
- U.3. Se debe incluir una barra de filtros para seleccionar sensores por bloque (ubicación) o fecha.
- U.4. Cada gráfico debe incorporar una línea de referencia o rango óptimo preestablecido para el cultivo, visible en la interfaz.

R – Fiabilidad (Reliability)

- R.1. El sistema debe estar disponible al menos el 90% del tiempo durante un mes calendario.
- R.2. Los datos provenientes de sensores deben ser verificados antes de ser ingresados en la base de datos.

P – Rendimiento (Performance)

- P.1. El sistema debe poder procesar y almacenar 500 lecturas por hora sin afectar su rendimiento.
- P.2. El dashboard debe actualizar los datos en tiempo real o con latencia menor a 1 minuto.

S – Soportabilidad (Supportability)

- S.1. El sistema debe estar desarrollado con tecnologías de código abierto (NodeJs, PostgreSQL, Grafana).

- S.2. El sistema debe ser modular para permitir la incorporación futura de nuevos sensores.
- S.3. El sistema debe ser capaz de incorporar nuevos bloques (de la misma hacienda) o de diferentes haciendas.

+ – Requerimientos adicionales

- +1. El backend debe estar construido con NodeJs, la base de datos en PostgreSQL.
- +2. El dashboard debe contar con una interfaz adaptada a la terminología agronómica (ej. ppm, % humedad).
- +3. Las alertas deben incluir descripciones simples y sugerencias agronómicas básicas, como “Nivel de fósforo bajo – riesgo de deficiencia en desarrollo radicular”.
- +4. El sistema debe presentar los datos de forma que pueda ser entendida por técnicos agrícolas sin formación informática, evitando lenguaje técnico de software.

El proyecto se estructuró utilizando SCRUM como metodología ágil, definiendo cuatro sprints de tres semanas. Cada iteración permitió entregar una parte funcional del sistema, además de generar retroalimentación para implementar mejoras progresivas. A lo largo del proceso, se estableció una comunicación constante con los usuarios finales, en este caso, ingenieros agrónomos, los cuales aportaron observaciones, que se plasman en retroalimentación más adelante, para mejorar la usabilidad y la aplicabilidad del sistema dentro de un contexto agrícola real.

Sprint 1: Desarrollo e integración de Sensores

El primer sprint del proyecto consistió en armar la red de sensores y ponerlos en funcionamiento. Para esto, se trabajó con sensores comunes en el ámbito agrícola, como

el AM2302 para temperatura y humedad del aire en las salas de secado del café cosechado, y un sensor de suelo COM37, R33 para las variables del suelo. La tarea principal dentro del sprint fue el de asegurar las lecturas confiables y la comunicación eficiente entre ellos. Para ello, se utilizó un microcontrolador LoRa e32, que permite conectividad Wi-Fi y es ideal para entornos IoT. El sensor fue programado para enviar los datos mediante un protocolo UDP con la información en texto plano, para asegurar que la velocidad de envío no se vea afectada por la longitud del paquete. Aquí se manda el identificador del sensor y las variables medidas por el mismo. Dentro de este sprint, se usó la herramienta Hercules Setup Utility, el cual es un programa desarrollado que permite simular tanto un cliente como un servidor en los protocolos UDP, TCP y Serial RS232, para validar la llegada correcta de los paquetes enviados por los sensores.

Retroalimentación del Sprint 1:

Dentro del sprint review, los ingenieros agrónomos que colaboraron en el proyecto expresaron la necesidad de identificar la hacienda a la que pertenecía cada sensor, con una visión de escalar el proyecto en un futuro. Esto llevó a incluir en la base de datos, campos de identificación tanto de los sensores, como de las haciendas. También se insistió en el uso de unidades comprensibles para los técnicos de campo a la hora de la visualización, como °C, %, y partes por millón (ppm), lo cual fue tomado en cuenta a la hora de la creación de los dashboards.

Sprint 2: Backend y Base de Datos

Una vez se verificó la funcionalidad correcta de los sensores, dentro de este sprint se desarrolló el backend del sistema, el cual está encargado de recibir los datos de los sensores. El backend usa una librería de NodeJs llamada dgram, la que permite la comunicación de tipo UDP para

recibir los datos, para luego pasarlos por varias expresiones regulares para validar la integridad de los datos recibidos, lo que evita añadir información corrupta dentro de la base de datos como resultado. Se empleó el framework Express sobre Node.js, y como sistema de almacenamiento se eligió PostgreSQL, por ser herramientas que son de código abierto y de libre uso, además que son compatibles con sistemas de visualización de datos como Grafana.

Retroalimentación del Sprint 2:

Durante la demostración de la integración entre el sensor y la base de datos, los agrónomos destacaron la utilidad de que el sistema pueda generar alertas o notificaciones cuando un valor excediera los límites esperados. Este requerimiento fue tomado en cuenta para el Sprint 3, donde se implementó un sistema de envío de mails.

Sprint 3: FrontEnd con Grafana

Con las pruebas correspondientes para validar el almacenamiento correcto de los datos, el sprint 3 tuvo como objetivo la visualización de los datos mediante la generación de gráficos. Para esto, se utilizó Grafana, una plataforma de visualización de datos ampliamente utilizada en entornos industriales e IoT. Grafana permite una conexión directa a la base de datos PostgreSQL, por lo que la mayoría del sprint fue usada para la creación de las consultas a la base de datos necesarias para generar los gráficos correspondientes. Para el filtrado de datos por fecha, Grafana cuenta con sus filtros propios, pero, para el caso del filtrado por bloque, se optó por el uso de variables dinámicas, lo que permite generar gráficos de manera más eficiente. Se utilizaron colores para diferenciar las líneas generadas, como las de mínimos y máximos históricos, así como de promedio global por horas.

Retroalimentación del Sprint 3:

Aunque los usuarios quedaron satisfechos con la visualización, propusieron diferentes cambios a los gráficos, cómo añadir líneas guía que representan los límites aceptables de las diferentes variables, así como los valores ideales para los mismos. Además, se propuso la generación de gráficos comparativos entre la misma variable de diferentes sensores, ya que estos están en diferentes zonas geográficas, a varias alturas, inclinaciones e inclusive diferente tipo de suelo, lo cual permitiría una mejor comprensión de los datos.



Figura 2: Panel comparativo de humedades del suelo

Sprint 4: Despliegue y Mejoras

El cuarto y último sprint se enfocó en el despliegue a internet del sistema, dado a que los sensores y el servidor se encontrarán en zonas diferentes, se utilizaron herramientas como ngrok y localtonet, que permiten exponer localmente un servidor al exterior de forma segura y gratuita. En este caso, ngrok fue usado para el API debido a que permite la comunicación TCP, en cambio, localtonet fue usado para la comunicación con los sensores; por siguiente, permite la comunicación UDP. También se mejoró la estructura del backend, modularizando el código, para permitir un desarrollo más eficiente a futuro, además, en el caso del frontend, se generaron los gráficos comparativos según lo acordado en el review del sprint 3.

Retroalimentación del Sprint 4:

Durante el último review, se propuso la posibilidad de acceder al sistema desde el campo a través de un dispositivo móvil, lo cual generó una necesidad de modificar el FrontEnd para que sea “responsive”, además, se sugirió como mejora futura la incorporación de un

mapa con geo referencias donde se pueda visualizar la ubicación de los sensores y sus datos en tiempo real. A continuación, se presentan en tablas los datos obtenidos y tabuladas de los sensores IoT empleados.

Tabla 1. Resultados obtenidos de sensores de temperatura y humedad

Variable	B7	B9	B11	B12	B13	B14	Total
N° de plantas	1195	3112	1018	4383	1422	593	30588
Agua 2024 (Lts/planta) (año)	1460	2920	2920	2916,4	2920	2909,1	42325
Agua 2025 (Lts/planta) (año)	1361,5	2715,6	2679,1	2905,4	2555	2737,5	41234
Diferencia (Lts/planta) (año)	29,2	80,3	167,9	11	365	32,9	686
Diferencia (Lts/bloque) (año)	34894	249893,6	170922,2	48213	519030	19509,7	20983368
Diferencia (%)	2,0	2,8	5,8	0,4	12,5	1,1	2,0

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los datos de consumo de agua, se identificó una eficiencia hídrica gracias a los datos proporcionados por los sensores. En el año 2024, el consumo anual se mantuvo en niveles homogéneos en todos los bloques, ya que las plantas eran regadas de forma rutinaria sin asistencia del monitoreo. En los primeros seis meses de 2025, luego de la instalación de los sensores para la gestión del riego, se generó una reducción considerable de agua en cada bloque. La reducción del consumo varía por

cada bloque, siendo el bloque 13 el que tuvo el mayor ahorro, con un 12,5% de agua, en relación a las mediciones de 2024. En contraste a esto, el bloque 12 mostró apenas una reducción del 0,4% de uso de agua, lo que hace pensar que las condiciones específicas del terreno no han permitido un ahorro más significativo. A la hora de analizar el consumo en todos los bloques, se proyecta que el ahorro sería de aproximadamente 33 millones de litros de agua, lo que representa un ahorro global del 2,6% a comparación del año anterior.

Tabla 2. Resultados obtenidos de sensores de tierra

Variable	B7	B9	B11	B12	B13	B14	TOTAL
Fertilizante 2024 (gramos/planta cada 2 meses)	150	150	150	35	35	35	555
Fertilizante 2024 (gramos/planta cada año)	900	900	900	210	210	210	3330
Fertilizante 2025 (gramos/planta cada 2 meses)	120	120	120	30	30	30	450
Fertilizante 2025 (gramos/planta cada año)	720	720	720	180	180	180	2700
Diferencia (cada 2 meses)	30	30	30	5	5	5	105
Diferencia (anual)	180	180	180	30	30	30	630
Diferencia (%)	20	20	20	14,29	14,29	14,29	18,92

Fuente: elaboración propia

A través del análisis de los datos de los sensores, se evidenció la necesidad de reducir en fertilizante aplicado a las plantas ya que estos superaban los umbrales ideales planteados por los ingenieros agrónomos. Esto quiere decir que, en 2024, sin el apoyo de los sensores, había una dosificación constante, por lo que, anualmente se fertilizaba cada planta con 900 gramos en bloques grandes como el 7, 9 y 11,

mientras que en bloques pequeños como el 12, 13 y 14, se aplicaban 210 gramos al año. A partir de 2025, se empezó a aplicar de manera más precisa el fertilizante en función de las necesidades reales de las plantas de cada bloque. Entre los bloques 7, 9 y 11, se disminuyó la dosis aplicada de 30 gramos al mes, lo que se traduce como una reducción de 180 gramos al año por planta. Por su parte, en

los bloques 12, 13 y 14, se disminuyó 5 gramos, dando como resultado 30 gramos menos de dosis al año. La diferencia porcentual evidencia como en los bloques grandes la cantidad de fertilizante usado se redujo en un 20%, mientras que, en los bloques restantes, se disminuyó un 14,29%, lo que sugiere que la implementación de los sensores permitió ajustar la dosificación de manera más eficiente, ajustándose a las necesidades propias de cada bloque, para evitar así la aplicación excesiva e innecesaria de fertilizante. En total, el sistema redujo 105 gramos de aplicación por planta, lo que, anualmente, se prevé que se reduzca el uso de fertilizantes en un 18,92%

Conclusiones

Este trabajo ha presentado el desarrollo y evaluación de una plataforma web integral diseñada para el monitoreo y visualización de parámetros ambientales en plantaciones de café, utilizando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). A través de la integración de módulos LoRa (e32), sensores de suelo (RS485) y aire (AM2302), junto con un gateway (HLK-RM08), se logró establecer un sistema de red robusto capaz de recolectar datos esenciales de las plantaciones de café. A través de la aplicación de la metodología SCRUM a lo largo de cuatro sprints, y la validación durante el proceso de retroalimentación por parte de los usuarios finales, se demostró la viabilidad del sistema. En cuanto al backend, se comprobó que las métricas para el procesamiento de datos alcanzaban las 500 lecturas por hora propuestas, con una latencia menor a un minuto para el dashboard. Además, la validación de datos fue realizada exitosamente a través de diferentes expresiones regulares para garantizar la integridad de la información recibida, lo cual es crucial para la toma de decisiones precisas.

Por otro lado, en cuanto a la plataforma web creada con Grafana, se comprobó su eficacia a

la hora de la visualización de datos en tiempo real, a través de gráficas históricas y comparativas, con líneas de referencia para los rangos óptimos, mejorando de gran manera la interpretación de los resultados. Una funcionalidad que resultó generar mucho valor para los usuarios finales fue el envío de alertas proactivas por correo electrónico, lo cual permitió la toma de decisiones operativas de manera más rápida y eficaz. El sistema desarrollado representa una herramienta innovadora de bajo costo que permite la mejora en la agricultura de precisión en el sector cafetalero, con un gran potencial para optimizar el uso de recursos naturales, aumentar la productividad de las plantaciones y promover así prácticas agrícolas mucho más sostenibles. En cuanto a futuras líneas de investigación, se puede plantear la incorporación de módulos de georreferenciación para los sensores, lo cual puede dar una mejor perspectiva de los datos a través de una visualización espacial. Por otro lado, se pueden integrar modelos de predicción de datos basados en aprendizaje automatizado, los cuales pueden anticipar posibles enfermedades en las plantaciones, deficiencias nutricionales o cambios climáticos. También se puede plantear un sistema de riego automatizado que tome en cuenta los datos entrantes de los sensores para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del uso de recursos naturales.

Referencias Bibliográficas

- Amrouk, E., Palmeri, F., & Magrini, E. (2025). Global coffee market and recent price developments. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://openknowledge.fao.org/items/746931ac-36b8-463f-8d7b-446585158047>
- Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P., Tao, B., Hui, D., Yang, J., & Matocha, C. (2019). Responses of soil carbon sequestration to climate - smart

- agriculture practices: A meta - analysis. *Global Change Biology*, 25(8), 2591-2606.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14658>
- Bermudez, S., Voora, V., & Larrea, C. (2022). Global Market Report: Coffee prices and sustainability (Sustainable Commodities Marketplace Series). *International Institute for Sustainable Development (IISD)*.
- Binboga, B., & Altin Gumussoy, C. (2024). Factors Affecting Agile Software Project Success. *IEEE Access*, 12, 95613-95633.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3384410>
- Chango, M., & García, J. (2021). Análisis de la competitividad de las exportaciones de café de Ecuador versus Colombia y Brasil hacia el mercado de USA. *X-Pedientes Económicos*, 65-80.
- Cheruvu, B., Latha, S. B., Nikhil, M., Mahajan, H., & Prashanth, K. (2023). Smart Farming System using NPK Sensor. 2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), 957-963.
<https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10112795>
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. (2023). Perú en el top diez de productores de café arábico a nivel mundial. gob.pe.
<https://www.gob.pe/institucion/promperu/noticias/823939-peru-en-el-top-diez-de-productores-de-cafe-arabico-a-nivel-mundial>
- Corrales, J., Barreno, C., Salvatierra, A., & Pastuña, N. (2025). Toma de decisiones de riego inteligente para cultivos de café con la utilización de sensores IoT. *RECIMUNDO*, 9, 378-394.
- Dorado, R. (2023). *Análisis de la importancia económica de la industria cafetalera en Ecuador* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo].
<https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/950>
- Espinosa, A., Ponte, D., Gibeaux, S., & González, C. (2021). Estudio de Sistemas IoT Aplicados a la Agricultura Inteligente. *Revista Plus Economía*, 9(1), 33-42.
- Esquivel, G., Quisaguano, L., Caluña, A., & Llambo, S. (2025). Frameworks del lado del Servidor: Caso de Estudio Node JS, Django y Laravel. 593 *Digital Publisher CEIT*, 10(1), 403-414.
<https://doi.org/10.33386/593dp.2025.1.2729>
- Estrada, M., Núñez, J., Pedro, S., & Wilmer, C. (2021). Revisión Sistemática de la Metodología Scrum para el Desarrollo de Software. *Dominio de las Ciencias*, 7, 434-447.
- Gottemukkala, L., Jajala, S. T. R., Thalari, A., Vootkuri, S. R., Kumar, V., & Naidu, G. M. (2023). Sustainable Crop Recommendation System Using Soil NPK Sensor. *E3S Web of Conferences*, 430, 01100.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001100>
- Hardesty, G. (2024). Alcance y Patrones de Radiación de Antenas. <https://www.data-alliance.net/es/dbi-db-dbm-dbmw-definido-y-explicado>
- Hi-Link. (2016). HLK-RM08K User Manual. Hi-Link Technology Co., Ltd.
<https://www.rajguruelectronics.com/Product/753/HLK-RM08K%20Serial%20Port%20to%20WIFI%20Module.pdf>
- Jadán, V., Belduma N., & Elizalde, M. (2024). Evolución y proyección de la producción agrícola (Banano y Café) en Ecuador en el periodo 2012-2025.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10850806>
- Jeyaraj, M., Sucharitharathna, S., Senarath, C., Kanagaraj, Y., & Udayakumara, I. (2022). Cognitive Visual-learning Environment for PostgreSQL (Versión 1). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2205.04834>
- Jijón, S. (2024). Recorrido por las zonas productoras de café en Ecuador. Perfect Daily Grind.
<https://perfectdailygrind.com/es/2024/06/28/recorrido-zonas-productoras-cafe-ecuador/>
- Kirešová, S., Guzan, M., Fecko, B., Somka, O., Rusyn, V., & Yatsiuk, R. (2023). Grafana as a Visualization Tool for Measurements. 2023 *IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System*

- (MEES), 1-5.
<https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402486>
- Mehdi, A., Bali, M. K., Abbas, S., & Singh, M. (2023). Unleashing the Potential of Grafana: A Comprehensive Study on Real-Time Monitoring and Visualization. 2023 *14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-8.
<https://doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10306699>
- Munir, M., Bajwa, I., Ashraf, A., Anwar, W., & Rashid, R. (2021). Intelligent and Smart Irrigation System Using Edge Computing and IoT. *Complexity*, 2021(1), 6691571.
<https://doi.org/10.1155/2021/6691571>
- Pande, S. M., Ramesh, P. K., Anmol, A., Aishwarya, B. R., Rohilla, K., & Shaurya, K. (2021). Crop Recommender System Using Machine Learning Approach. 2021 *5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 1066-1071.
<https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418351>
- Postolache, A. (2020). DHT22 / AM2302 temperature and humidity sensor [Corporate website]. Industrial Shields Blog.
<https://www.industrialshields.com/blog/arduino-industrial-1/dht22-am2302-temperature-and-humidity-sensor-224>
- Premkumar, S., & Sigappi, An. (2022). IoT-enabled edge computing model for smart irrigation system. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 632-650.
<https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0046>
- Rapallini, J., & Mazzeo, H. (2021). Sistemas de Redes de Sensores Inalámbricos. Revista de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
<https://adut.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/Sistemas-de-Redes-de-Sensores-Inalambricos.docx.pdf>
- Reyes, S., & Pinto, R. (2024). Sistema de Gestión de Instrumentos de Cooperación para la Coordinación de Relaciones Nacionales e Internacionales Unach usando tecnología .Net Core [Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12769>
- Romero, M., Reyes, M., Andrade, E., Reyes, N., & Terres, H. (2021). Broadband Printed Modified Dipole for Personal Communication Systems. *Wseas Transactions on Communications*, 19, 223-230.
<https://doi.org/10.37394/23204.2020.19.26>
- Sánchez, L., Cárdenas, M., Murillo, J., & Chacón, V. (2025). El Internet de las cosas en la agricultura. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 10(2).
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8914>
- Singh, J., & Kassie, N. B. (2018). User's Perspective of Software Quality. 2018 *Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 1958-1963.
<https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474755>
- Stray, V., Moe, N., & Sjoberg, D. (2020). Daily Stand-Up Meetings: Start Breaking the Rules. *IEEE Software*, 37(3), 70-77.
<https://doi.org/10.1109/MS.2018.2875988>
- Vanegas, J., Alcaraz, J., del Carmen Huacuz, E., & González, J. (2023). Contribución de la producción del café en el desarrollo socioeconómico de regiones productoras en México. *Revista De Gestión Del Conocimiento Y El Desarrollo Local*, 10(3).
<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/RGC/DL/article/view/1933>
- Vangavolu, S. (2025). The Latest Trends and Development in Node.js. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.
<https://doi.org/10.56726/IRJMET570150>
- Žáček, M., Hamplová, A., Tyrychtr, J., & Vrana, I. (2024). Improvements for the Planning Process in the Scrum Method. *Applied Sciences*, 15(1), 202.
<https://doi.org/10.3390/app15010202>
- Zakarija, I., Skočir, Z., & Žubrinić, K. (2021). Human resources management system for Higher Education institutions (No. arXiv:2107.02585). arXiv.

<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2107.02585>

Zheng, X., Shao, S., Li, L., & Wang, Y. (2022). Research and Design of Monitoring System for Greenhouse Based on Internet of Things. *2022 4th International Symposium on Smart and Healthy Cities (ISHC)*, 59-63.

<https://doi.org/10.1109/ISHC56805.2022.00021>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Ángel Ariel Cedillo Illescas, María Mercedes Encalada Arévalo y Juan Pablo Pazmiño Piedra.

