

Sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IOT en el área de la producción en las fincas cafeteras

Edilson Herney Montilla Enríquez, edilsonmontilla5@gmail.com
Andrés Mauricio Acosta Uscategui, mauriacosta2012@gmail.com

Asesor:
Milton Vladimir Cabrera Álvarez

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de sistemas
Pasto – Nariño
2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado N°1

Firma del jurado N°2

San Juan de Pasto, Mayo de 2025

NOTA DE EXCLUSIÓN

El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete la ideología de la

Universidad CESMAG

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este proyecto de grado.

En primer lugar, agradecemos a los jurados evaluadores, por tomarse el tiempo de revisar este trabajo con atención y rigurosidad. Sus observaciones, recomendaciones y sugerencias fueron esenciales para mejorar la calidad del proyecto y fortalecer nuestra formación como futuros profesionales. Su experiencia y conocimiento nos permitieron ver nuevas perspectivas y enriquecer el enfoque de nuestra propuesta.

A la Universidad CESMAG nuestro sincero reconocimiento por brindarnos una formación integral a lo largo de nuestra carrera. Gracias por ofrecernos un entorno académico que fomenta la investigación, la innovación y el pensamiento crítico. Cada asignatura, cada profesor y cada espacio de aprendizaje han sido parte fundamental de nuestro crecimiento académico y personal.

De manera muy especial, queremos agradecer a nuestro asesor, Milton Vladimir Cabrera Álvarez, por su constante guía, apoyo y compromiso durante todas las etapas del proyecto. Su disposición para acompañarnos, responder nuestras inquietudes y orientarnos con paciencia y profesionalismo fue clave para lograr nuestros objetivos. Su experiencia en el área y su calidad humana dejaron una huella significativa en nuestro proceso de formación.

Finalmente, agradecemos también a nuestras familias y a todas las personas que de una u otra forma nos apoyaron durante esta etapa. Este logro no habría sido posible sin su confianza, motivación y respaldo incondicional.

CONTENIDO

Capítulo I:

Establece el enfoque del proyecto en la integración de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) en fincas cafeteras para mejorar las prácticas de recolección de café. Se identifican los desafíos clave que enfrenta el sector cafetero, como la variabilidad climática, la escasez de mano de obra y la necesidad de optimizar la gestión de recursos, y se plantea cómo un sistema de monitoreo automatizado basado en IoT puede proporcionar datos precisos y en tiempo real para mejorar la toma de decisiones y la eficiencia en la producción de café en el municipio de Consacá.

Capítulo II:

Se presenta una revisión de estudios y proyectos relacionados con la aplicación de IoT en la agricultura, tanto a nivel internacional como nacional, destacando el potencial de estas tecnologías para mejorar la sostenibilidad y productividad de los cultivos. También, se establecen los supuestos teóricos de la investigación, que incluyen la eficacia de la tecnología IoT, la eficiencia en el uso de recursos, el impacto ambiental positivo, la mejora en la calidad del producto y los beneficios a largo plazo de los sistemas de monitoreo automatizado.

Capítulo III:

Describe el enfoque metodológico de la investigación, que se basa en un paradigma positivista y un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) para la recolección y análisis de datos. Se detalla el método científico utilizado, el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de información, y los procedimientos para garantizar la validez y confiabilidad de los datos recopilados.

Capítulo IV:

Se presentan los resultados del desarrollo e implementación del sistema de monitoreo automatizado basado en IoT. Se describe la configuración de la red de sensores IoT, el desarrollo de la plataforma web para la visualización y análisis de datos, las tecnologías utilizadas y los diagramas arquitectónicos y de entidad-relación del sistema.

Capítulo V:

Analiza los resultados obtenidos de la implementación del sistema de monitoreo y control IoT en la finca Paltapamba, evaluando su impacto en las prácticas agrícolas y su capacidad para abordar los desafíos identificados en la producción de café. Se discuten las mejoras observadas en la toma de decisiones, la eficiencia de la producción y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, así como el potencial del sistema para transformar el sector cafetero y mejorar el bienestar de las comunidades locales.

Conclusiones

La aplicación de tecnologías IoT en fincas cafeteras, como se demostró en Consacá, permite enfrentar datos claves del cultivo y la falta de datos precisos para la toma de decisiones informadas. El sistema de monitoreo automatizado desarrollado mejora la eficiencia, optimiza el uso de recursos y aporta a la sostenibilidad agrícola. Los resultados en la finca Paltapamba evidencian el potencial del IoT para modernizar el sector cafetero.

Recomendaciones

Se sugiere fortalecer el monitoreo agrícola mediante la integración de nuevos sensores y tecnologías sostenibles, lo que permitiría conocer mejor las condiciones del suelo y optimizar el manejo de los cultivos.

RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO R.A.E

Facultad	Ingeniería
Programa	Ingeniería de Sistemas
Fecha de elaboración	11 de febrero de 2024
Autores de la investigación	Edilson Herney Montilla Enríquez Andrés Mauricio Acosta Uscategui
Director de la investigación	Milton Vladimir Cabrera Álvarez
Título de la investigación	SISTEMA DE MONITOREO AUTOMATIZADO CON TECNOLOGÍAS IOT EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN LAS FINCAS CAFETERAS

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
a) Objeto o Tema de Investigación.....	3
a) Línea de Investigación.	3
b) Sublinea de investigación.....	3
c) Planteamiento del problema.	3
d) Formulación del problema.	5
e) Objetivos	5
1) General	5
2) Específicos	5
f) Justificación.....	6
g) Delimitación	8
II. MARCO TEÓRICO	12
a) Antecedentes	12
1) Internacionales	12
2) Nacionales	14
3) Regional	17
b) Supuestos teóricos de investigación	18
1) Tecnología IoT	18
2) Eficiencia de recursos.....	19
3) Impacto ambiental positivo	19
4) Calidad del producto	19

5) Impacto a largo plazo	20
6) sistemas de monitoreo automatizado.....	20
c) Variables de estudio	20
1) Variables independientes.....	21
2) Variables dependientes.....	21
3) Definición nominal de las variables	21
4) Definición Operativa De Variables	23
d) Formulación de hipótesis	24
e) Hipótesis de investigación.....	24
1) Hipótesis nula.....	25
2) Hipótesis alterna.....	25
III. METODOLOGÍA	26
a) Paradigma.....	26
1) Paradigma positivista	26
b) Enfoque	26
1) Enfoque mixto	26
c) Método	27
1) Científico	27
d) Tipo de investigación	27
1) Cuantitativo	27
2) Cualitativo	27
e) Diseño de investigación	28
1) Descriptiva	28
f) Población.....	28
g) Muestra.....	29

h) Técnicas de recolección de información	29
i) Validez de las técnicas de recolección	30
j) Confiabilidad de las técnicas de recolección.....	30
k) Instrumentos de recolección de información	30
1) Entrevistas:	30
2) Encuestas:.....	31
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	32
a) Primer objetivo.....	32
1) Protocolo	41
2) Criterios comparativos para la selección del protocolo	41
3) Justificación de la elección del protocolo HTTP	42
b) Segundo objetivo.....	43
1) Metodología aplicada	44
2) Roles en metodología.....	45
3) Requisitos	46
4) Manual de usuario del aplicativo web	49
5) Tecnologías	53
6) Diagrama arquitectónico	56
7) Diagrama entidad-relación	57
8) Base de datos	59
9) Gestión de roles	59
10) Conexión base de datos	61
c) Tercer objetivo	62
1) Evaluación de resultados	67
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa componentes placa.....	34
Tabla 2 Comparativa componentes sensores	36
Tabla 3 Comparativa componentes sensores	38
Tabla 4: Modulo Crear web	44
Tabla 5: Metodología SCRUM	52
Tabla 6: Modulo Configurar sensores	53
Tabla 7: Modulo Desarrollar y conectar algoritmos	53
Tabla 8: Tabla temperaturas y humedad	68

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: Pasto-Consacá.....	8
Fig. 2: Consacá-Finca Paltapamba	9
Fig. 3 Matriz morfológica	33
Fig. 4 Placa ESP32	36
Fig. 5: Diagrama arquitectónico.....	56
Fig. 6: Diagrama Entidad-Relación.....	58
Fig. 7: Diagrama relacional.....	60
Fig. 8: Conexión base de datos.....	61
Fig. 9: Conexión base de datos-Sensores	61
Fig. 10: Login Pagina	63
Fig. 11: Grafica temperaturas.....	64
Fig. 12: Grafica humedad.....	65
Fig. 13: Placa ESP32 con DHT11	66
Fig. 14: Evidencia fotográfica.....	67
Fig. 15: Alertas	69
Fig. 16: Diagrama esquemático.....	69

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas más demandados a nivel mundial. De acuerdo con la Organización Internacional del Café, en 2019 se consumieron aproximadamente 168 millones de sacos de 60 kilogramos en todo el mundo, lo que evidencia su enorme relevancia económica [1]. No obstante, la producción de café aún depende en gran medida de métodos tradicionales, que suelen ser ineficientes y basados en prácticas empíricas. En este contexto, la incorporación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se presenta como una estrategia clave para optimizar la producción y promover la sostenibilidad del cultivo

El IOT puede proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre diversas variables que afectan el cultivo del café, tales como la humedad del suelo, la temperatura y la exposición solar. Estos datos facilitan la toma de decisiones fundamentadas por parte de los caficultores, lo que puede marcar una diferencia significativa en la calidad y cantidad de la cosecha. Por ejemplo, ajustar el sistema de riego en función de los niveles de humedad detectados contribuye a un uso más eficiente del agua, evitando su desperdicio y asegurando un suministro óptimo para la planta

De igual forma, la implementación de sistemas automatizados de monitoreo permite la detección temprana de enfermedades o plagas, lo que reduce la dependencia de agroquímicos y minimiza el impacto ambiental de la actividad cafetera [4]. Esto no solo mejora la calidad del grano, sino que también contribuye a prácticas agrícolas más responsables con el entorno.[49]

Por lo tanto, la adopción de tecnologías basadas en IoT pueden generar un impacto económico positivo en las comunidades locales. Al mejorar la eficiencia y la calidad de la producción, los caficultores pueden obtener mejores precios por sus productos en el mercado internacional, lo que a su vez puede incrementar sus ingresos y mejorar la calidad de vida en las comunidades rurales.

[60]

Este proyecto se enfoca en la mejora de la producción del café, el cuidado de la cosecha y el control del caficultor sobre la cosecha a través de un sistema de monitoreo automatizado. La

relevancia de este proyecto radica en la capacidad del Internet de las Cosas (IOT) para transformar significativamente la forma en que se cultiva y se gestiona el café, fortaleciendo así la posición de los caficultores en el mercado global.[38][39]

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

a) Objeto o Tema de Investigación.

Este proyecto de investigación examinará cómo las tecnologías de Internet de las Cosas (IOT) pueden ser integradas en las fincas cafeteras para transformar y mejorar las prácticas de recolección de café. El estudio se centrará en el análisis del uso de sensores (peso (Hx711) [46] temperatura y humedad (DHT11) [45]), sistemas de monitoreo automatizado y la recopilación de datos en tiempo real para optimizar la producción, aumentar la eficiencia y mejorar la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.[42]

a) Línea de Investigación.

Este estudio está enmarcado dentro de la investigación en ingeniería de software y se centra en superar los desafíos relacionados con la integración de dispositivos inteligentes y la implementación de soluciones de software en el sector cafetero. Este enfoque busca mejorar significativamente la eficiencia y la productividad a través de la tecnología avanzada, adaptando y optimizando las prácticas agrícolas mediante la utilización de herramientas digitales modernas.

b) Sublínea de investigación

El desarrollo de Software busca contribuir al desarrollo regional y nacional aplicando nuevos conocimientos, métodos, técnicas y herramientas computacionales en el desarrollo de software; para lograrlo, se apoya en metodologías ágiles, las cuales proporcionan un marco de trabajo flexible y adaptable para estructurar, planificar y controlar el proceso de desarrollo de un sistema de información

c) Planteamiento del problema.

El sector cafetero enfrenta múltiples desafíos estructurales y operativos que afectan tanto la productividad como la sostenibilidad de las fincas. Entre los principales desafíos se destacan la precisión en la recolección de los datos, el escaso control sobre las variables ambientales, el uso ineficiente de recursos y la necesidad de optimizar las operaciones agrícolas. Estas dificultades no solo afectan la rentabilidad del cultivo, sino que también ponen en riesgo la estabilidad económica de los caficultores, especialmente aquellos de pequeña y mediana escala de producción.

Uno de los problemas más críticos es la variabilidad climática. Condiciones como lluvias excesivas, sequías y heladas pueden dañar significativamente las plantas y las cerezas de café, afectando tanto la calidad como la cantidad de la cosecha.[61] Estos eventos climáticos impredecibles representan una amenaza constante para los caficultores, quienes deben adaptar sus prácticas agrícolas para mitigar sus efectos adversos.

Además, la escasez de mano de obra calificada constituye un obstáculo significativo. La recolección de café requiere trabajadores con conocimientos técnicos y experiencia, y durante la temporada de cosecha, la disponibilidad de estos trabajadores es limitada. Esta escasez incrementa los costos laborales, lo que reduce las ganancias de los productores [62] La alta dependencia de la mano de obra manual y los elevados costos operativos dificultan la competitividad de los pequeños y medianos caficultores en el mercado global.

Para abordar estos desafíos, es fundamental implementar tecnologías de monitoreo y análisis de datos, así como promover prácticas agrícolas sostenibles y eficientes. La adopción de soluciones tecnológicas innovadoras, como el Internet de las Cosas (IOT), se vuelve esencial. Este proyecto propone el desarrollo de un sistema integral de monitoreo automatizado basado en IOT, que proporcione a los caficultores herramientas avanzadas para el cuidado de la tierra y las plantas de café, permitiendo una gestión más precisa y eficiente de los recursos naturales.[63]

El sistema IOT incluirá la automatización de tareas críticas como el riego y el control de la temperatura, reduciendo la dependencia de la mano de obra manual y minimizando los errores humanos. La automatización del riego permitirá obtener datos en tiempo real sobre la humedad del

suelo, garantizando un uso óptimo del agua y mejorando la salud de las plantas. Asimismo, el control automatizado de la temperatura ayudará a mitigar los efectos de las heladas y las olas de calor, protegiendo los cultivos de daños climáticos extremos.[64]

Igualmente, el proyecto desarrollará una plataforma web intuitiva y robusta para la gestión de datos de producción. Esta plataforma recopilará y analizará datos de sensores de pesaje instalados en las básculas, proporcionando a los caficultores información detallada y precisa sobre las condiciones del cultivo y el rendimiento de la cosecha. Con esta información, los caficultores podrán tomar decisiones informadas y oportunas, mejorando la eficiencia y la rentabilidad de la producción de café.[65]

d) Formulación del problema.

¿Cómo puede un sistema de monitoreo automatizado basado en tecnologías IOT mejorar la toma de decisiones y la productividad en las fincas cafeteras de Consacá al proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones medioambientales?

e) Objetivos

1) General

Apoyar la gestión productiva de las fincas cafeteras de Consacá mediante un sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IoT que proporcione datos precisos y en tiempo real.

2) Específicos

Los objetivos específicos son metas más detalladas que contribuirán al logro del objetivo general.

- Configurar una red de sensores IOT en las fincas cafeteras para el monitoreo en tiempo real de variables claves.
- Desarrollar una plataforma de análisis de datos que procese y visualice la información recopilada por los sensores, proporcionando a los agricultores información precisa para la toma de decisiones.
- Integrar el sistema de monitoreo automatizado con herramientas de decisiones agronómicas para la optimización de la producción y la calidad del café.

f) Justificación

El sector agrícola enfrenta retos crecientes relacionados con el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la necesidad urgente de garantizar la seguridad alimentaria para una población mundial en aumento. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha enfatizado la importancia de incorporar tecnologías emergentes para afrontar estos desafíos [65]. Entre ellas, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se ha posicionado como una solución clave para impulsar una agricultura más eficiente, inteligente y sostenible. A través del monitoreo continuo de variables críticas como la humedad del suelo, la temperatura ambiente, la calidad del aire y el estado de los cultivos, los sistemas basados en IoT permiten una gestión más precisa y automatizada, minimizando el uso excesivo de insumos, optimizando los recursos naturales y anticipando posibles eventos adversos [66]. Esta transformación digital es hoy una prioridad en las agendas globales del desarrollo rural sostenible [67].

Colombia, como uno de los principales países exportadores de café a nivel mundial, no es ajena a estos retos. El café representa un renglón fundamental para la economía nacional y es fuente de ingresos para más de 500.000 familias campesinas [68]. No obstante, el sector enfrenta importantes desafíos estructurales: baja tecnificación, escasa renovación de cultivos, problemas de productividad, dependencia de la mano de obra estacional y una fuerte exposición a los efectos del cambio climático [69]. En muchas zonas cafeteras del país, los pequeños y medianos productores carecen de herramientas tecnológicas para monitorear y controlar adecuadamente sus cultivos, lo

cual incide negativamente en la toma de decisiones, la rentabilidad de las fincas y la sostenibilidad del recurso suelo y agua [70]. Según la Federación Nacional de Cafeteros (2023) [71], se requiere avanzar en soluciones que integren nuevas tecnologías con conocimiento técnico y prácticas sostenibles, como parte de una estrategia nacional de modernización rural.

El municipio de Consacá, ubicado en el departamento de Nariño, ilustra con claridad estas problemáticas. La caficultura es la principal actividad económica de la región, desarrollada por pequeños productores que, en su mayoría, emplean métodos tradicionales, con bajo acceso a innovación tecnológica [72]. Factores como la variabilidad climática, la topografía compleja y la escasez de mano de obra durante la temporada de cosecha agravan las condiciones de producción, afectando la calidad del grano y limitando la competitividad frente a mercados internacionales cada vez más exigentes [73]. Por otra parte, la falta de información en tiempo real sobre variables ambientales y productivas impide tomar decisiones informadas que garanticen un uso eficiente de los recursos naturales y la sostenibilidad de las fincas a largo plazo [74].

Frente a esta realidad, este proyecto propone el desarrollo de un sistema integral de monitoreo y control basado en tecnologías IoT, que se implementará en una finca cafetera del municipio de Consacá [75]. La solución tecnológica estará compuesta por sensores de humedad, temperatura y peso, que permitirán recopilar datos en tiempo real y automatizar tareas clave como el riego, el control térmico y la gestión del rendimiento [76]. A su vez, se diseñará una plataforma web robusta e intuitiva, donde los caficultores podrán visualizar y analizar la información recolectada, facilitando la toma de decisiones oportunas y fundamentadas [77].

Este sistema busca contribuir al desarrollo local mediante la transferencia tecnológica, el fortalecimiento de capacidades en los productores, y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles [78]. Los beneficiarios directos serán los caficultores de la finca piloto, quienes optimizarán sus recursos, reducirán costos operativos y aumentarán la productividad del cultivo [79]. Indirectamente, la comunidad local también se beneficiará a través de un incremento en la calidad del producto, la dinamización de la economía regional y la conservación del medio ambiente [80]. Asimismo, el proyecto tiene un valor académico importante, al integrar

conocimientos de electrónica, tecnologías de la información y agroindustria, y al representar una solución replicable en otras regiones cafeteras del país [81].

g) *Delimitación*

La población de Consacá, está situada a 50 Kilómetros de la capital del departamento (Pasto). Su altitud varía entre 1.200 metros sobre el nivel del mar (río Guáitara) y 4.260 metros sobre el nivel del mar (volcán Galeras). La temperatura promedio es de 20 °C".[40] y cuyas condiciones climáticas necesarias para la producción de café debe ser de 20-23°, ya que influyen significativamente en la eficacia y adaptabilidad de la producción del café.[20]

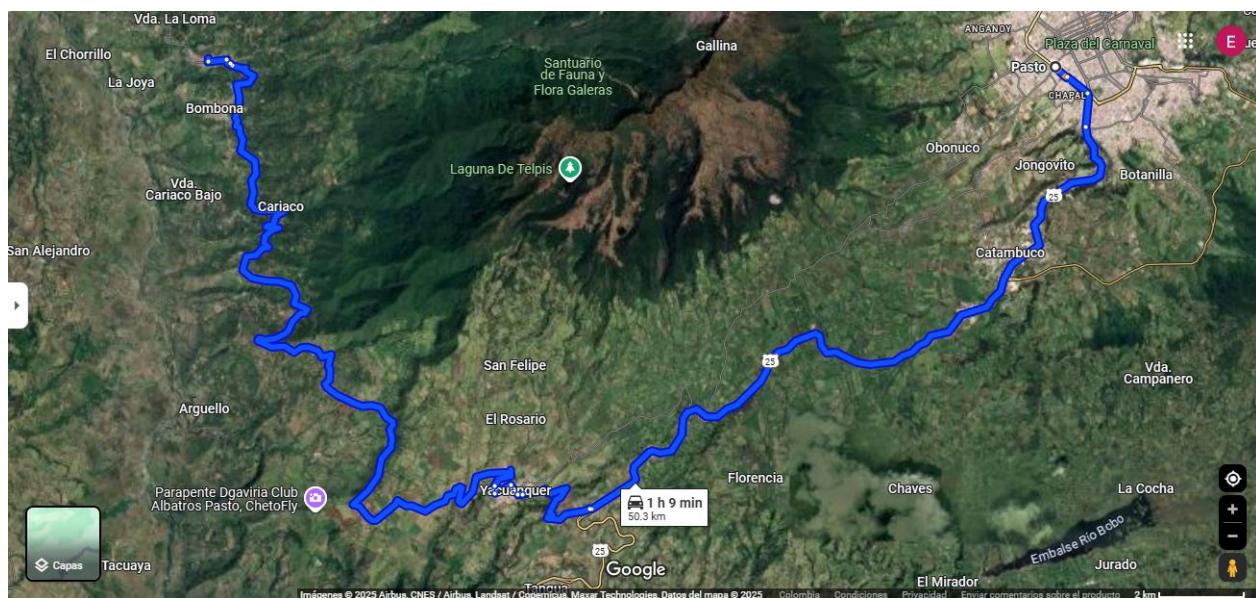


Fig. 1: Pasto-Consacá

Nota: fuente <https://www.google.com/maps>

Ámbito Geográfico:

Esta investigación se llevará a cabo en una finca cafetera Paltapamba, que se encuentra ubicada a unos 15 minutos del municipio de Consacá. La finca se escogió principalmente por la facilidad que tenían para adoptar el proyecto y prestar las instalaciones y lo interesante que les pareció el proyecto.

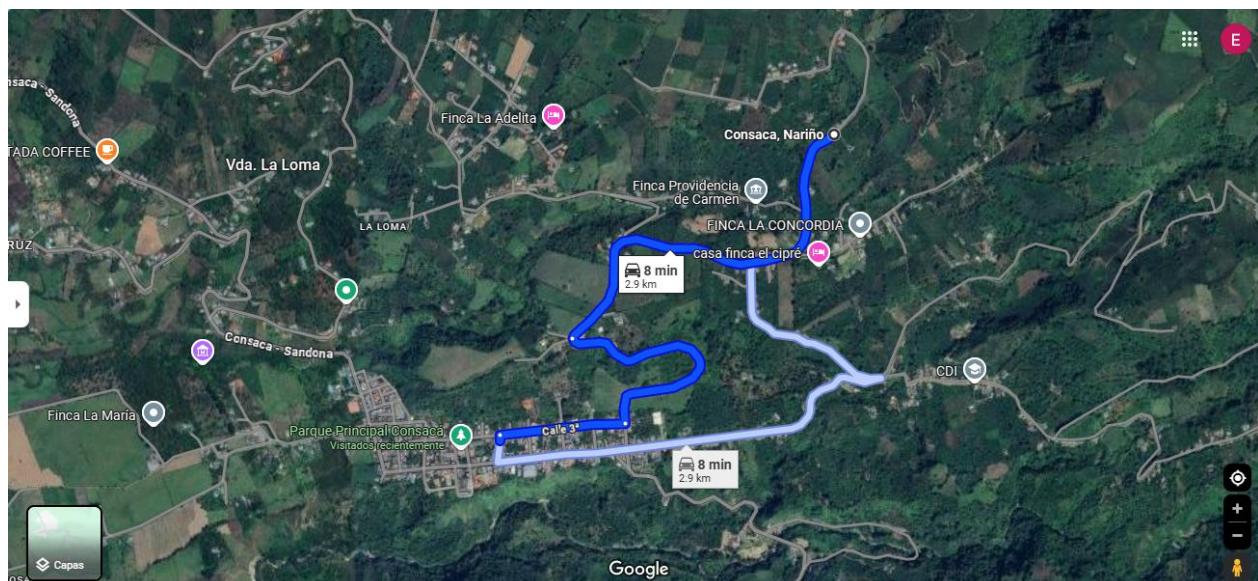


Fig. 2: Consacá-Finca Paltapamba

Nota: fuente <https://www.google.com/maps>

Ámbito Temporal:

El período de investigación abarca un año y medio, desde febrero de 2024 hasta junio de 2025.

Población o Muestra:

La población objetivo de esta investigación está conformada por los caficultores, operarios y responsables técnicos vinculados directamente a la finca Paltapamba, localizada en el municipio de Consacá, departamento de Nariño.

Paltapamba es una finca de tipo familiar, administrada por pequeños productores que aplican prácticas agrícolas tradicionales y dependen en gran medida de la mano de obra local durante las temporadas de cosecha. La finca cuenta con infraestructura básica para el procesamiento del grano, incluyendo áreas de recolección, secado y almacenamiento. Sin embargo, presenta limitaciones en cuanto al acceso a tecnologías digitales, sistemas automatizados de monitoreo o herramientas modernas de gestión agrícola, lo que la convirtió en un escenario propicio para la introducción e integración de tecnologías basadas en IoT.

La selección de esta finca como unidad de análisis responde a criterios de representatividad y factibilidad. Su estructura organizativa, tamaño, ubicación geográfica y condiciones agroclimáticas reflejan las características comunes de muchas fincas cafeteras del suroccidente colombiano, particularmente en zonas montañosas de Nariño.

Tecnologías y Metodologías:

La investigación utilizará herramientas de encuesta en línea para recopilar datos, incluyendo cuestionarios. Se aplicarán análisis para evaluar la calidad del café.

Contexto Institucional:

El proyecto está siendo realizado en la Universidad CESMAG por los estudiantes de 8vo semestre y con la colaboración del asesor.

Alcance Temático:

El enfoque de la investigación se centrará en cómo un software de monitoreo automatizado puede influir positivamente en la producción del café, adicionalmente el proyecto abarca varios puntos a favor como es la automatización, gestión de datos, aspectos laborales, y el impacto en la producción ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

a) Antecedentes

1) Internacionales

Los autores, Ordoñez Olmedo, Alfredo Steven, Murillo Poveda, Christopher Taylor en su artículo **“Desarrollo de un prototipo en IOT para la sistematización de los parámetros que controlan la producción de café versión 1.0. Proyecto FCI 009-2021 de la Universidad de Guayaquil”** El café es un producto tradicional y estratégico en Ecuador, generando empleo y divisas. Su producción es crucial para programas de apoyo y la economía nacional. El problema se centra en controlar los parámetros del cultivo del café en el sector 24 de mayo estero seco de la provincia de Manabí en Guayaquil en el año 2022. El proyecto abarca los hallazgos y resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema, destacando los logros alcanzados y los aspectos que se consideran exitosos. Se incluyen recomendaciones para mejorar el sistema en futuras iteraciones y se proponen pautas para trabajos futuros que puedan ampliar o perfeccionar el sistema desarrollado.[1]

Los autores, Iván Santana Ching, Arturo Javier Cárdenas Rivero, Richar Sosa López, Jorge Armando Portal Diaz en su artículo **“Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IOT”** El proyecto busca implementar una aplicación de Internet de las cosas (IOT) para monitorear variables ambientales en casas de cultivo, como la humedad del suelo, del aire, temperatura y luz solar. El objetivo es garantizar la visualización local o remota de la información, establecer alarmas en caso de condiciones críticas, y administrar usuarios para una supervisión efectiva de las condiciones de cultivo. Además, se pretende asegurar la precisión y el almacenamiento de los datos ambientales para mejorar la calidad y productividad de la producción agrícola. Se desarrolló una aplicación IOT para monitorear parámetros básicos en casas de cultivo,

como humedad, temperatura, luz solar y humedad del suelo, permitiendo una toma de decisiones efectiva. Los valores de telemetría de los sensores se almacenaron en una base de datos para evaluar el desempeño. La implementación en una Raspberry Pi brindó flexibilidad al sistema diseñado, asegurando la supervisión de variables de interés y mejorando la calidad de la producción agrícola.[2]

Los autores, Belupú Amaya y César Ivá en su artículo **“Propuesta de una plataforma de agricultura inteligente basada en IOT para el monitoreo de las condiciones climáticas del cultivo de banano”** El documento se centra en la aplicación de Internet de las Cosas (IOT) en la agricultura con el objetivo de mejorar la sostenibilidad y productividad en este sector. Propone indicadores relevantes para la producción de plátanos y discute la importancia de la computación en la nube y las redes de sensores inalámbricos en el ámbito agrícola. También, se destaca el uso del aprendizaje automático para predecir la incidencia de trips en los cultivos de plátano, mostrando un enfoque innovador para optimizar la producción agrícola.[3]

Este artículo **“Prototipo basado en internet de las cosas (IOT) para el monitoreo de invernaderos”** El documento aborda los factores clave para el cultivo de tomate en invernadero, destacando la importancia de considerar el tipo de suelo, riego, clima, topografía y calidad del producto. Se enfatiza el uso de sensores IOT para la recolección de datos en proyectos agrícolas, centrándose especialmente en sensores de aire, suelo, agua, humedad y temperatura. Incluso, se describen las fases involucradas en la implementación de prototipos basados en IoT para el monitoreo de invernaderos, incluyendo la iniciación, desarrollo y cierre para cumplir con las expectativas de los usuarios. También se exploran los beneficios de las aplicaciones de IoT en la agricultura, como proporcionar monitoreo, recomendaciones y asistencia para mejorar las prácticas agrícolas.[4]

Los autores Sergio Martin, Vázquez García en su artículo **“Automatización, control y monitoreo de un invernadero para cultivo hortícola en el marco de la agricultura urbana y periurbana en el Municipio de Viacha”** El documento aborda la automatización y monitoreo de un invernadero para el cultivo de vegetales, destacando desafíos como la irrigación manual y la

falta de conocimiento sobre los efectos del invernadero solar. Se detallan tecnologías de sensores y configuraciones del sistema en varias tablas, junto con fragmentos de código para la configuración de LCD y la configuración analógico-digital. Se habilitan protocolos de comunicación como RS232 e I2C, y se ilustra un diagrama de flujo para la lectura del sensor DHT11, con un enfoque en mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos a través de avances tecnológicos en la agricultura de invernadero.[5]

2) *Nacionales*

Los autores Moquillaza Vizarreta, Iván David en su artículo **“E-commerce de café natural basado en un sistema de recomendación”** centrado en un e-commerce para café natural peruano que utiliza un sistema de recomendación para personalizar la experiencia del usuario. El objetivo es mejorar la preparación de café en casa a través de una aplicación móvil que ofrece un manual interactivo y facilita el acceso a diversas variedades de café. Se busca promover el consumo de café local, apoyar a los productores nacionales y utilizar tecnología para optimizar la experiencia de compra y aprendizaje del consumidor.[48]

El autor Luzmila Rojas Estrada en su artículo **“Sistema de sensores de IOT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana de Bogotá”** Este proyecto de investigación se enfoca en el establecimiento de un cultivo de fresas mediante el uso de tecnología IOT (Internet de las cosas) para controlar variables físicas y reducir la incertidumbre sobre la calidad de la producción. La investigación se realizó en la finca San José, ubicada en la zona rural de Mancilla, Facatativá Cundinamarca, Colombia. Se recolectaron datos de temperatura, humedad, conductividad y pH del suelo para analizar su impacto en la calidad de la fruta. Se utilizó una red de sensores inalámbricos (WSN) para recopilar y analizar datos, permitiendo la caracterización de las plántulas, la identificación de enfermedades y la observación detallada del cultivo. El diseño de la red de sensores se basó en la arquitectura de IOT. El estudio también evaluó la aplicabilidad de las TIC en la agricultura, resaltando su importancia para el desarrollo y la tecnificación de los agricultores frente a los cambios climáticos y la resiliencia ante variaciones climatológicas significativas. El documento aborda el desarrollo de un sistema de sensores de IOT para controlar

variables en el cultivo de fresa, desde la descripción del problema hasta la metodología, el diseño tecnológico, el desarrollo del sistema y las conclusiones. Se discuten aspectos como las variables ambientales, la tecnología IOT y la aplicación de redes de sensores en la agricultura. El sistema se implementó utilizando un prototipo de pruebas que consiste en cuatro nodos con sensores inalámbricos conectados a una estación base con un sistema embebido de control Intel Galileo. Los datos recolectados se almacenan en tablas de Excel y se analizan para tomar decisiones en tiempo real en el cultivo de fresa.[6]

Los autores Urrea Garzón, Wilson Duván Fagua Cortes, Juan David en su artículo **“Prototipo de aplicación web progresiva que almacena, interpreta y monitorea datos recolectados por sensores de PH, temperatura y humedad para análisis de un cultivo de fresa en la finca Tres esquinas, vereda Perico, Sibaté Cundinamarca.”** El principal desafío en la producción de cultivos artesanales es el control ineficiente de variables críticas ambientales y el uso ineficaz de nutrientes del suelo. En el municipio de Sibaté, la agricultura de fresa se realiza de manera convencional y rudimentaria, lo que dificulta la eficiencia y requiere una atención constante por parte de los agricultores. La falta de tecnología adecuada para el manejo de cultivos limita la planificación y el rendimiento, lo que motiva la creación de un prototipo de software para mejorar las prácticas agrícolas en la zona. los resultados obtenidos de la aplicación de instrumentos, la simulación de datos y el análisis de información cumplen con la formulación del problema al identificar las prácticas convencionales en la agricultura de fresa en el municipio de Sibaté y proponer mejoras a través de la implementación de tecnología para el monitoreo de variables críticas medioambientales y la optimización de las prácticas agrícolas en la zona.[7]

Los autores, Rivera Rosero, Jaime en su artículo **“Diseño e implementación de un sistema tecnológico para el monitoreo remoto de variables ambientales aplicados a cultivos de cafés especiales de la región del Cauca”** Los cultivos de café en Colombia enfrentan desafíos debido a las cambiantes condiciones climáticas, incluida la deficiencia de agua que afecta los cultivos. El fenómeno de "La Niña" trae consigo un aumento de las lluvias y temperaturas más bajas en varias regiones. Implementar tecnologías IOT puede ayudar a monitorear variables cruciales como la humedad del suelo, la intensidad UV, la cantidad de lluvia, la temperatura y la humedad.

Monitorear estas variables puede ayudar a proteger los cultivos de café de problemas como deficiencias nutricionales y temperaturas excesivas. Comprender y adaptarse a los cambios climáticos es crucial para la sostenibilidad del cultivo de café en Colombia. Se realizaron mediciones y registros de datos durante 192 horas, mostrando un comportamiento climático variado durante la temporada de lluvias. Se observó un aumento significativo en la cantidad de lluvia y una disminución en la radiación solar. Los datos se enviaron a través de tecnología Wifi a una plataforma online para su visualización en tiempo real, permitiendo un seguimiento detallado de las variables ambientales.[8]

Los autores, Méndez López, Angie Lisseth en su artículo **“Prototipo de sistema de monitoreo y control agrícola basado en IOT. Caso de estudio: cultivos semi hidropónicos de fresa en el municipio de guasca Cundinamarca”** Los procesos de producción agrícola han evolucionado a lo largo de la historia con la introducción de herramientas y procesos para mejorar el desarrollo de las labores. La acidez en los suelos es un problema actual para la agricultura, causado por la extracción de nutrientes, efectos residuales ácidos de fertilizantes, deforestación y erosión. Se plantea la necesidad de implementar un sistema de monitoreo y control agrícola para abordar estas complicaciones y mejorar la productividad de los cultivos. En los resultados se evidencia que el prototipo de monitoreo y control agrícola desarrollado cumple con los objetivos planteados en el problema. Se realizan pruebas exitosas en un ambiente simulado, se actualizan rangos de pH y conductividad eléctrica, se consulta y visualizar registros de riego y estado de nodos, y se implementa un subsistema de visualización de datos. A pesar de algunas fallas de hardware, el prototipo logra cumplir con los requerimientos propuestos en la problemática planteada.[9]

El autor Heimar Hernán Coronado Hernández en su artículo **“Sistema de información para el control de procesos en la producción, postcosecha y análisis sensorial de café especial”** El desarrollo de un sistema de información para ayudar a los caficultores a gestionar la producción de café desde la siembra hasta el análisis sensorial. Este sistema web incluye módulos para producción, postcosecha y análisis sensorial, y se diseñó utilizando MySQL, PHP, JQuery y JavaScript. Busca mejorar la calidad y comercialización del café permitiendo un registro y control organizado de datos, accesible desde dispositivos móviles y tablets.[10]

3) *Regional*

Los autores Angulo Rodríguez, Yerson Duván. en su artículo **“Desarrollo de la iniciativa CatiNar en zonas rurales de Nariño con automatización en sistema de riego, secador de café y vivero”** Se centra en la iniciativa CatiNar en Nariño, desarrollando tres proyectos: un secador de café, un sistema de riego y un vivero, utilizando tecnologías como Inventor y Arduino para diseño y automatización. Los proyectos lograron impactos positivos en las comunidades locales, mejorando la resolución de problemas y fomentando la participación comunitaria en el desarrollo tecnológico. Las palabras clave incluyen automatización, secadora de café, vivero, y sistema de riego.[11]

Los autores Peña Peña, Manuel Fernando. en su artículo **“Plan de implementación de un sistema de trazabilidad en la cadena de valor de los cafés sostenibles en Colombia mediante el uso de Blockchain”** El objetivo es facilitar un sistema eficiente y en tiempo real que involucre a todos los actores de la cadena de valor, desde los caficultores hasta los consumidores, promoviendo la transparencia y la confianza. El trabajo aborda varios aspectos técnicos y teóricos sobre blockchain y su aplicación en la industria del café, analizando normas y certificaciones existentes. Propone una metodología que incluye la revisión de normativas, encuestas a actores relevantes y el diseño de un plan de implementación detallado. Finalmente, recomienda acciones para garantizar el éxito de la implementación y sugiere la necesidad de más investigaciones para optimizar el uso de tecnologías emergentes en el sector cafetero.[51]

Los autores Paz Josa, Julio Guillermo en su artículo **“Plan de direccionamiento estratégico para la empresa comercializadora “Mindala S.A.S.” de la ciudad San Juan de Pasto del Departamento de Nariño para el periodo 2024- 2028”** El trabajo establece objetivos claros para actualizar la misión, visión, y valores de la empresa, y formula estrategias adaptadas a las necesidades y oportunidades identificadas. Se propone un plan de acción detallado para la implementación de estas estrategias, incluyendo un sistema de seguimiento y evaluación con

indicadores clave de rendimiento. Este plan busca posicionar a Mindala S.A.S. como líder en el mercado de cafés especiales, enfocándose en el crecimiento sostenible y la mejora continua.[52]

b) Supuestos teóricos de investigación

Los supuestos teóricos son afirmaciones fundamentales que orientan el diseño, desarrollo e implementación del proyecto de monitoreo automatizado con tecnologías IoT en fincas cafeteras. Estas premisas proporcionan una base lógica que sustenta los objetivos de la investigación, permite definir las estrategias metodológicas y anticipar el impacto esperado del sistema en los contextos productivo, ambiental y económico. A través de estos supuestos, se delimitan los alcances del proyecto, se prevén posibles resultados y se establecen criterios para su evaluación.

En este contexto, los supuestos permiten estructurar las expectativas respecto al comportamiento de las variables involucradas, tales como las condiciones medioambientales, el estado del cultivo y el uso de recursos. Orientan la viabilidad de la aplicación tecnológica, considerando factores como la conectividad, la infraestructura existente y la adaptabilidad del sistema a las características específicas de las fincas. Así mismo, permiten proyectar los beneficios esperados, como la mejora en la toma de decisiones, el aumento de la eficiencia productiva, la reducción del impacto ambiental y el fortalecimiento de la sostenibilidad económica.

1) Tecnología IoT

Se asume que las tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) representan una herramienta eficaz para la transformación digital del sector agrícola, específicamente en el cultivo del café. Estas tecnologías permiten integrar sensores, dispositivos inteligentes y plataformas de análisis de datos para monitorear y controlar variables críticas del entorno agrícola en tiempo real. Se parte del supuesto de que los dispositivos seleccionados serán robustos, energéticamente eficientes y adecuados para operar en ambientes rurales con condiciones variables. Así mismo, se considera que la infraestructura tecnológica existente o implementada será suficiente para garantizar la conectividad y la transmisión confiable de datos [23]

2) *Eficiencia de recursos*

El proyecto parte del supuesto de que la incorporación de sistemas de monitoreo automatizado permitirá una gestión más precisa y racional de los recursos productivos. Esto incluye el uso eficiente del agua, fertilizantes, pesticidas y mano de obra. Se espera que la disponibilidad de datos precisos y actualizados contribuya a tomar decisiones basadas en evidencia, evitando el uso excesivo de insumos y reduciendo pérdidas por manejo inadecuado. Esta eficiencia operativa se traduce en una disminución de los costos de producción y en un aumento de la rentabilidad económica de las fincas cafetaleras.[24]

3) *Impacto ambiental positivo*

Otro de los supuestos fundamentales es que la implementación de tecnologías IoT tendrá un impacto positivo sobre el medio ambiente. Al optimizar el uso de recursos naturales y disminuir la dependencia de prácticas tradicionales intensivas, se prevé una reducción en la contaminación de suelos y fuentes hídricas, así como una menor alteración de los ecosistemas circundantes. Se considera que el monitoreo continuo permitirá detectar tempranamente riesgos ambientales y mitigar su impacto, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el entorno natural [25]

4) *Calidad del producto*

Se plantea que el seguimiento detallado de variables como la humedad, la temperatura, la luminosidad y el estado del cultivo impactará directamente en la calidad del café producido. A través del control preciso de estas condiciones durante las etapas de crecimiento, cosecha y postcosecha, se logrará preservar las características organolépticas del grano, lo que aumentará su valor en mercados nacionales e internacionales. En este sentido, se parte del supuesto de que una mejor calidad del producto permitirá a los caficultores acceder a segmentos de mercado más exigentes y rentables.

5) *Impacto a largo plazo*

En el contexto específico de la finca Paltabamba ubicada en una zona cafetera representativa de Consacá en Nariño, sur de Colombia, se supone que la producción semestral permite una planificación agrícola más eficiente y sostenible. Al tener dos ciclos productivos anuales, se facilita la implementación de estrategias de monitoreo y manejo diferenciado por temporada. Esto contribuye a una mejor administración del calendario agrícola, una reducción en la sobreexplotación de recursos y una mayor capacidad de respuesta ante variaciones climáticas o fitosanitarias. Se asume que la finca cuenta con el compromiso organizacional necesario para adoptar tecnologías emergentes y evaluar sus resultados a mediano y largo plazo.[41][26]

6) *sistemas de monitoreo automatizado*

Finalmente, se considera que los sistemas de monitoreo automatizado son una solución viable y efectiva para enfrentar los desafíos actuales del sector caficultor. Estos sistemas permiten recopilar, procesar y visualizar datos en tiempo real, lo cual facilita una toma de decisiones oportuna y basada en información objetiva. Se asume que su implementación será acompañada de procesos de capacitación a los agricultores, con el fin de garantizar su apropiación y uso correcto. Se espera que estos sistemas sean escalables y adaptables a diferentes contextos y tamaños de finca, lo que los convierte en una herramienta estratégica para la modernización del agro colombiano.

c) *Variables de estudio*

En el presente proyecto de investigación, orientado al diseño e implementación de un sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IoT en fincas cafeteras, se han identificado y categorizado las variables clave que permiten analizar el fenómeno estudiado. Estas variables se dividen en independientes y dependientes, cada una de ellas definida desde el punto de vista nominal y operativo, para facilitar su comprensión, medición y análisis así:

1) Variables independientes

Las variables independientes representan los factores que inciden o tienen el potencial de influir en los resultados esperados del proyecto. En este caso, se consideran las siguientes:

- 1) Tecnologías de sistematización.**
- 2) Prácticas agrícolas tradicionales**
- 3) Conocimiento de los agricultores**
- 4) Infraestructura local**
- 5) variables climáticas**
- 6) Ambiente de almacenamiento**
- 7) Control de temperatura y humedad en el secado.**

2) Variables dependientes

Las variables dependientes representan los efectos o resultados que se espera observar a partir de la interacción entre las variables independientes. En el contexto del proyecto, se han definido las siguientes:

- 1) Rendimiento de la producción del café**
- 2) Innovación tecnológica**
- 3) Rentabilidad económica**

3) Definición nominal de las variables

Tecnologías de sistematización

Hace referencia al uso de herramientas y métodos modernos para automatizar y optimizar los diferentes procesos implicados en el cultivo, la cosecha, el procesamiento y la distribución del

café. Estas tecnologías son fundamentales para mejorar la eficiencia, aumentar el rendimiento y asegurar la calidad del café producido. [11]

Prácticas agrícolas tradicionales

Son métodos transmitidos y perfeccionados a lo largo de generaciones por los caficultores. Estas prácticas reflejan un profundo conocimiento del entorno local y una relación equilibrada con el ecosistema, destacándose por su sostenibilidad y arraigo cultural en las comunidades cafeteras [12]

Conocimiento de los agricultores

Se entiende como el saber acumulado que los caficultores poseen sobre el cultivo del café, incluyendo aspectos agronómicos, ecológicos y sociales. Este conocimiento es producto de la experiencia, la tradición y la adaptación al entorno, y constituye un componente esencial para la toma de decisiones en el proceso productivo [13]

Infraestructura local

Comprende el conjunto de recursos físicos y tecnológicos disponibles en las fincas cafeteras, tales como instalaciones de procesamiento, acceso a energía eléctrica, conectividad a internet y vías de comunicación. Esta infraestructura es clave para el funcionamiento eficiente y sostenible de los procesos de producción y comercialización

Variables climáticas

Son los factores ambientales, como la temperatura, la humedad, la precipitación y la radiación solar, que influyen directamente en el desarrollo y calidad del café. Estas condiciones son determinantes para el crecimiento, la floración, la maduración y el secado del grano.

Ambiente de almacenamiento

Hace referencia a las condiciones físicas bajo las cuales se conserva el café luego del procesamiento, principalmente relacionadas con la temperatura, la humedad, la ventilación y la limpieza del espacio. Un ambiente adecuado garantiza la preservación de las propiedades del grano y previene su deterioro [15]

Control de temperatura y humedad en el secado

Consiste en la regulación precisa de las condiciones climáticas durante la fase de secado del café, con el fin de asegurar que los granos mantengan su calidad, sabor y valor comercial. Este control es esencial para evitar defectos que puedan surgir por un secado inadecuado [16]

4) Definición Operativa De Variables

Rendimiento de la producción del café

El rendimiento de la producción de café se define como la cantidad de grano recolectado por unidad de superficie cultivada, comúnmente expresada en kilogramos por hectárea. Este indicador es fundamental para evaluar la eficiencia técnica y productiva de una finca cafetera. Está influenciado por factores como la variedad de café, las prácticas agrícolas utilizadas, el manejo fitosanitario, las condiciones edafoclimáticas y el uso de tecnologías. En el contexto del presente proyecto, el rendimiento es una variable crítica para analizar el impacto de la automatización y monitoreo con tecnologías IoT en la mejora de la productividad y sostenibilidad del cultivo [17]

Innovación tecnológica

La innovación tecnológica se entiende como la adopción e integración de nuevas herramientas, dispositivos, procesos o conocimientos que transforman y mejoran las etapas del cultivo, cosecha, procesamiento y comercialización del café. Esta variable permite evaluar el grado

de modernización en las fincas cafeteras, así como su capacidad de adaptación frente a los desafíos del mercado y del cambio climático. En esta investigación, la innovación tecnológica se relaciona directamente con la implementación de sistemas automatizados basados en IoT, los cuales buscan optimizar recursos, aumentar la calidad del producto final y promover prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

Rentabilidad económica

La rentabilidad económica hace referencia a la capacidad del sistema productivo cafetero para generar utilidades sostenibles, considerando la relación entre los ingresos obtenidos por la venta del café y los costos asociados a su producción. Esta variable permite valorar el impacto financiero de la innovación tecnológica sobre la economía del caficultor. Una mayor rentabilidad no solo garantiza la sostenibilidad del negocio, sino que también impulsa el bienestar de las familias productoras y la competitividad del sector. En el presente estudio, se evaluará cómo el uso de tecnologías IoT influye en la reducción de costos, optimización de procesos y aumento del margen de ganancia [18]

d) Formulación de hipótesis

Las hipótesis son afirmaciones que planteas antes de llevar a cabo la investigación. Estas se dividen en tres categorías:

e) Hipótesis de investigación

Se plantea que la implementación de un sistema de monitoreo automatizado mediante tecnologías de Internet de las cosas (IoT) en las fincas cafeteras contribuirá significativamente a optimizar el proceso de producción del café, al proporcionar información en tiempo real sobre variables clave, la humedad, la temperatura, y el peso. Se espera que esta tecnología permita una gestión más precisa y eficiente de los recursos, una detección temprana de problemas y una toma

de decisiones más informada, lo que finalmente resultará en un aumento de la productividad y calidad del café cosechado.

1) Hipótesis nula

La implementación de un sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IoT no tiene un efecto significativo en la calidad y productividad de la producción en fincas cafeteras comparado con métodos de monitoreo tradicionales.

Esta hipótesis asume que cualquier cambio observado en la productividad o calidad de las fincas tras la implementación del sistema IoT podría ser atribuido a variaciones aleatorias o a otros factores externos no relacionados con el sistema de monitoreo IoT.

2) Hipótesis alterna

La implementación de un sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IoT mejora significativamente la eficiencia y productividad de la producción en fincas cafeteras comparado con métodos de monitoreo tradicionales. Esta hipótesis sugiere que la introducción del sistema IoT conlleva a mejoras observables y mensurables en términos de productividad y eficiencia en las operaciones de las fincas, y que estas mejoras son directamente atribuibles a la tecnología implementada.

III. METODOLOGÍA

a) Paradigma

1) Paradigma positivista

La investigación se fundamenta en el paradigma positivista, el cual se caracteriza por su enfoque objetivo, empírico y verificable. Este paradigma permite comprender fenómenos mediante la observación sistemática y la cuantificación de variables. En este estudio, se aborda la producción cafetera desde una perspectiva técnica y medible, haciendo uso de sensores IoT para el monitoreo continuo de variables críticas como temperatura, humedad y peso. Esta aproximación facilita la identificación de relaciones causales y patrones que inciden en el rendimiento y la calidad del café, permitiendo aplicar soluciones basadas en evidencia. El paradigma positivista respalda así el desarrollo de una agricultura de precisión orientada a la optimización productiva [41]

b) Enfoque

1) Enfoque mixto

La investigación adopta un enfoque mixto, integrando componentes cuantitativos y cualitativos para enriquecer la comprensión del fenómeno estudiado. Desde lo cuantitativo, se recolectan datos mediante sensores y dispositivos IoT instalados en las fincas, que permiten medir variables ambientales y agronómicas de manera precisa. Estos datos son sometidos a análisis estadístico para identificar tendencias, correlaciones y efectos en la producción cafetera. Paralelamente, el enfoque cualitativo posibilita explorar las percepciones, experiencias y expectativas de los caficultores, mediante entrevistas y encuestas. Esta integración metodológica permite una visión más amplia y contextualizada del impacto tecnológico, facilitando tanto la validación empírica como la interpretación social del fenómeno

*c) Método**1) Científico*

El método científico es un proceso estructurado que los científicos utilizan para investigar y comprender fenómenos naturales o sociales. Comienza con la observación de un problema, seguida por la formulación de una pregunta específica o la identificación de un problema a resolver. Se plantea una hipótesis, que es una explicación tentativa sobre la relación entre variables como temperatura, humedad y peso y que para los investigadores [29] puede utilizarse para poder proponer y generar hipótesis para luego corroborar por medio de la experimentación probada mediante experimentación o investigación.[28]

*d) Tipo de investigación**1) Cuantitativo*

La investigación se desarrolla por medio de un enfoque cuantitativo sería fundamental para recopilar y analizar datos numéricos relacionados con variables clave en la producción de café. Este enfoque se centraría en la medición precisa y objetiva de factores ambientales y agronómicos que influyen en el cultivo del café.[30]”la metodología cualitativa a diferencia de la cuantitativa consiste en más que un conjunto de técnicas para recoger datos” [31]

2) Cualitativo

La investigación se desarrolla por medio de un enfoque cuantitativo que se centra en la recopilación y el análisis de datos numéricos, el enfoque cualitativo se enfoca en comprender las experiencias, percepciones y significados subyacentes detrás de los fenómenos estudiados. En el contexto de la implementación de un sistema de monitoreo automatizado en fincas cafeteras, podría complementar el análisis de datos cuantitativos al proporcionar una comprensión más profunda de las dinámicas sociales, culturales y humanas involucradas en la producción de café.[32]” Se basa

en métodos de recolección de datos sin medición numérica como la descripción y la observación del fenómeno” [35]

e) Diseño de investigación

1) Descriptiva

El diseño de esta investigación es de tipo descriptivo, ya que busca caracterizar de forma detallada los procesos, variables y resultados asociados a la implementación de un sistema de monitoreo automatizado en fincas cafeteras. A través de la descripción sistemática de las condiciones tecnológicas, ambientales y humanas involucradas, se pretende generar un diagnóstico claro sobre la situación actual y los efectos del uso de tecnologías IoT en la producción. Este diseño facilita la identificación de patrones de comportamiento, fortalezas y oportunidades de mejora en la gestión agrícola

f) Población

La población objetivo de esta investigación está compuesta por todos los actores involucrados en el proceso de producción de café en la finca Paltapamba durante el año y medio del estudio. Esto incluye al dueño de la finca, quien proporcionó información clave sobre la gestión y los desafíos de la producción, así como a los trabajadores encargados de la cosecha y el cuidado de los cultivos. La finca Paltapamba, ubicada a unos 15 minutos del municipio de Consacá, fue seleccionada por su disposición a adoptar el proyecto y facilitar las instalaciones, así como por el interés que mostró en la investigación.

Según información proporcionada por el administrador, se estimó que aproximadamente 25 personas participan de manera directa en las labores productivas de la finca.

g) Muestra

Para obtener una muestra representativa, se realizaron entrevistas y observaciones directas con el dueño de la finca y un grupo de trabajadores que participan activamente en las labores de campo. Este grupo incluye a personas con diferentes roles y niveles de experiencia en la cosecha de café, lo que permitió recopilar una variedad de perspectivas sobre los beneficios y desafíos de la implementación del sistema de monitoreo automatizado.

Esta muestra permitió obtener información detallada sobre las condiciones y prácticas agrícolas actuales, facilitando la evaluación de las tecnologías IoT en diferentes contextos y etapas del proceso de producción de café. Esto asegura que los resultados de la investigación sean relevantes y aplicables a una gran parte de la industria cafetera en la región, considerando las necesidades y experiencias de los diversos actores involucrados.

h) Técnicas de recolección de información

Para llevar a cabo esta investigación se tomará como punto de referencia el sector cafetero del departamento de Nariño en el municipio de Consacá donde se visitará fincas cafeteras de la zona para conocer más detalladamente el proceso de la producción del café nos basaremos en entrevistas y encuestas, pueden desempeñar un papel crucial para recopilar datos valiosos sobre diversos aspectos relacionados con la implementación y el impacto del sistema de monitoreo automatizado en las fincas cafeteras.[33] Al utilizar técnicas de recolección de información como entrevistas y encuestas, se puede obtener una comprensión holística de la implementación y el impacto del sistema de monitoreo automatizado en las fincas cafeteras, desde la perspectiva de los agricultores, expertos en agricultura y consumidores. Esto permitiría identificar áreas de mejora y optimización para maximizar los beneficios del sistema en la producción de café.[34]

i) Validez de las técnicas de recolección

La validez de las técnicas aplicadas se garantiza mediante la triangulación de datos, la revisión de instrumentos por expertos y el pilotaje previo. La coherencia entre los datos cuantitativos y cualitativos permitirá contrastar información, identificar posibles sesgos y asegurar que los instrumentos realmente miden lo que se pretende investigar. Además, se tendrán en cuenta los contextos socioculturales para asegurar la pertinencia de los instrumentos aplicados [36]

j) Confiabilidad de las técnicas de recolección

La recolección de información desempeña un papel crítico en el éxito de la implementación de un sistema de monitoreo automatizado en fincas cafeteras. La consistencia, la reproducibilidad, la validez, la escalabilidad y el mantenimiento adecuado son aspectos esenciales a considerar para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos.[37] Al asegurar que las mediciones realizadas por los sensores IoT sean consistentes y representativas de las condiciones reales en las fincas, y que la plataforma web de análisis de datos sea capaz de procesar información de manera precisa y confiable.

*k) Instrumentos de recolección de información**l) Entrevistas:*

Las entrevistas con agricultores y expertos en agricultura ofrecen perspectivas valiosas sobre la implementación del sistema de monitoreo automatizado en fincas cafeteras. Mientras que las entrevistas con agricultores exploran experiencias prácticas y percepciones, las entrevistas con expertos brindan información técnica sobre mejores prácticas y estrategias de optimización. Esta combinación permite comprender los aspectos prácticos y técnicos del sistema, identificando áreas de mejora.

2) *Encuestas:*

Encuestas a agricultores y consumidores pueden ser realizadas para medir el impacto potencial de un sistema de monitoreo automatizado en fincas cafeteras. Las respuestas de los agricultores ofrecen información sobre la aceptación y efectividad del sistema en términos de productividad, mientras que las opiniones de los consumidores permiten evaluar la calidad del café producido. Integrando ambas perspectivas, se obtiene una visión holística del sistema y su desempeño.[47]

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

a) Primer objetivo

En primer lugar, se llevó a cabo una indagación exhaustiva sobre el procedimiento de cosecha del café. A través de la revisión de documentación especializada y entrevistas con los propietarios de la finca Paltapamba y un experto agrónomo con especialización en caficultura, se identificaron las variables críticas de temperatura y humedad como factores que inciden directamente en el desarrollo y rendimiento de la cosecha. Según la información proporcionada por los agricultores, el proceso de recolección se realiza de forma manual.

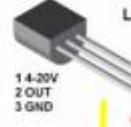
Componente/Sistema	Opciones de selección		
Placa			
Sensores para temperatura y humedad	 14-20V 2 OUT 3 GND 1 2 3	 DHT11	 DHT22 30.8mm 13.7mm
Sensores peso	 Sensor 50kg	 Celda 5kg	
Transmisor	 HX711		
Cables para conexión	 Jumpers inestables	 Jumpers	

Fig. 3 Matriz morfológica

Nota: fuente propia

Mediante la matriz morfológica se hace una comparación de los componentes disponibles para la investigación, se tiene en cuenta costos, funcionalidad, compatibilidad, utilidad, durabilidad a continuación se detalla más sobre los componentes.

Tabla 1 Comparativa componentes placa

Componentes	Costos	Funcionalidad	Compatibilidad	Utilidad	Durabilidad
Placa Arduino uno	Relativamente económicos. (Varía según el distribuidor y si es original o compatible, desde unos \$50.000 COP hasta \$100.000 COP o más en algunos kits).	Microcontrolador ATmega328P. Pines de E/S digitales y analógicas. Comunicación serial (UART, SPI, I2C). PWM. Entorno de desarrollo (IDE) simple y fácil de usar.	Amplia compatibilidad con shields (módulos de expansión), sensores y actuadores debido a su formato estándar y gran ecosistema. Compatible con Windows, Linux, macOS.	Ideal para principiantes y proyectos con requisitos de procesamiento moderados. Prototipado rápido, proyectos de automatización, robótica educativa, proyectos de hogar inteligente sencillos.	Buena. Están diseñadas para durar en entornos de prototipado y uso general. Su vida útil depende del cuidado y las condiciones de operación (temperatura, humedad, voltaje).
Placa ESP32	Muy económicos. (Generalmente más económicos que Arduino Uno, desde unos \$30.000 COP hasta \$50.0000 COP dependiendo del modelo y distribuidor)	Microcontrolador potente (doble núcleo en muchos casos) con Wi-Fi y Bluetooth integrados. Mayor velocidad de procesamiento y memoria. Múltiples pines, sensores táctiles, etc.	Compatible con el IDE de Arduino y otros entornos de desarrollo (ESP-IDF, MicroPython). Requiere librerías específicas para sus funcionalidades avanzadas. Compatible con un amplio rango de sensores y actuadores.	Excelente para proyectos IoT que requieren conectividad inalámbrica. Dispositivos de red, monitoreo remoto, automatización del hogar, robótica avanzada, sistemas de seguridad, aplicaciones de bajo consumo.	Muy buena. Diseñadas para aplicaciones IoT y pueden soportar entornos industriales si se manejan dentro de sus especificaciones (temperatura, voltaje). Espressif (fabricante del chip ESP32) ofrece ciclos de vida garantizados de hasta 12 años para sus

					chips y módul os.
--	--	--	--	--	-------------------

Con base en las características comparadas en la tabla anterior, la elección del microcontrolador ESP32 para este proyecto de monitoreo de café se justifica plenamente por varias razones clave:

En primer lugar, su conectividad Wi-Fi integrada es un factor decisivo. A diferencia de otras plataformas que requerirían módulos adicionales, el ESP32 simplifica la arquitectura del sistema y reduce costos al permitir la transmisión inalámbrica de datos desde la finca a la plataforma web. Esta capacidad es fundamental para el monitoreo remoto en tiempo real de las variables críticas del cultivo de café.

En segundo lugar, la potencia de procesamiento superior y la mayor memoria del ESP32, en comparación con microcontroladores como el Arduino Uno, le otorgan la capacidad de manejar de manera eficiente la lectura y el procesamiento de múltiples sensores (temperatura, humedad, peso) y la gestión de la comunicación de datos, incluso con el potencial de integrar lógicas más complejas o funciones de análisis ligero en el futuro.

Finalmente, su bajo consumo de energía lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en entornos rurales donde la disponibilidad de energía puede ser limitada, permitiendo una mayor autonomía del sistema. La amplia disponibilidad de librerías y el soporte del IDE de Arduino también garantizan un proceso de desarrollo más ágil y eficiente, elementos cruciales para la implementación exitosa de soluciones tecnológicas en el sector agrícola.



Fig. 4 Placa ESP32

Nota: fuente <https://www.google.com/maps>

Tabla 2 Comparativa componentes sensores

componentes	Costos	Funcionalidad	Compatibilidad	Utilidad	Durabilidad
LM35	Muy económico. (Generalmente menos de \$5.000 COP)	Sensor de temperatura analógico. Mide la temperatura en grados Celsius y proporciona una salida de voltaje lineal que es proporcional a la temperatura. No mide humedad.	Amplia. Compatible con cualquier microcontrolador que tenga entradas analógicas (Arduino, ESP32,). Fácil de conectar y usar.	Proyectos sencillos de medición de temperatura donde la precisión no es extremadamente crítica y la humedad no es un factor relevante.	Buena. Es un componente robusto para su tipo y aplicación. Su vida útil es larga si se usa dentro de sus especificaciones de voltaje y temperatura.
DHT11	Muy económico. (Generalmente entre \$5000- \$15.000 COP).	Sensor digital de temperatura y humedad. Proporciona lecturas de temperatura y humedad relativa en	Amplia. Compatible con la mayoría de los microcontroladores (Arduino, ESP32) que	Proyectos de monitoreo ambiental donde la precisión no es crítica y el presupuesto es ajustado. Ideal para medir temperatura y	Adeuada. Tiende hacer preciso y duradero en ambientes con temperatura y humedad moderadas

		un formato digital. Rango de temperatura: 0-50°C, precisión $\pm 2^\circ\text{C}$. Rango de humedad: 20-90% RH, precisión $\pm 5\%$ RH.	soporten comunicación de un solo cable (One-Wire). Requiere una librería específica.	humedad en interiores o entornos controlados con variaciones suaves.	
DHT22	Económico. (Generalmente entre \$20.000- \$40.000 COP)	Sensor digital de temperatura y humedad. Similar al DHT11, pero con mayor precisión y rango. Rango de temperatura: -40 a 80°C, precisión $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Rango de humedad: 0-100% RH, precisión $\pm 2-5\%$ RH.	Amplia. Compatible con la mayoría de los microcontroladores (Arduino, ESP32) que soporten comunicación de un solo cable (One-Wire). Requiere la misma o una librería similar al DHT11.	Proyectos de monitoreo ambiental donde se requiere mayor precisión y un rango más amplio de temperatura y humedad. Adecuado para exteriores protegidos o invernaderos	Mejor que el DHT11. Es más robusto y preciso, lo que le confiere una mayor fiabilidad y vida útil en comparación con su predecesor, especialmente en condiciones más exigentes.

El DHT11 ofrece una solución viable y económica para la medición simultánea de temperatura y humedad.

Su facilidad de uso y la amplia disponibilidad de librerías en entornos de desarrollo como Arduino y ESP32 simplificaron significativamente el proceso de configuración y puesta en marcha del sistema.

Aunque el DHT22 ofrece mayor precisión y un rango más amplio, su costo es superior. Para las necesidades específicas del monitoreo ambiental en la finca, donde las variaciones de

temperatura y humedad pueden no ser tan extremas como en otros cultivos especializados, la precisión del DHT11 resultó ser suficiente para detectar tendencias y anomalías relevantes para el desarrollo del café. La información obtenida con este sensor permite tomar decisiones adecuadas para el cuidado de la cosecha, sin la necesidad de una inversión mayor en sensores de alta gama.



Fig. 5: Sensor DHT11

Nota: fuente <https://www.bing.com/images>

Tabla 3 Comparativa componentes sensores

componentes	Costos	Funcionalidad	Compatibilidad	Utilidad	Durabilidad
Sensor de peso 50 kg	Moderado . (Varía según el tipo y precisión, puede ir de \$10.000 COP a \$15.000 COP. Requiere un módulo HX711. (Valor incluido con el sensor)	Mide fuerza o peso convirtiéndola en una señal eléctrica. Generalmente una célula de carga de galgas extensométricas. Requiere un módulo amplificador como el HX711 para obtener lecturas legibles por un microcontrolador.	Amplia. Compatible con microcontroladores como Arduino y ESP32 a través de módulos amplificadores como el HX711, que simplifican la conexión.	Ideal para medir objetos de peso considerable como la cosecha de café en sacos pequeños, el llenado de recipientes. Aplicaciones en básculas industriales o agrícolas.	Buena a Muy buena. Diseñados para soportar cargas repetidas dentro de su rango. La durabilidad depende de la calidad del sensor, la protección contra la humedad y golpes, y el uso

					dentro de sus límites.
Celda de peso 5 kg	Moderado (Generalmente entre \$12.000 COP y \$30.000 COP, más el módulo H X711).	Similar a la de 50 kg, pero diseñada para medir pesos menores con mayor precisión en ese rango. También requiere un módulo amplificador como el HX711.	Amplia. Compatible con microcontroladores como Arduino y ESP32 a través de módulos amplificadores como el HX711.	Perfecta para mediciones de peso más pequeñas y precisas, como el peso de una pequeña cantidad de granos de café.	Buena. Dada su aplicación para pesos menores, tienden a ser bastante duraderas si no se excede su capacidad máxima y se protegen de factores externos.

Considerando que la recolección y el manejo del café suelen involucrar volúmenes que superan con creces la capacidad de un sensor de menor rango (como uno de 5 kg), el sensor de 50 kg ofrece la capacidad adecuada para pesar bultos, recipientes o cantidades acumuladas de cerezas de café de manera realista. Esta capacidad permite obtener datos de producción pertinentes para la toma de decisiones sobre la gestión y eficiencia de la cosecha.

Aunque un sensor de menor capacidad podría ofrecer una mayor precisión en rangos muy pequeños, para el objetivo de monitorear la producción a nivel de cosecha, la robustez y el rango de medición del sensor de 50 kg son mucho más prácticos y representativos de las necesidades operativas de una finca cafetera. Además, al requerir el módulo HX711 para su digitalización, se asegura una integración sencilla y efectiva con el microcontrolador ESP32, manteniendo la coherencia tecnológica del sistema.



Fig. 6: Sensor peso GML670

Nota: fuente <https://www.bing.com/images>

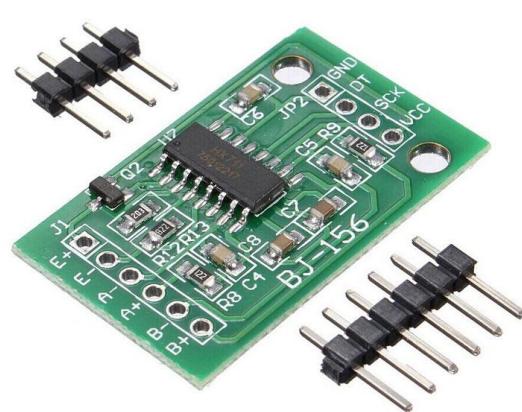


Fig. 7: Modulo Hx711

Nota: fuente <https://www.bing.com/images>

1) Protocolo

En el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), la transmisión de datos entre dispositivos y plataformas es un pilar fundamental. Existen diversos protocolos diseñados para optimizar este proceso, cada uno con características y aplicaciones específicas. Algunos de los más relevantes incluyen:

HTTP (Hypertext Transfer Protocol): Es el protocolo base para la transferencia de información en la World Wide Web. Es un protocolo cliente-servidor, sin estado, que opera sobre TCP/IP. Su simplicidad y amplia adopción lo hacen atractivo para ciertas aplicaciones IoT.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Un protocolo ligero de mensajería "publicar/suscribir" (publish/subscribe) diseñado para conexiones con ancho de banda limitado y entornos con poca fiabilidad. Es ideal para dispositivos de baja potencia y redes inestables.

CoAP (Constrained Application Protocol): Un protocolo web especializado para nodos y redes restringidas en IoT. Es similar a HTTP pero optimizado para entornos con recursos limitados, utilizando UDP en lugar de TCP.

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol): Un protocolo de mensajería binario de código abierto que permite la interoperabilidad entre aplicaciones y sistemas. Es más robusto y complejo que MQTT, adecuado para entornos empresariales con alta fiabilidad.

DDS (Data Distribution Service): Un estándar de comunicación en tiempo real de publicar/suscribir para sistemas distribuidos, diseñado para aplicaciones de misión crítica y tiempo real.

2) Criterios comparativos para la selección del protocolo

Para elegir el protocolo de comunicación más adecuado para la transmisión de datos en el proyecto de monitoreo de café, se consideraron los siguientes criterios:

Complejidad de Implementación: La facilidad con la que el protocolo puede ser integrado y programado en el microcontrolador (ESP32) y en la plataforma web.

Ancho de Banda y Consumo de Recursos: La eficiencia del protocolo en el uso del ancho de banda y los recursos computacionales del dispositivo y la red.

Fiabilidad y Entrega de Mensajes: La capacidad del protocolo para garantizar que los mensajes lleguen a su destino, incluso en condiciones de red adversas.

Escalabilidad: La facilidad con la que el sistema puede crecer y manejar un mayor número de dispositivos y volúmenes de datos en el futuro.

Seguridad: Las capacidades inherentes del protocolo para proteger los datos en tránsito.

Compatibilidad y Ecosistema: La disponibilidad de librerías, herramientas y el soporte de plataformas existentes.

Requisitos de la Aplicación: La necesidad de comunicación en tiempo real, unidireccional o bidireccional, y el tipo de datos a transmitir.

3) Justificación de la elección del protocolo HTTP

Para la transmisión de datos en el proyecto de monitoreo de café, se eligió el protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) por las siguientes razones:

Compatibilidad con la Infraestructura Web Existente: La plataforma web fue construida utilizando lenguajes y tecnologías web estándar (PHP, CSS, HTML). HTTP es el protocolo fundamental de la web, lo que garantiza una integración fluida y sin fricciones entre el

microcontrolador ESP32 y la plataforma de visualización. Esto reduce la curva de aprendizaje y la complejidad del desarrollo.

Simplicidad para la Transferencia de Datos: Para la naturaleza unidireccional de los datos recopilados por los sensores (temperatura, humedad, peso) y su envío a una base de datos, HTTP ofrece una simplicidad operativa considerable.

Amplia Disponibilidad de Librerías y Soporte: El ESP32 cuenta con un excelente soporte para HTTP, con librerías robustas y bien documentadas que facilitan la creación de solicitudes HTTP de manera eficiente. Esto acelera el desarrollo y la depuración del sistema.

Facilidad de Depuración: Dada la naturaleza textual de HTTP, la depuración de la comunicación es relativamente sencilla. Se pueden observar las solicitudes y respuestas directamente, lo cual es ventajoso durante la fase de desarrollo y pruebas.

b) Segundo objetivo

Se construyó una plataforma web robusta utilizando lenguajes como PHP, CSS, y HTML. Diseñada para recibir y procesar los datos en tiempo real provenientes de los sensores instalados en la finca, esta plataforma captura las variables críticas como la temperatura, humedad y la muestra de manera clara y accesible a través de gráficos y tablas, al mismo tiempo se le incorporó alertas parametrizadas bajo ciertas condiciones climáticas que podrían afectar el cultivo.

Tabla 4: Modulo Crear web

Modulo	ID de la historia	ROL	funcionalidad
<i>Crear una plataforma web para visualizar los datos recopilados.</i>	HU 5	Usuario	Quiero una interfaz de usuario (UI) intuitiva y fácil de usar para la plataforma web de visualización de datos IoT
	HU 6	Interno	Quiero almacenar los datos recopilados por los sensores
	HU 7	Usuario	Quiero visualizar los datos recopilados por los sensores
	HU 8	Interno	Quiero implementar gráficos en la plataforma web para visualizar las variables clave del cultivo
	HU 9	Usuario	Quiero visualizar las graficas en la plataforma web
	HU 10	Interno	Quiero realizar pruebas iniciales de la conexión entre la plataforma web y los sensores IoT (o datos simulados), para verificar que los datos se reciben y se muestran correctamente en la interfaz.

Se implementó un sistema de registro y almacenamiento seguro para gestionar usuarios, procesos de análisis y la información recopilada. Se utilizaron herramientas de intercambio de datos entre la base de datos y la aplicación, garantizando la seguridad y la integridad de la información.

1) Metodología aplicada

Para la gestión del desarrollo del software, se implementó una metodología ágil basada en una adaptación de SCRUM proporcionó la estructura necesaria, con roles definidos, Sprints para la planificación y revisión, y reuniones diarias para el seguimiento. Sin embargo, se incorporaron elementos de KANBAN, como la visualización del flujo de trabajo en un tablero, para permitir una mayor flexibilidad y adaptación a los cambios en los requisitos y prioridades del proyecto. Esta combinación permitió mantener la organización y la entrega iterativa de SCRUM.

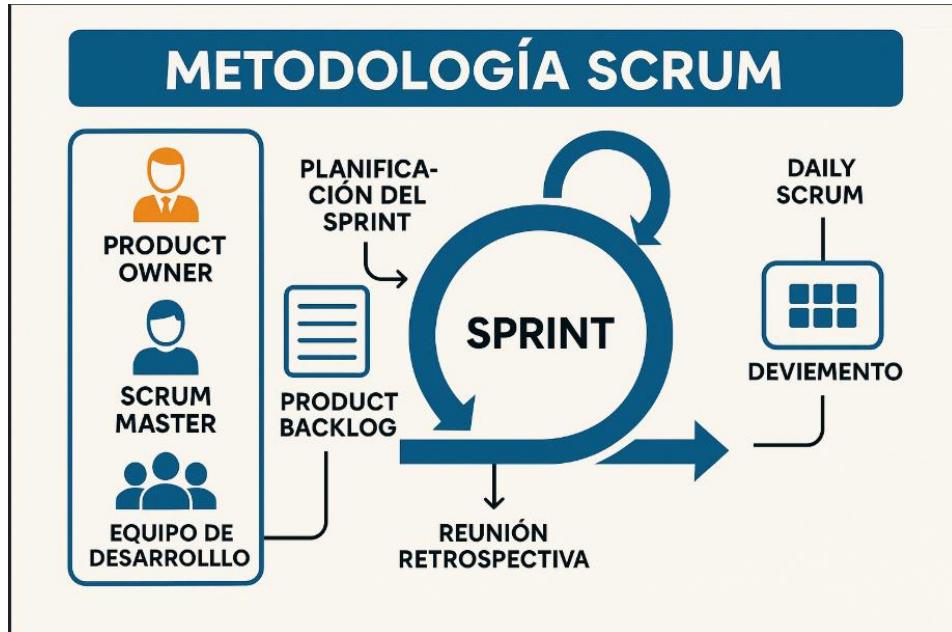


Fig. 4 Metodología ágil SCRUM

Nota: fuente <https://www.google.com/imagenes>

2) Roles en metodología

Los roles definidos para el desarrollo de nuestro proyecto fueron los siguientes los cuales se cumplieron de la siguiente manera:

a) Product Owner (Propietario del producto)

El Product Owner fue el administrador de la finca, ya que es la persona con mayor conocimiento de los procesos productivos y puede definir claramente los requisitos del sistema desde una perspectiva práctica y de negocio.

b) Scrum Máster

Edilson Montilla y Andrés Acosta asumieron el rol de Scrum Máster, encargándose de organizar y facilitar las reuniones diarias (Daily Scrum), así como de brindar apoyo al equipo para resolver los obstáculos que surgieron durante el desarrollo del proyecto.

c) Development Team (Equipo de desarrollo)

Los mismos investigadores nos encargamos de desarrollar el producto inicial hasta su etapa final.

3) Requisitos

En la reunión con el administrador de la finca Paltapamba, él nos describió como quería que funcionara más que todo la visualización de los datos, pero como es una persona a la cual se le dificulta la tecnología se optó por hacer la página web “sencilla” pero a su vez enmarcara toda la información necesaria para el seguimiento de los datos obtenidos por los sensores.

a) Requisitos funcionales

- Registrar usuarios e iniciar sesión.
- Mostrar los datos de temperatura y humedad en tiempo real.
- El sistema debe generar alertas cuando los valores de temperatura excedan los límites predefinidos.
- Visor de datos almacenados anteriormente

b) Requisitos no funcionales

- El sistema debe ser seguro y proteger los datos de los usuarios.
- El sistema debe ser fácil de usar e intuitivo.
- El sistema debe ser compatible con diferentes navegadores web.
- El sistema debe tener un tiempo de respuesta rápido.

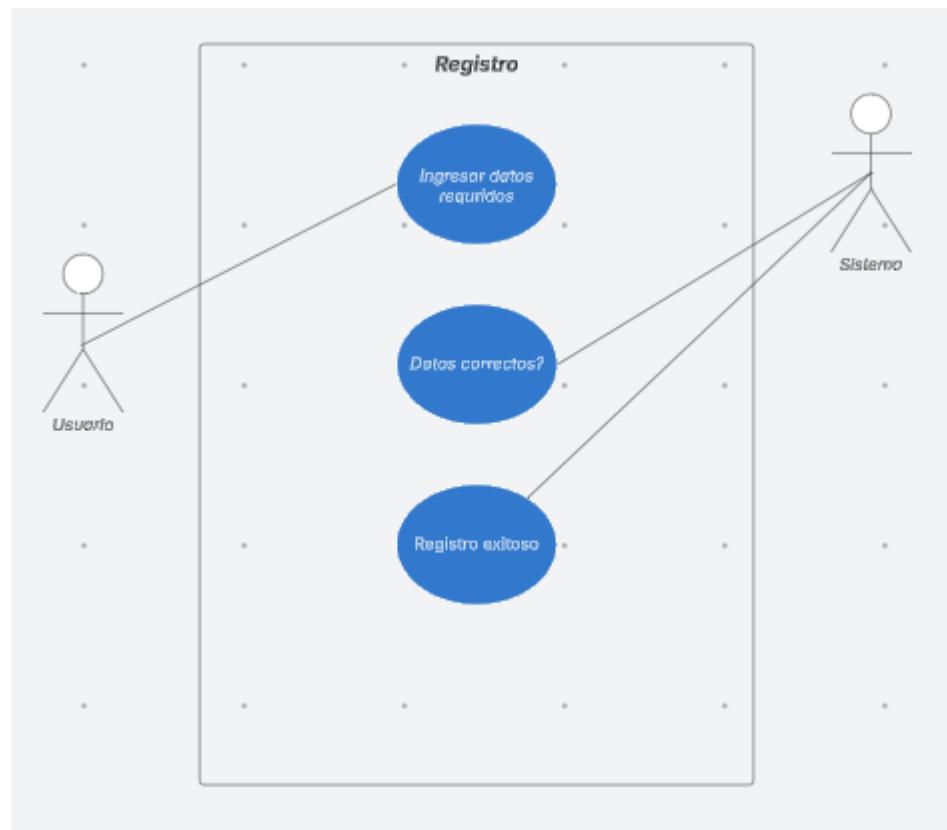


Fig. 5 Diagrama de clases registro

Nota: fuente propia

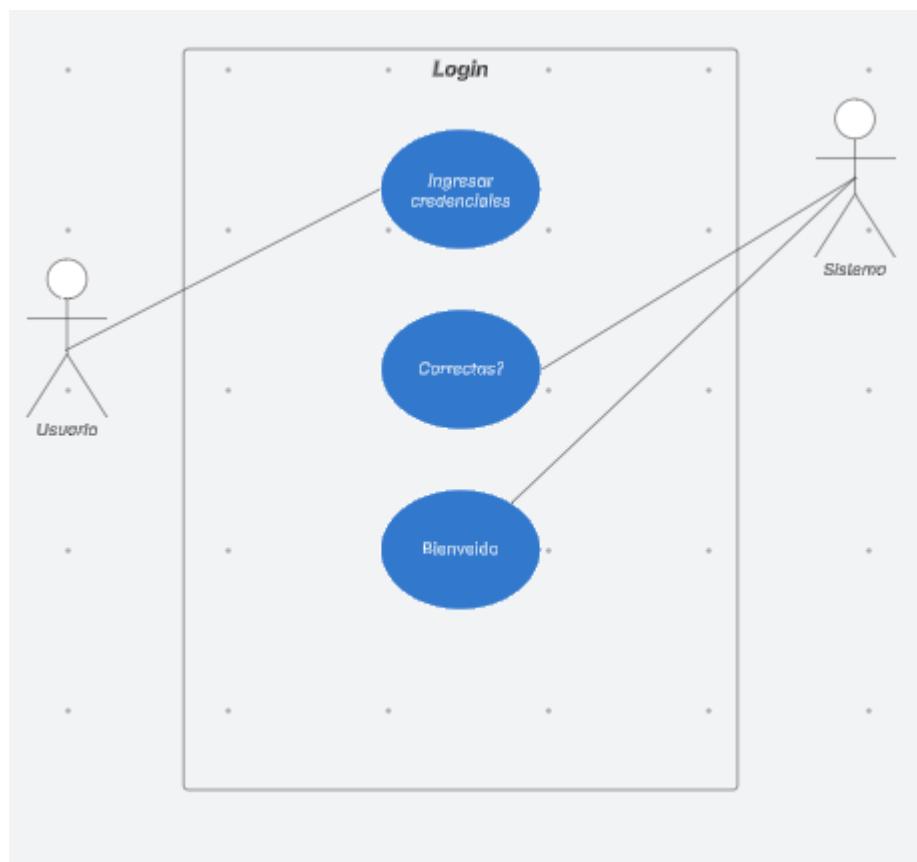


Fig. 6 Diagrama de clases login

Nota: fuente propia

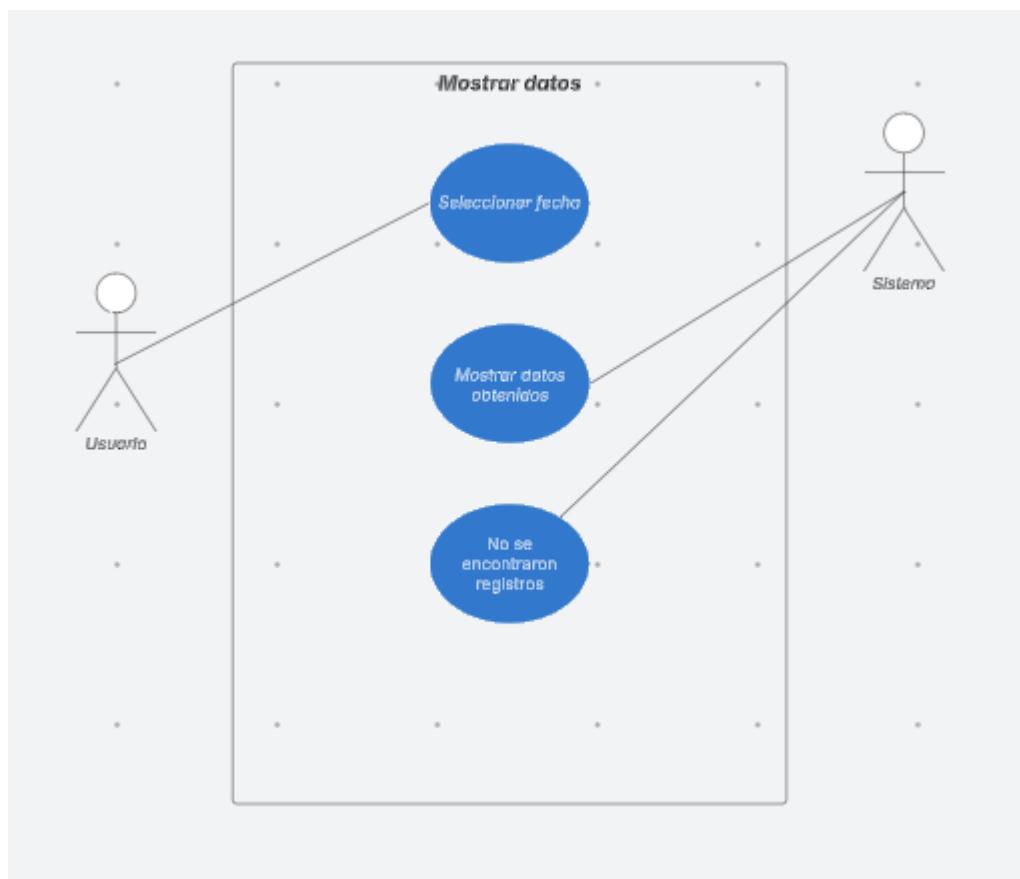


Fig. 7 Diagrama de clases Datos

Nota: fuente propia

4) *Manual de usuario del aplicativo web*

Este manual tiene como objetivo proporcionar una guía completa para el uso del sistema de monitoreo automatizado desarrollado para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la producción de café. El sistema utiliza tecnologías IoT para recopilar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones del cultivo, y una plataforma web para visualizar y analizar esta información.

a) *Acceso al sistema rol usuario*

1) Disponibilidad de conexión a internet

- 2) Usar navegadores compatibles (Chrome, Edge)

Inicio de sesión

- 1) Ingresar credenciales correctas.
- 2) Hacer clic en botón “iniciar sesión”.
- 3) Si no tiene credenciales elegir opción de registrarse.

Navegación por página web

- 1) Una vez que haya iniciado sesión, se mostrará la interfaz principal de la plataforma.
- 2) Esta interfaz incluye un panel de control de los datos, filtro de búsqueda de datos y alertas

b) Acceso al sistema rol administrador

Inicio de sesión

- 1) Ingresar credenciales correctas.
- 2) Hacer clic en botón “iniciar sesión”.
- 3) Si no tiene credenciales elegir opción de registrarse.

Navegación por página web

- 1) Una vez que haya iniciado sesión, se mostrará la interfaz principal de la plataforma.
- 2) Esta interfaz incluye un panel de control de los datos, filtro de búsqueda de datos, alertas, menú de navegación

Menú de navegación

- 1) Inicio para volver a interfaz principal
 - 2) Opción de visualizar graficas (peso, temperatura, humedad)
- c) Acceso al sistema rol super-administrador*

Inicio de sesión

- 1) Ingresar credenciales correctas.
- 2) Hacer clic en botón “iniciar sesión”.
- 3) Si no tiene credenciales elegir opción de registrarse.
- 4) El rol de super administrador será asignado de manera manual por el ingeniero a cargo

d) Navegación por página web

- 1) Una vez que haya iniciado sesión, se mostrará la interfaz principal de la plataforma.
- 2) Esta interfaz incluye un panel de control de los datos, filtro de búsqueda de datos, alertas, menú de navegación

Menú de navegación

- 1) Inicio para volver a interfaz principal
 - 2) Opción de visualizar graficas (peso, temperatura, humedad)
- e) Visualización de usuarios registrados*
- 1) Interfaz de todos los usuarios registrados en el sistema con los diferentes roles

- 2) Opción de eliminar usuarios
- 3) Opción de cambiar restablecer contraseña

Administración de fincas asociadas

- 1) Elegir la finca deseada

Tabla 5: Metodología SCRUM

FASES	ACTIVIDADES
Planificación	Entender a fondo el problema que se busca resolver y los resultados deseados del proyecto
Ejecución	Llevar a cabo las tareas necesarias y construir el producto o servicio acordado
Revisión y retrospectiva	<p>Esta etapa se centra en el aprendizaje constante y la capacidad de adaptarse rápidamente a medida que el proyecto avanza en ciclos cortos (Sprints). Permite al equipo analizar lo que se ha construido y cómo se ha trabajado, para así ajustar su rumbo y sus métodos con el fin de entregar el mayor valor posible al cliente en cada iteración.</p> <p>En esencia, la planificación sienta las bases, la ejecución construye el producto, y la revisión y retrospectiva aseguran que el equipo esté aprendiendo y mejorando continuamente para entregar el mejor resultado posible.</p>

Tabla 6: Modulo Configurar sensores

Modulo	ID de la historia	rol	funcionalidad
Configurar y garantizar el correcto funcionamiento de los sensores IoT	HU 1	INTERNO	Quiero seleccionar y adquirir los sensores IoT necesarios para el monitoreo del cultivo de café.
	HU 2	INTERNO	Quiero configurar los sensores IoT adquiridos y las placas Arduino correspondientes, para que los sensores puedan recolectar y transmitir datos.
	HU 3	INTERNO	Quiero realizar pruebas individuales de cada sensor configurado
	HU 4	INTERNO	Quiero validar técnicamente el funcionamiento integrado de los sensores y las placas Arduino, para asegurar la fiabilidad de la recopilación de datos antes de la implementación en la finca.

Tabla 7: Modulo Desarrollar y conectar algoritmos

Modulo	ID de la historia	rol	funcionalidad
Desarrollar y conectar algoritmos que analicen datos en tiempo real.	HU 11	INTERNO	Quiero procesar los datos recopilados por los sensores IoT
	HU 13	INTERNO	Quiero desarrollar la funcionalidad para configurar y gestionar alertas basadas en los patrones detectados
	HU 14	Usuario	Quiero visualizar las alertas
	HU 15	INTERNO	Quiero validar los datos del cultivo, para asegurar su precisión.

5) Tecnologías

Para el desarrollo del sistema de monitoreo de café, se hizo uso de un conjunto de tecnologías clave que permitieron la recolección, procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos. A continuación, se detalla cómo cada una de estas tecnologías fue utilizada y el aporte fundamental que brindó al proyecto:

PHP:

Este lenguaje de scripting del lado del servidor fue el pilar para el desarrollo web dinámico de la plataforma. PHP se integró directamente con el HTML, actuando como el puente de conexión principal con la base de datos. Su función esencial fue procesar las solicitudes de los usuarios, interactuar con PostgreSQL para almacenar y recuperar la información de los sensores.

PostgreSQL:

Como sistema de gestión de bases de datos relacionales robusto y de código abierto, PostgreSQL fue fundamental para la persistencia y organización de la información. Permitió almacenar de manera estructurada todos los datos obtenidos de los sensores (temperatura, humedad, peso), así como la información de usuarios, alertas y fincas. Gracias a PostgreSQL, fue posible mantener un registro histórico de las variables ambientales y de producción, lo cual es crucial para el análisis de tendencias y la toma de decisiones, garantizando la integridad y escalabilidad de los datos.

Bootstrap:

Para asegurar una interfaz web responsive y visualmente atractiva, se empleó Bootstrap. Este framework CSS de código abierto proporcionó una vasta colección de herramientas y componentes prediseñados, lo que agilizó significativamente el desarrollo front-end. Su implementación garantizó que la plataforma fuera accesible y funcional desde diferentes dispositivos y tamaños de pantalla, mejorando la experiencia del usuario.

CSS (Cascading Style Sheets):

Complementando a HTML, CSS fue el lenguaje utilizado para definir la apariencia visual y el estilo de todos los elementos de la plataforma web. A través de CSS, se controlaron aspectos como los colores, las fuentes, el diseño de los elementos y la disposición general, contribuyendo a una presentación clara y legible de los datos del monitoreo.

HTML (HyperText Markup Language):

Constituyó el esqueleto y la estructura fundamental de la página web. Este lenguaje de marcado permitió definir y organizar el contenido textual y multimedia de la plataforma, sirviendo como la base sobre la cual se construyó toda la interfaz de usuario, desde los formularios de inicio de sesión hasta las tablas y gráficos de visualización de datos.

XAMPP:

Para facilitar el desarrollo y las pruebas del sistema web de manera local, se utilizó XAMPP. Este paquete de software proporcionó un entorno de servidor Apache, PHP y, en este caso, se configuró para trabajar con PostgreSQL. Esto permitió ejecutar y depurar la plataforma web en un entorno de escritorio sin la necesidad de contratar un servicio de hosting externo. XAMPP fue clave para el rápido ciclo de desarrollo y prueba antes de la implementación final.

C++:

Este lenguaje de programación fue empleado directamente en la configuración y programación del microcontrolador ESP32. Se utilizó C++ para escribir el código que controla la funcionalidad de los sensores (DHT11, sensor de peso con HX711), procesa sus lecturas y gestiona la comunicación (HTTP) para enviar los datos a la base de datos. Su eficiencia y control a bajo nivel fueron esenciales para la interacción directa con el hardware.

Python:

En este proyecto, Python fue configurado para establecer una conexión entre la base de datos (PostgreSQL) y el entorno de Arduino/ESP32, facilitando la recepción y el manejo de los datos provenientes de los sensores. Su flexibilidad y las robustas librerías de conexión a bases de datos permitieron una integración efectiva para el flujo de información, actuando como un intermediario o un procesador de datos adicional si fue necesario.

Windows:

Finalmente, como sistema operativo principal para el desarrollo, Windows proporcionó la plataforma fundamental donde se instalaron y ejecutaron todas las herramientas de desarrollo, los entornos de programación y las aplicaciones necesarias (IDE de Arduino, XAMPP, editores de código). Su amplia adopción y compatibilidad global facilitaron el proceso de diseño, codificación, prueba y depuración del software.

6) *Diagrama arquitectónico*

Fig. 5: Diagrama arquitectónico

Nota: fuente IA

En el sistema, los sensores instalados en el campo son los encargados de recolectar la información ambiental. Estos datos se transmiten vía Wi-Fi a la plataforma web, estructurada con

HTML y estilizada con Bootstrap, interactúa con la base de datos PostgreSQL que se encarga de almacenar toda la información capturada. Finalmente, estos datos son visualizados y accesibles a través de la misma plataforma web.

7) *Diagrama entidad-relación*

En el modelo entidad-relación se realiza un esquema que representa las tablas y los campos necesarios para guardar la información de forma organizada. En la figura se observan varias entidades como usuario, alertas, fincas, cultivo, pesos y temperatura_humedad. También se definen las relaciones entre estas tablas, lo cual es clave para lograr una buena normalización. Esto ayuda a mantener la coherencia de los datos, asegurando que las conexiones lógicas entre los registros no se pierdan.

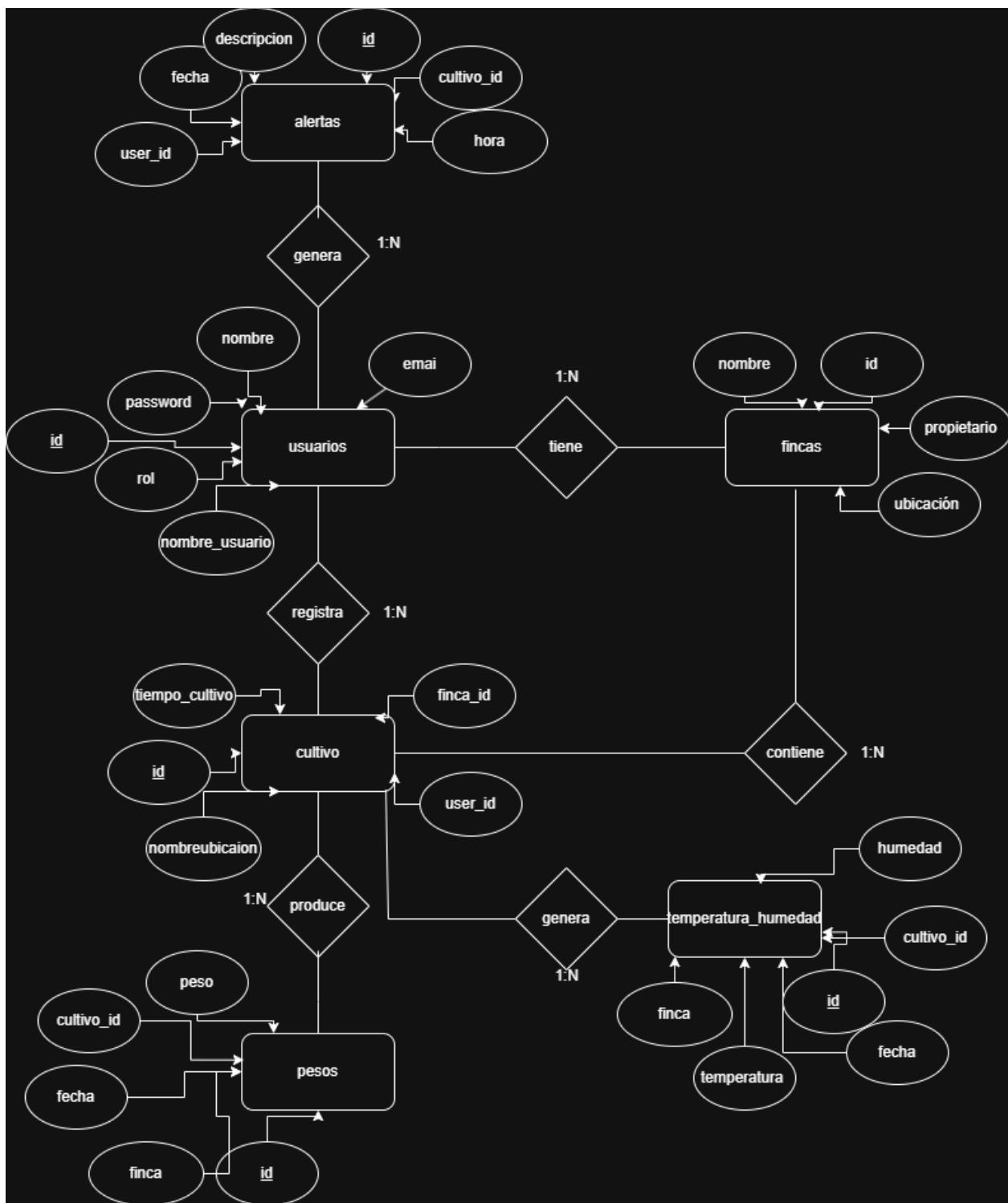


Fig. 6: Diagrama Entidad-Relación

Nota: fuente propia

8) *Base de datos*

Se diseñó la base de datos según los requisitos de almacenamiento y las necesidades de los usuarios al uso del sistema.

9) *Gestión de roles*

La puesta en marcha de los distintos roles de usuario se fundamentó en un análisis de los flujos de trabajo. A partir de la información recopilada, se definieron capacidades particulares dentro de la aplicación, las cuales se adaptan precisamente a los requerimientos de cada usuario. Los roles implementados son los siguientes:

- 1) Super-Administrador
- 2) Administrador
- 3) Usuario

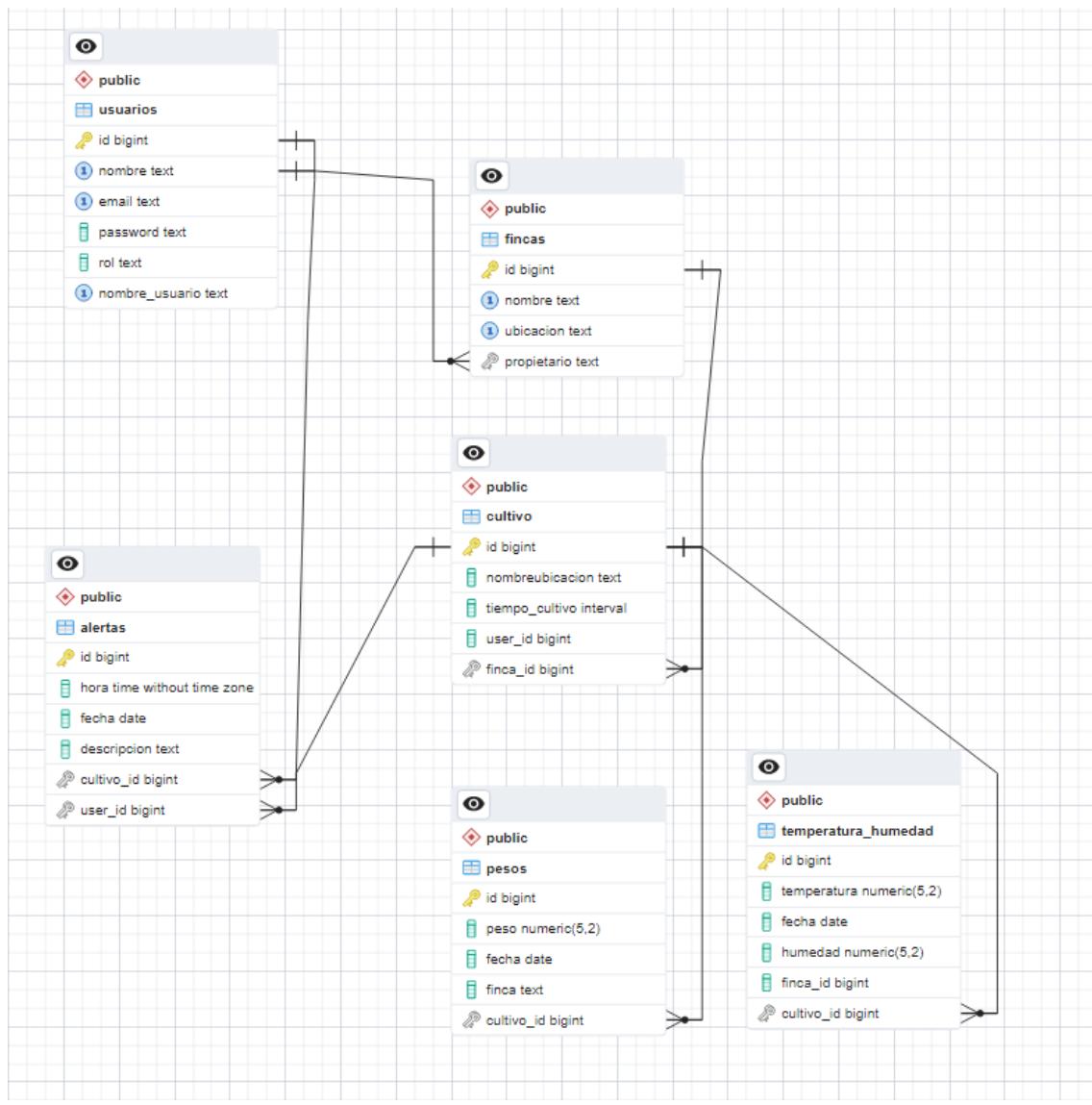


Fig. 7: Diagrama relacional

Nota: fuente propia

10) Conexión base de datos

Una vez lista la base de datos, se procede a conectarla a la página web mediante PHP, lo cual, por medio de código, permite obtener las credenciales necesarias para acceder a la base.

```
db_config.php
1  <?php
2  $dsn = "pgsql:host=localhost;port=5432;dbname=monitoreo_fincas;user=postgres;password=edil0312";
3  try {
4      $db = new PDO($dsn);
5      $db->setAttribute(PDO::ATTR_ERRMODE, PDO::ERRMODE_EXCEPTION);
6  } catch (PDOException $e) {
7      echo 'Connection failed: ' . $e->getMessage();
8  }
9 ?>
10
```

Fig. 8: Conexión base de datos

Nota: fuente propia

También se realizó la configuración para poder establecer una conexión entre sensores y base de datos

```
rduino_to_pg.py > ...
import serial
import psycopg2
import json

# Configuración del puerto serie
try:
    ser = serial.Serial('COM5', 9600, timeout=1) # Cambia 'COM5' según tu puerto
    print("Puerto serie abierto exitosamente.")
except serial.SerialException as e:
    print(f"Error al abrir el puerto serie: {e}")
    exit()

# Configuración de conexión a PostgreSQL
dsn = "host=localhost port=5432 dbname=monitoreo_fincas user=postgres password=mauro options=-c client_encoding=UTF8"
try:
    conn = psycopg2.connect(dsn)
    print("Conexión establecida con la base de datos.")
except psycopg2.Error as e:
    print(f"Error al conectar a la base de datos: {e}")
    ser.close()
    exit()

# Ciclo principal para leer datos y almacenarlos
try:
    while True:
        if ser.in_waiting > 0:
            raw_data = ser.readline().decode('utf-8', errors='ignore').strip()
            print(f"Datos recibidos: {raw_data}")

            try:
                data = json.loads(raw_data)
```

Fig. 9: Conexión base de datos-Sensores

Nota: fuente propia

c) Tercer objetivo

Inicialmente, se realizó la configuración y puesta en marcha exitosa de los sensores (DHT11 para temperatura y humedad, y el sensor de peso de 50 kg con módulo HX711) tanto de manera local como en un entorno de prototipo. Estas pruebas confirmaron la capacidad del sistema para obtener datos precisos y fiables, los cuales eran almacenados correctamente en la base de datos PostgreSQL.

Una vez validados los datos de prueba, se procedió con la implementación de la plataforma web, diseñada para la visualización intuitiva de la información. Durante el mes de febrero de 2025, se llevó a cabo la recolección continua de datos, y se verificó que la plataforma mostraba los resultados de manera esperada y accesible. El despliegue local del sistema permitió confirmar la correcta interacción entre los sensores y la interfaz de visualización.

La integración con las decisiones agronómicas se materializa a través de las siguientes funcionalidades de la plataforma:

Sistema de Alertas Parametrizables: La plataforma genera alertas automáticas cuando las variables ambientales (temperatura y humedad) se desvían de los rangos óptimos predefinidos para el cultivo de café. Estas notificaciones directas informan al administrador de la finca sobre condiciones potencialmente perjudiciales, permitiéndole reaccionar de manera oportuna ante situaciones críticas.

Visualización de Datos Históricos y Tendencias: Se implementaron gráficas interactivas que muestran la evolución histórica de la temperatura y la humedad. Esta funcionalidad permite al administrador identificar tendencias a largo plazo y patrones climáticos, facilitando la anticipación de escenarios y una mejor planificación de las labores agrícolas.

Soporte a la Toma de Decisiones: Aunque la decisión final recae en el administrador, la información presentada en la plataforma actúa como una herramienta de apoyo crucial. Por ejemplo, una alerta de baja humedad del suelo o una tendencia de sequía visualizada en los gráficos le brinda al agricultor la información necesaria para determinar el momento y la cantidad óptima de riego, o para evaluar la necesidad de medidas preventivas contra el estrés hídrico.

Monitoreo del Rendimiento de la Cosecha: El sistema incorpora la capacidad de registrar el peso de la cosecha utilizando el sensor de 50 kg. Esta funcionalidad es vital para evaluar cuantitativamente la productividad. Al comparar los volúmenes obtenidos en diferentes ciclos de cosecha (según la información proporcionada por el administrador, se observó un aumento en la producción por bultos promedio respecto a la cosecha anterior del sector de prueba), se confirma la efectividad del monitoreo en la optimización del rendimiento y la calidad del café. Esta evaluación directa del impacto en la producción valida que el proyecto ha funcionado y contribuye a la optimización general de la finca.

Iniciar Sesión



The image shows a login page with a light beige background. It features two input fields: one for 'Nombre de Usuario' (User Name) and one for 'Contraseña' (Password), both with placeholder text. Below these fields is a dark brown rectangular button with the word 'Ingresar' (Enter) in white. At the bottom of the page, there is a link labeled 'Registrarse' (Register) in a brown color.

Fig. 10: Login Pagina

Nota: fuente propia

En las siguientes gráficas se evidencia los resultados obtenidos de manera local donde se evidencia el funcionamiento de la página y sensores.

Gráfica de Temperaturas

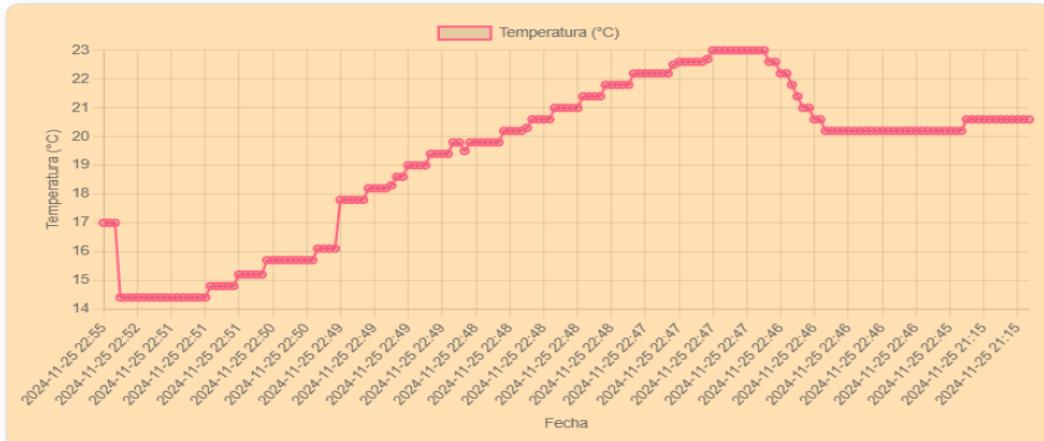


Fig. 11: Grafica temperaturas

Nota: fuente propia

Gráfica de Humedad

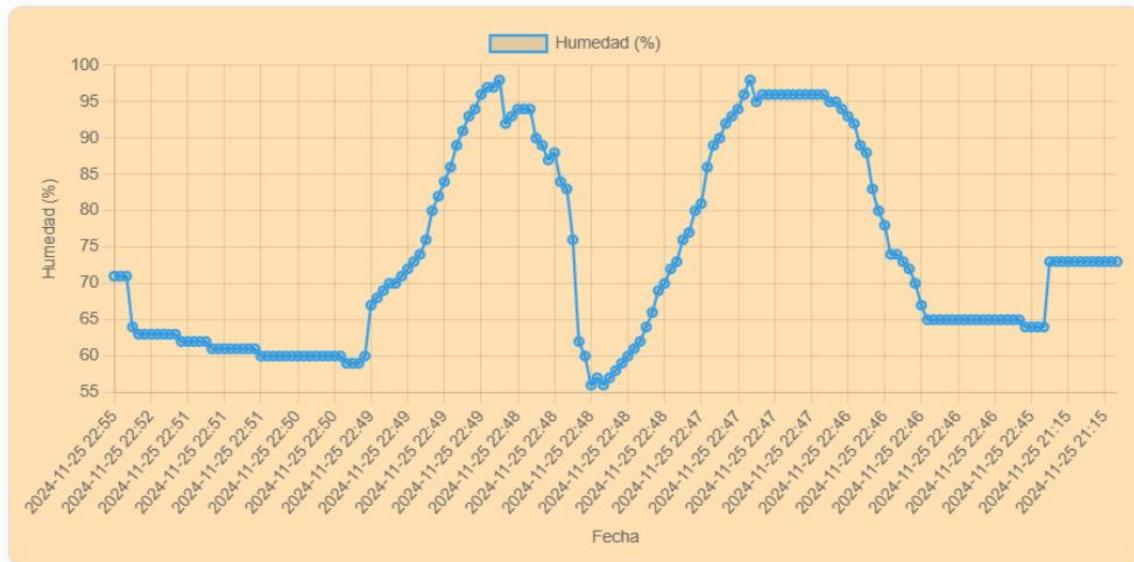




Fig. 13: Placa ESP32 con DHT11

Nota: fuente propia



Fig. 14: Evidencia fotográfica

Nota: fuente propia

1) Evaluación de resultados

Para obtener los datos se utilizó la placa ESP32 la cual sirve para establecer una conexión con el sensor DHT11 que es quien capturaba la temperatura, humedad y para obtener el peso el sensor GML670 y módulo Hx711. El cual cuenta con un Módulo de Adquisición y Transmisión de Datos (MATD) que se encarga de inicializar la lectura de sensores conectados al microcontrolador (Arduino) y gestionar el flujo de datos hacia el

servidor. Este módulo se activa mediante un script ejecutado desde la terminal de comandos (CMD) y permanece en ejecución de forma continua.

El módulo está desarrollado en Python y comunica los datos recolectados (peso, temperatura y humedad) a una base de datos mediante peticiones HTTP o conexión directa.

Este script se comporta como un servicio de monitoreo en tiempo real, permitiendo que la interfaz web visualice la información recolectada en intervalos definidos.

Tabla 8: Tabla temperaturas y humedad

Temperaturas (Últimos 10 registros)

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad (%)
2025-04-18 21:02:05.285347	15.2	95
2025-04-18 21:02:00.266013	15.2	95
2025-04-18 21:01:55.241264	15.2	95
2025-04-18 21:01:50.2164	15.2	95
2025-04-18 21:01:45.187894	15.2	95
2025-04-18 21:01:40.164627	15.2	95
2025-04-18 21:01:35.140396	15.2	95
2025-04-18 21:01:30.117076	15.2	95
2025-04-18 21:01:25.085153	15.2	95
2025-04-18 21:01:20.065294	15.2	95

También se le asignó una validación para alertar al usuario sobre posibles “heladas” o calor en exceso que puedan dañar al cultivo.

Alertas



Fig. 15: Alertas

Nota: fuente propia

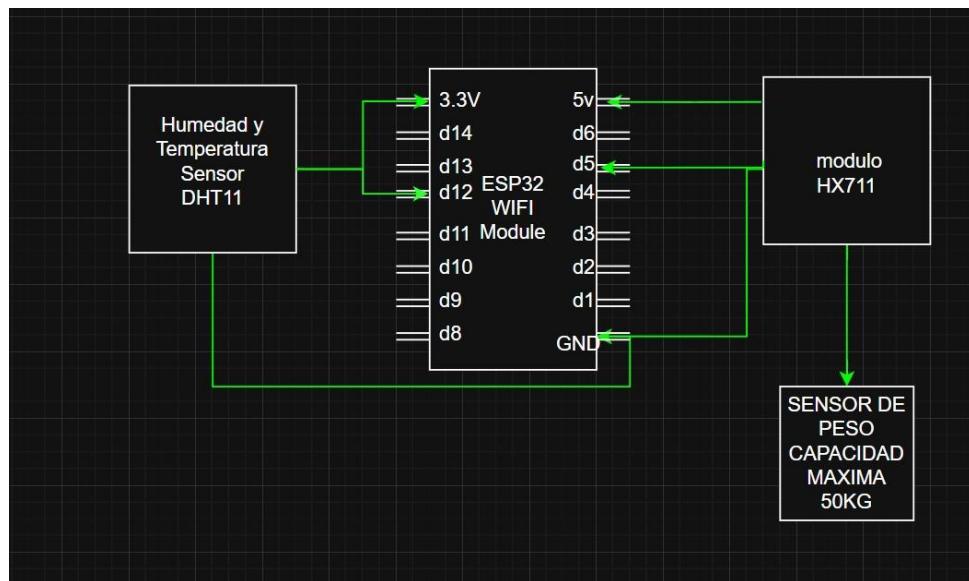


Fig. 16: Diagrama esquemático

Nota: fuente propia

Este diagrama esquemático ilustra un sistema electrónico para la adquisición de datos ambientales y de peso, centrado en un microcontrolador ESP32 con capacidades Wi-Fi. El sistema emplea un sensor DHT11 para medir la humedad y temperatura, conectado a los pines del ESP32, y un sensor de peso, cuya señal es amplificada por un módulo HX711 que controla y procesa los datos de los sensores, proporciona la energía necesaria a los componentes, y se espera que transmita los datos recopilados a través de Wi-Fi para su monitoreo remoto, permitiendo así la medición integrada de variables.

Los sensores tomaron mediciones y enviaron esa información cada 5 minutos. Este proceso se realizó durante el día. Todos los datos que los sensores registraron se guardaron en una base de datos, listos para ser analizados más tarde.

El sistema no solo genera alertas sobre condiciones ambientales fuera de rango (como se muestra en la Fig. 17), sino que también proporciona a los caficultores herramientas para la toma de decisiones. La plataforma web incluye gráficas históricas de temperatura y humedad (Figuras 18 y 19), que permiten a los usuarios identificar tendencias a largo plazo y anticipar posibles problemas.

Los resultados del análisis de datos muestran una mejora en la eficiencia de la producción y una disminución de los costos operativos. La eficiencia de la producción se midió comparando la cantidad de café cosechado por hectárea antes y después de la implementación del sistema. Se observó un aumento en la producción por bultos promedio a la anterior cosecha del sector elegido para la prueba. Los costos operativos se redujeron, principalmente a la reducción en la necesidad de mano de obra para el monitoreo manual de las condiciones del cultivo.

Los datos fueron tomados gracias a información del administrador de la finca el cual proporciona de manera verbal el aumento de producción.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación del sistema integral de monitoreo y control basado en tecnologías IoT en la finca cafetera Paltapamba del municipio de Consacá permitió validar el cumplimiento del objetivo general, centrado en apoyar la eficiencia de la producción cafetera y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

La investigación se llevó a cabo mediante la configuración y despliegue de una red de sensores (DHT11 para temperatura y humedad, HX711 para peso) en puntos estratégicos del cultivo. Durante un periodo de pruebas establecido (específicamente, en febrero de 2025), estos sensores capturaron y transmitieron datos cada 5 minutos a través del microcontrolador ESP32 y el protocolo HTTP. La plataforma web desarrollada (utilizando PHP, PostgreSQL, HTML, CSS, Bootstrap) visualizó estos datos en tiempo real y generó alertas parametrizadas cuando los valores excedían los umbrales óptimos. Este monitoreo constante evidenció cómo los caficultores pudieron fortalecer su capacidad de decisión al contar con información precisa sobre las condiciones ambientales y el peso de la cosecha. Por ejemplo, al recibir alertas de baja humedad, el administrador pudo tomar decisiones informadas sobre la necesidad y momento de riego, lo cual se traduce directamente en una mejor gestión del recurso hídrico y una supervisión más precisa del estado del cultivo, reduciendo pérdidas derivadas de decisiones empíricas o reactivas y alineándose con el objetivo de aumentar la eficiencia en la producción.

El análisis continuo de los datos recolectados y presentados en la plataforma web durante el periodo de pruebas demostró la capacidad del sistema para anticipar condiciones climáticas adversas. A través de la visualización de tendencias en las gráficas históricas de temperatura y humedad (como se muestra en Figuras 18 y 19), los caficultores pudieron prever, por ejemplo, descensos bruscos de temperatura o periodos de alta humedad. Esta funcionalidad de alertas tempranas (evidenciadas en la Fig. 22 del sistema) no solo mejoró la capacidad de respuesta ante eventos críticos, como heladas o sequías, sino que también promovió un uso más racional de los recursos, al evitar la aplicación excesiva o innecesaria de insumos. Este impacto directo en la

eficiencia del uso de recursos favorece la sostenibilidad ambiental de las prácticas agrícolas, objetivo clave de la investigación.

La metodología de desarrollo ágil (adaptación de SCRUM y KANBAN), que involucró al administrador de la finca como Product Owner, fue fundamental para garantizar que la plataforma web resultante contara con una interfaz intuitiva y una visualización gráfica de datos en tiempo real. Los resultados de las pruebas de usuario (si se hicieron, mencionadas o cómo se validó) confirmaron que la accesibilidad a la información técnica era óptima incluso para usuarios sin formación especializada. Esta facilidad de uso fomentó la apropiación tecnológica por parte de los caficultores, lo cual es crucial para la sostenibilidad y escalabilidad del sistema. La adopción de este enfoque tecnificado, evidenciada por el uso diario del sistema por parte del administrador, contribuye a una transformación cultural en el manejo del cultivo, migrando de prácticas tradicionales hacia un enfoque más basado en datos y sostenible.

La integración efectiva entre los sensores y la base de datos PostgreSQL, junto con la correcta visualización de los datos históricos y en tiempo real en la plataforma web, facilitó un seguimiento pormenorizado del comportamiento del cultivo. A través del análisis comparativo de los registros de peso de la cosecha (proporcionados verbalmente por el administrador y cotejados con ciclos anteriores), se identificó un aumento en la producción por bultos promedio en el sector elegido para la prueba. Este incremento en la productividad, sumado a la reducción en la necesidad de monitoreo manual (gracias a la automatización), evidenció una disminución de los costos operativos. Estos hallazgos demuestran que el sistema permite identificar patrones productivos y sirve de base para una planificación agrícola más eficiente, respondiendo directamente a la necesidad de optimizar cada ciclo de producción y a la reducción de costos operativos.

CONCLUSIONES

Se logró diseñar un sistema IoT funcional utilizando sensores para medir temperatura, humedad y peso, integrados con una tarjeta ESP32. Este diseño permite la recolección automatizada de datos relevantes para el cultivo del café, lo cual es crucial para una gestión precisa y eficiente de las condiciones ambientales del cultivo.

Se cumplió con el objetivo el cual permite procesar y visualizar la información recopilada por los sensores instalados en el entorno agrícola. Esta plataforma ofrece a los agricultores una herramienta eficiente y de fácil acceso para interpretar datos clave sobre su cultivo, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas. Gracias a la integración de gráficos, indicadores y reportes en tiempo real, se ha mejorado significativamente el control sobre las variables del entorno, contribuyendo así a una gestión más precisa y sostenible de los recursos agrícolas.

El análisis del sistema muestra que su implementación es viable tanto técnica como económicamente, ya que utiliza componentes de bajo costo y libre acceso. Además, su impacto en la productividad es positivo, al permitir un monitoreo continuo y preciso que mejora las condiciones de cultivo y, por tanto, el rendimiento del café.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de sensores adicionales, como los sensores de pH, con el fin de evaluar de manera más precisa la calidad del suelo y obtener datos clave para la toma de decisiones agronómicas. La incorporación de estos dispositivos permitirá un monitoreo más completo de las condiciones del terreno, lo que puede derivar en mejoras en el rendimiento de los cultivos. Asimismo, se sugiere integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares, que permitan dotar al sistema de una mayor autonomía energética y reducir su dependencia de fuentes convencionales, promoviendo así la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Por otro lado, la automatización de tareas agrícolas, como el riego controlado en función de parámetros previamente definidos, contribuirá a un uso más eficiente de los recursos hídricos y al incremento de la productividad.

Finalmente, se propone el desarrollo de una aplicación móvil que sirva como interfaz para la consulta y gestión de los datos recolectados por el sistema, facilitando el acceso a la información en tiempo real y mejorando significativamente la experiencia del usuario, especialmente para los productores que requieran tomar decisiones rápidas y fundamentadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Desarrollo de un prototipo en IoT para la sistematización de los parámetros que controlan la producción de café versión 1.0. Proyecto FCI 009-2021 de la Universidad de Guayaquil””. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/764eb921-4a91-4333-9858-8542f0604b11>
- [2] S. M. Vásquez García y M. A. [tutor Romay Ossio, “Automatización, control y monitoreo de un invernadero para cultivo hortícola en el marco de la agricultura urbana y periurbana en el Municipio de Viacha”, Tesis, 2017. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/16754>
- [3] J. Rivera Rosero, “Diseño e implementación de un sistema tecnológico para el monitoreo remoto de variables ambientales aplicados a cultivos de cafés especiales de la región del Cauca”, abr. 2023, Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/58066>
- [4] “<https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11253>”. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11253>
- [5] I. S. Ching, A. J. C. Rivero, R. S. López, y J. A. P. Díaz, “Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT”, *Rev. Cuba. Transform. Digit.*, vol. 1, núm. 1, Art. núm. 1, abr. 2020.
- [6] C. I. Belupú Amaya, “Propuesta de una plataforma de agricultura inteligente basada en IoT para el monitoreo de las condiciones climáticas del cultivo de banano”.
- [7] W. D. Urrea Garzon y J. D. Fagua Cortes, “Prototipo de aplicación web progresiva que almacena, interpreta y monitorea datos recolectados por sensores de PH, temperatura y humedad para análisis de un cultivo de fresa en la finca Tres esquinas, vereda Perico, Sibaté Cundinamarca.”, Thesis, Pregrado (Presencial), 2023. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/17611>
- [8] H. H. C. Hernández, “Sistema de información para el control de procesos en la producción, poscosecha y análisis sensorial de café especial”, *Rev. Nova*, vol. 1, pp. 88–95, dic. 2015, doi: 10.23850/25004476.190.
- [9] L. Rojas Estrada, “Sistema de sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana de Bogotá.”, may 2020, Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/33791>
- [10] Y. D. Angulo Rodríguez, “Desarrollo de la iniciativa CatiNar en zonas rurales de Nariño con automatización en sistema de riego, secador de café y vivero.”, 2022, Consultado: el 29 de

abril de 2024. [En línea]. Disponible en:

<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4535>

[11] Y. Ballesteros, “Tecnologías digitales: cómo mejoran los procesos en las fincas cafetaleras”, Perfect Daily Grind Español. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2021/02/17/tecnologias-digitales-como-mejoran-los-procesos-en-las-fincas-de-cafe/>

[12] “buenasPracticasCapitulo12.pdf”. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/buenasPracticasCapitulo12.pdf>

[13] “8Capitulo6.pdf”. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>

[14] V. H. R. Builes, Á. J. Robledo, y J. A. Pulgarín, “que intervienen en la producción del café en Colombia”.

[15] “Recomendaciones-almacenamiento.pdf”. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/c7f288147af14bd883dbde676899f1fd/Recomendaciones-almacenamiento.pdf>

[16] “4. Secado del café.pdf”. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/882/5/4.%20Secado%20del%20caf%C3%A9.pdf>

[17] “3. Factores que determinan productividad cafetal.pdf”. Consultado: el 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/4/3.%20Factores%20que%20determinan%20productividad%20cafetal.pdf>

[18] R. V. Vallejo, “seguir trabajando para tener una caficultura más productiva, unos mejores ingresos y unos menores costos, no podemos perder el foco, hacia allá tiene que seguir apuntando el”.

[19] Diseno, “¿Qué es y cómo funciona el sensor de peso?,” Byasa. [En línea]. Disponible en: <https://www.byasa.com.mx/que-es-y-como-funciona-el-sensor-de-peso/>.

[20] “Clima de Consacá: temperaturas, cuando visitar y precipitaciones.” [En línea]. Disponible en: <https://www.cuandovisitar.co/colombia/consaca-1141376/>.

[21] A. Khattab, A. Abdalgawad, y K. Yelmarthi, “Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture,” en *2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM)*. Giza, Egypt: IEEE, dic. 2016, pp. 201–204. doi: 10.1109/ICM.2016.7847850.

[22] “NUESTROS CAFICULTORES,” Café de Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://www.cafedecolombia.com/particulares/nuestros-caficultores/>.

[23] E. L. R. S.A.S, “Con la tecnología se incrementa la productividad del cultivo de café,” Diario La República. [En línea]. Disponible en: [Insertar URL aquí si está disponible de la fuente original, ya que faltaba en el texto proporcionado].

[24] “La demanda de café pone en jaque al medio ambiente.” [En línea]. Disponible en: <https://www.businessinsider.es/demanda-cafe-pone-jaque-medio-ambiente-981777>.

[25] “La demanda de café pone en jaque al medio ambiente.” [En línea]. Disponible en: <https://www.businessinsider.es/demanda-cafe-pone-jaque-medio-ambiente-981777>.

[26] I. Díaz, “Consejos para lograr la sostenibilidad de un proyecto a largo plazo,” Ecología Digital. [En línea]. Disponible en: <https://ecoliadigital.bio/como-lograr-que-un-proyecto-sea-sostenible-en-el-tiempo/>.

[27] “Desafíos de los caficultores en la agricultura | Agropinos.” [En línea]. Disponible en: <https://www.agropinos.com/blog/desafios-de-caficultores-en-agricultura>.

[28] [En línea]. Disponible en: <https://tesisymasters.es/metodo-cientifico/>.

[29] “EL METODO CIENTIFICO Y SUS ETAPAS.”

[30] C. Ortega, “¿Qué es la investigación cuantitativa?,” QuestionPro. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-investigacion-cuantitativa/>.

[31] P. Cadena-Iñiguez, R. Rendón-Medel, J. Aguilar-Ávila, E. Salinas-Cruz, F. del R. de la Cruz-Morales, y D. M. Sangerman-Jarquín, “Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales,” *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, vol. 8, núm. 7, pp. 1603–1617.

[32] Object, “PARADIGMAS EN LA INVESTIGACIÓN. ENFOQUE CUANTITATIVO Y CUALITATIVO.” [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/236413540>.

[33] A. F. S. Atehortúa y J. A. C. Barreneche, “APLICACIÓN WEB Y MÓVIL PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN ASOCIADA AL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN FINCAS COLOMBIANAS.”

[34] M. A. Hernandez, “Cómo la Recolección de Datos Beneficia a Los Caficultores,” Perfect Daily Grind Español. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2019/12/05/como-la-recoleccion-de-datos-beneficia-a-los-caficultores/>.

[35] “Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf.” [En línea]. Disponible en: <https://metodos-comunicacion.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf>.

[36] “Herramientas para la Toma de Decisiones en la Agricultura: Un Enfoque Basado en Datos”. Consultado: el 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com>

[37] “Precisión, Confiabilidad, Flexibilidad Y Escalabilidad,” FasterCapital. [En línea]. Disponible en: <https://fastercapital.com/keyword/precision,-confiabilidad,-flexibilidad-y-escalabilidad.html>.

[38] facebook, “Año cafetero 2024: tendencias y desafíos del mercado del café | Más Colombia.” [En línea]. Disponible en: <https://mascolombia.com/ano-cafetero-2024-tendencias-y-desafios/>.

[39] “Desafíos para la producción de café colombiano | EL ESPECTADOR.” [En línea]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/las-malas-condiciones-de-los-campesinos-otro-desafio-para-la-produccion-de-cafe-colombiano-article/>.

[40] “Nuestro municipio - Alcaldía Municipal de Consacá.” [En línea]. Disponible en: <http://www.consaca-narino.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

[41] “CARTILLA DIVULGATIVA 2020 OK.pdf.” [En línea]. Disponible en: <https://sired.udesar.edu.co/6518/1/CARTILLA%20DIVULGATIVA%202020%20OK.pdf>.

[42] C. Velasco, “Los Riesgos Cruciales en el Sistema de Monitoreo de Temperatura y Humedad en la Intervención de Datos,” Cercal Group Especialistas en la Industria Farmacéutica. [En línea]. Disponible en: <https://cercal.cl/envinculo/sistema-de-monitoreo-de-temperatura-y-humedad/>.

[43] PRISMAB, “Sensores inteligentes en la agricultura: una solución eficaz para mitigar la escasez de agua,” PRISMAB. [En línea]. Disponible en: <https://prismab.com/blog/sensores-inteligentes-en-la-agricultura-una-solucion-eficaz-para-mitigar-la-escasez-de-agua/>.

[44] Y. Ballesteros, “Fluctuaciones de temperatura: ¿Cómo inciden en la calidad del café?,” Perfect Daily Grind Español. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2021/03/24/fluctuaciones-de-temperatura-como-inciden-en-la-calidad-del-cafe/>.

[45] “Cómo utilizar el DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino.” [En línea]. Disponible en: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>.

[46] “Módulo HX711 Transmisor de celda de carga,” Naylamp Mechatronics - Perú. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>.

[47] J. P. T. Soto, J. de los S. S. Suárez, A. B. Rodríguez, y G. O. R. Cainaba, “Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual,” *Lámpsakos*, núm. 22, pp. 86–105, 2019.

[48] I. D. Moquillaza Vizarreta, “E-commerce de café natural basado en un sistema de recomendación,” Repos. Inst. - Ulima, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/19146>.

[49] conexionuec3, “El preocupante panorama del sector cafetero en Colombia frente al cambio climático,” Conexión Externado. [En línea]. Disponible en: <https://conexion.uexternado.edu.co/el-preocupante-panorama-del-sector-cafetero-en-colombia-frente-al-cambio-climatico/>.

[50] L. A. Maldonado, “La importancia de optimizar los recursos naturales en las fincas cafeteras,” Perfect Daily Grind Español. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2024/04/08/optimizar-recursos-naturales-fincas-cafeteras/>.

[51] M. F. Peña Peña, “Plan de implementación de un sistema de trazabilidad en la cadena de valor de los cafés sostenibles en Colombia mediante el uso de Blockchain,” 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12255>.

[52] J. G. Paz Josa, “Plan De Direccionamiento Estratégico Para La Empresa Comercializadora ‘Mindala S.A.S.’ De La Ciudad San Juan De Pasto Del Departamento De Nariño Para El Periodo 2024- 2028,” Strategic Direction Plan For The Marketing Company “Mindala S.A.S.” Of The City Of San Juan De Pasto Of The Department Of Nariño For The Period 2024-2028., ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umariana.edu.co/handle/20.500.14112/28018>.

[53] “Temperature and humidity sensors for intelligent agriculture.” [En línea]. Disponible en: <https://www.synox.io/en/smart-agriculture/temperature-humidity-sensor-agriculture/>.

[54] “Agricultura de Precisión: Tecnologías Clave para una Gestión Agrícola Eficiente y Sostenible - RawData.” [En línea]. Disponible en: <https://agrawdata.com/blog/agricultura-de-precision/>.

[55] “Sensores para agricultura de precisión: aplicaciones y beneficios.” [En línea]. Disponible en: <https://bloglatam.jacto.com/sensores-para-agricultura-de-precision/>.

[56] L. N. Bermúdez et al., “Humedad del suelo y evapotranspiración en tres densidades de siembra de café (*Coffea arabica* L.) en la estación experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas, Colombia),” *Acta Agronómica*, vol. 67, no. 3, pp. 402–414, Jul. 2018.

[57] W. R. Martinez y R. F. Escobar, “Precision agriculture in a coffee crop to monitoring its environmental variables,” *Global Journal of Research in Engineering*, vol. 19, no. J6, pp. 23–28, Dec. 2019.

[58] Administrador, “Monitoreo constante con sensores en la producción de café,” Smart Net - Conectividad Creativa. [En línea]. Disponible en: <https://www.smartnet.com.co/monitoreo-constante-con-iot-en-la-produccion-de-cafe/>.

[59] Cafetero, “Cosecha de café: descubre el fascinante proceso de recolección y encuentra el momento perfecto,” Café Cafetero. [En línea]. Disponible en: <https://cafecafetero.com/cosecha-de-cafe-descubre-el-fascinante-proceso-de-recolección-y-encuentra-el-momento-perfecto/>.

[60] J. Gómez, *Tecnologías emergentes en la agricultura: IoT y desarrollo rural*. Bogotá, Colombia: Editorial AgroTech, 2018.

[61] G. Fischer, J. Gómez, y M. García, *Efectos del cambio climático en el café colombiano*. Bogotá, Colombia: Centro de Estudios Agroclimáticos, 2021.

[62] J. Gómez, M. Rojas, y L. Martínez, *Desafíos del sector cafetero colombiano: mano de obra, costos y competitividad*. Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cafeteros, 2018.

[63] L. Rodríguez y D. Pérez, *Tecnologías emergentes para la agricultura sostenible: Aplicaciones de IoT en cultivos*. Medellín, Colombia: Editorial AgroDigital, 2019.

[64] J. Smith, *Automatización agrícola mediante IoT: Riego y control de temperatura*. Nueva York, EE. UU.: Editorial AgroTech, 2020.

[65] G. Fischer, J. Gómez, y M. García, *Tecnologías IoT para la producción cafetera: Monitoreo de cosechas y gestión de datos*. Bogotá, Colombia: Editorial AgroTech, 2021.

[66] FAO, *Technology and Innovation for Sustainable Agriculture*. FAO, 2019.

[67] R. M. L. McCool, “Applications of IoT in agriculture: Advances and challenges,” *Agricultural Systems*, vol. 176, pp. 1027-1036, 2020.

[68] J. R. Rojas et al., “Digital transformation in rural areas: A global perspective,” *Sustainable Development Journal*, vol. 21, pp. 113–122, 2020.

[69] C. Gómez, “El café y su importancia para la economía de Colombia,” *Revista Agroindustrial*, vol. 4, no. 1, pp. 20–27, 2021.

[70] A. M. García, *Agricultura en Colombia: Retos y oportunidades frente al cambio climático*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2018.

[71] G. García et al., *Tecnologías emergentes para la agricultura: IoT en el campo colombiano*. Bogotá, Colombia: Ediciones AgroTech, 2020.

[72] Federación Nacional de Cafeteros, *Informe de productividad y sostenibilidad del café en Colombia*. Bogotá, Colombia: FNC, 2023.

- [73] A. Hernández, “Desafíos y oportunidades para la caficultura colombiana,” *Revista de Investigación Agropecuaria*, vol. 11, no. 2, pp. 13–17, 2022.
- [74] J. Martínez, “Impacto de la variabilidad climática en la caficultura colombiana,” *Revista Climática y Agroambiental*, vol. 13, pp. 35-43, 2019.
- [75] M. Rodríguez y J. Pérez, *Plataformas tecnológicas en la caficultura: Monitoreo y análisis de datos*. Bogotá, Colombia: Editorial AgroInnovación, 2021.
- [77] A. Rivera, “IoT en la caficultura: Un cambio en la producción,” *Revista de Innovación y Desarrollo*, vol. 5, no. 2, pp. 51–58, 2022.
- [78] J. Fernández et al., *Tecnologías de control automático para la agricultura de precisión*. Madrid, España: Editorial AgroDigital, 2020.
- [79] L. Sánchez, “Plataformas web para la gestión agrícola: Una herramienta para la toma de decisiones en tiempo real,” *Revista Tecnología y Agricultura*, vol. 6, no. 1, pp. 45-50, 2021.
- [80] C. López et al., *Desarrollo local y transferencia tecnológica en el sector agrícola*. Lima, Perú: Editorial Desarrollo Rural, 2019.
- [81] M. Villanueva, “El impacto de la tecnología en la productividad agrícola,” *Revista de Economía Agrícola*, vol. 23, pp. 112-121, 2020.
- [82] G. Paredes et al., “Beneficios sociales y económicos del uso de tecnologías agrícolas en comunidades rurales,” *Revista de Desarrollo Sostenible*, vol. 17, no. 2, pp. 90-98, 2021.
- [83] A. Gómez et al., *Innovación agrícola en Colombia: Caso de estudio en el sector cafetero*. Bogotá, Colombia: Editorial Innovación y Sostenibilidad, 2022.



ENTREGA DE TRABAJO

San Juan de Pasto, 19/11/2025

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado **Sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IOT en el área de la producción en las fincas cafeteras** presentado por los autores **Edilson Herney Montilla Enríquez y Andrés Mauricio Acosta Uscategui**, del Programa de ingeniería de Sistemas al correo electrónico trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

Milton Vladimir Cabrera Álvarez
CC: 98.138.281
Ingeniería de sistemas
Cel:316 709 1768
mvcabrera@unicesmag.edu.co



INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Edilson Herney Montilla Enríquez	Documento de identidad: 1193385601
Correo electrónico: edilsonmontilla5@gmail.com	Número de contacto: 3146860193
Nombres y apellidos del autor: Andrés Mauricio Acosta Uscategui	Documento de identidad: 1004342808
Correo electrónico: mauriacosta2012@gmail.com	Número de contacto: 3205210507
Nombres y apellidos del asesor: Milton Vladimir Cabrera Álvarez	Documento de identidad: 98138281
Correo electrónico: mvcabrera@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3167091768
Título del trabajo de grado: Sistema de monitoreo automatizado con tecnologías IOT en el área de la producción en las fincas cafeteras	
Facultad y Programa Académico: Ingeniera de sistemas	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.



- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 19 días del mes de Noviembre del año 2025.

 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor: Andres Mauricio Acosta Uscategui	Nombre del autor: Edilson Herney Montilla Enríquez
 Firma del asesor	Nombre del asesor: Milton Vladimir Cabrera Álvarez