

**Sistema de monitoreo basado en IOT para la replicabilidad de datos
en los cultivos de café en el municipio de Taminango.**

Jazmín Selene Vallejo Botina, vallejojazmin38@gmail.com

Diana Alexandra Araujo Paz, araujodiana2710@gmail.com

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Pasto – Nariño

2024

**Sistema de monitoreo basado en IOT para la replicabilidad de datos
en los cultivos de café en el municipio de Taminango.**

Jazmín Selene Vallejo Botina, vallejojazmin38@gmail.com

Diana Alexandra Araujo Paz, araujodiana2710@gmail.com

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de sistemas

Asesor:

Mag. Joan Carlos Ayala Benavidez

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Pasto – Nariño

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado N°1

Firma del jurado N°2

San Juan de Pasto, diciembre de 2024

NOTA DE EXCLUSIÓN

El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusiva responsabilidad de las autoras y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Dios y a la Virgen, por todas las bendiciones otorgadas, por ser nuestro refugio en los momentos difíciles, por su amor incondicional y por guiarnos en cada paso del camino. Por darnos fuerza cuando nos sentíamos débiles y por bendecirnos siempre con oportunidades que nunca hubiéramos imaginado.

A nuestra familia, por ser nuestro apoyo y la fuente de nuestra fortaleza, les damos las gracias por estar siempre ahí para nosotras. Desde el primer día, ustedes han sido nuestros mayores admiradores, alentándonos, apoyándonos y celebrando cada logro con nosotros. Sin su amor incondicional y su sacrificio, este logro no sería posible.

A el programa de ingeniería de sistemas de la universidad CESMAG, a todos los docentes y la comunidad educativa, por brindarnos el espacio y compartir los conocimientos necesarios para formarnos como profesionales.

Queremos expresar un agradecimiento especial a nuestro asesor, Mg. Johan Ayala, por su valiosa orientación y apoyo a lo largo de todo nuestro trabajo de grado. También extendemos nuestro reconocimiento al Mg. Héctor Mora, cuya dedicación y apoyo incondicional han sido fundamentales en nuestro proceso formativo. Su experiencia, sabiduría y compromiso con nuestra educación han sido esenciales para alcanzar este logro. Agradecemos su paciencia y la inspiración que nos brindó para dar lo mejor de nosotros mismos, así como su guía en cada etapa de este proceso.

Por último, agradecemos especialmente a nuestro compañero Felipe Rivas, por compartir generosamente sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de este tiempo. Su disposición para ayudarnos y su compromiso con nuestro aprendizaje han sido un valioso aporte en cada etapa de este proceso. Su apoyo constante no solo nos brindó herramientas para superar desafíos, sino que también nos motivó a seguir adelante con confianza. Apreciamos profundamente su dedicación y camaradería, las cuales fueron fundamentales para el logro de este proyecto.

Jazmín Selene Vallejo Botina

Diana Alexandra Araujo Paz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida, por la salud, por el amor y protección que me brindó en los momentos difíciles, pero sobre todo por el privilegio de nacer y crecer en una familia amorosa, comprensiva e incondicional, quienes siempre me apoyaron para cumplir este sueño.

Quiero dedicar este trabajo de grado a mi madre Ana Paz por todo su amor, su ejemplo, consejos y por demostrarme que sin importar las circunstancias se puede salir adelante. De manera muy especial a mis abuelos, Manuel Paz y Digna Viveros, por ser el pilar fundamental de mi vida y mi más grande apoyo incondicional de vida por sus enseñanzas de humildad y amor incondicional por estar presente en cualquier circunstancia y situación. Su apoyo constante ha sido un soporte fundamental tanto en los momentos difíciles como en los más felices.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tío Milton, por su apoyo incondicional y por confiar en mí, siempre creyendo en mi capacidad para convertirme en una mejor persona. Asimismo, agradezco profundamente a mis tíos Mirta, Darwin Lener y Milady, quienes en todo momento me brindaron su aliento, fuerza y apoyo. Nunca me dejaron sola, y su presencia fue fundamental en cada paso de este camino.

A mi hermano Eduin Fernández, quien ha sido mi mayor inspiración y mi principal motor para seguir adelante. Su presencia me impulsa cada día a esforzarme, con la esperanza de poder ayudarlo en el futuro para que también logre su desarrollo personal. Su apoyo y motivación han sido esenciales en este proceso.

Por último, dedico este trabajo a mi amiga y compañera Jazmín Vallejo, con quien recorrí este hermoso camino lleno de experiencias compartidas. Agradezco de todo corazón su apoyo incondicional, su generosidad, su respaldo y, sobre todo, su valiosa amistad. Cada momento vivido juntas en esta etapa ha sido significativo, y siempre llevaré con cariño esos recuerdos.

Diana Alexandra Araujo Paz

DEDICATORIA

Este proyecto de grado, fruto de un arduo trabajo investigativo se lo dedico principalmente a Dios y la Virgen, por la vida que me otorgó, por las bendiciones que me ha dado y por las personas que ha puesto a mi lado que han sido de gran ayuda. Cada paso y cada tropiezo que he tenido me ha permitido forjar un camino de aprendizaje y reflexión que ahora me permiten sentirme orgulloso en esta etapa de la vida.

Dedico este proyecto de grado a mis padres, Rita del Rosario Botina Anganoy y Luis Fernando Vallejo quienes han estado presentes a lo largo de este camino y me han dado su apoyo incondicional. Su amor, paciencia y aliento han sido fundamentales en cada paso que he dado. Gracias por estar presente. Este logro es también de ustedes.

A Diana Araujo, quien me ha acompañado desde el inicio de esta carrera. Su apoyo inquebrantable, sus palabras de aliento y su amistad han sido un gran aliciente en todo este camino. Gracias por compartir este proceso conmigo, siempre recordaré con gran afecto los días en los que trabajamos sin descanso por cumplir con nuestros deberes buscando ser cada vez mejores y alcanzar nuestras metas.

Agradezco a todas las personas que, de una forma u otra, contribuyeron a la realización de este trabajo. A los docentes, por su dedicación, orientación y sabiduría impartida a lo largo de mi formación y a todos los que me dejaron importantes lecciones que recordaré por siempre.

Jazmín Selene Vallejo Botina

RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO R.A.E

Facultad	Ingeniería
Programa	Ingeniería de Sistemas
Fecha de elaboración	31 de octubre de 2024
Autores de la investigación	Diana Alexandra Araujo Paz Jazmín Selene Vallejo Botina
Director de la investigación	Joan Carlos Ayala Benavidez
Título de la investigación	SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN IOT PARA LA REPLICABILIDAD DE DATOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE TAMINANGO.

PALABRAS CLAVE

Café, aplicativo web, Iot, Replicabilidad de datos, Análisis de suelo

DESCRIPCIÓN

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad abordar los desafíos encontrados en la replicabilidad y análisis del suelo en los cultivos de café del municipio de Taminango. El proyecto surgió al observar que los productores de café de Taminango tienen dificultades para mantener una calidad consistente en sus cosechas año tras año. Factores como las condiciones climáticas, la variabilidad en las prácticas agrícolas, la falta de acceso a tecnología y conocimientos actualizados contribuyen a esta inconsistencia. Por consiguiente, se desarrolló un aplicativo específico que permitió no solo la replicabilidad de los cultivos, sino que también graficas con mayor exactitud en gestión de datos. La integración de técnicas de IOT y MQTT representó un avance significativo, permitiendo transformar conjuntos de datos de alta dimensión en espacios más manejables y facilitando la toma de decisiones basadas en información confiable.

CONTENIDO

Capítulo 1: En este capítulo se describe un proyecto de investigación centrado en la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT para mejorar la producción de café en el municipio de Taminango. Se aborda la problemática de la falta de datos sobre las condiciones del suelo y el proceso de cultivo, lo que afecta la calidad y competitividad del café. El objetivo principal es desarrollar un sistema que permita la recopilación y visualización de datos ambientales en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas por parte de los agricultores. Se justifica la importancia del proyecto por su relevancia económica y cultural en la región, y se detalla la viabilidad operativa, técnica y económica del mismo, enfocándose en tres fincas específicas durante un año de investigación.

Capítulo 2: En este capítulo se expone el marco teórico de la investigación, acompañado de una revisión de antecedentes internacionales, nacionales y regionales que guardan estrecha relación con el tema en cuestión. Estos antecedentes, encontrados durante el proceso de

investigación, constituyeron una base sobre la cual se proporcionan un contexto significativo para su desarrollo. Además de la descripción de los supuestos teóricos se hace la definición de las variables nominales y operativas de investigación y la formulación de hipótesis.

Capítulo 3: El capítulo presenta un enfoque detallado sobre un estudio cuasiexperimental que investiga la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT en cultivos de café. Se fundamenta en el paradigma positivista y utiliza un enfoque cuantitativo para recoger y analizar datos sobre variables como la humedad y temperatura del suelo. A través de técnicas de recolección como la observación directa con sensores y encuestas a agricultores, se busca validar y asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Además, se describe el diseño de investigación, la población y muestra, así como la importancia de la validez interna en los instrumentos utilizados para garantizar que los datos reflejen con precisión la realidad del contexto agrícola estudiado.

Capítulo 4: En este capítulo, se detalla cómo se lograron los objetivos de la investigación utilizando la metodología SCRUM. Para el primer objetivo, se recolecto información para dar solución a la problemática. Respecto al segundo objetivo se desarrolló el sistema para que nos permita la visualización de los datos recolectados en tiempo real mediante una dashboard Finalmente, para cumplir con el tercer objetivo, se evaluó la disponibilidad y la cantidad de datos que se obtuvo mediante el sistema de monitoreo.

Capítulo 5: Se realiza el análisis y discusión de resultados teniendo en cuenta el cumplimiento de los objetivos con base en el análisis de las técnicas de modelado aplicadas, el análisis de usabilidad y funcionalidad del aplicativo web y con ello determinar el cumplimiento o incumplimiento de la hipótesis de investigación.

Conclusiones: Se presentan todas las conclusiones obtenidas al desarrollar el aplicativo Web para la replicabilidad y recopilación de datos del cultivo del cultivo de café.

Recomendaciones: Se presentan las sugerencias y recomendaciones futuras sobre el proyecto investigativo y del aplicativo Web para la replicabilidad y recopilación de datos del cultivo de café.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
I. PROBLEMA DE INVESTIGACION	19
1) Objeto o tema de investigación.	19
2) Línea de investigación.....	19
3) Sublínea de investigación.....	19
4) Planteamiento del problema	19
5) Formulación del problema.	20
6) Objetivos.	21
a) General	21
b) Específicos	21
7) Justificación.....	21
8) Delimitación.....	22
9) Viabilidad.....	23
a) Operativa	23
a) Técnica	23
b) Económica.....	23
II. MARCO TEORICO	24
1) Antecedentes	24
a) Internacionales.....	24
b) Nacionales	28
c) Regionales	31
2) Supuestos Teóricos de la Investigación.....	35

a) Internet de las cosas.....	35
b) ESP32	36
c) Monitoreo	37
d) MQTT.....	37
e) Dashboard.....	37
f)CaféenNariño:.....	37
g) Cultivos en el municipio de Taminango.....	38
h) Replicabilidad de datos	38
i)Sensor.....	338
j)MQTTenaplicacionesIoT	39
k) Daros recopilados en el dashboard.....	39
l)Comunicacionesinalámbricas.....	40
m)Wifi	40
n) Angular.....	41
o) Sensor de temperatura	41
p) MYSQL.....	41
q) Temperatura.....	42
r)Humedad	42
s) Nutrientes del Suelo	42
t)Análisisdelossuelos	43
u) Cambios Climáticos	43
3) Variables de estudio	43
a) Definición nominal de las variables.....	43
b) Definición Operativa de las Variables.....	46
4) Formulación de hipótesis	47

1) Hipótesis de investigación.....	47
III. METODOLOGÍA.....	48
1) Paradigma.....	48
2) Enfoque.	48
3) Método.	48
6) Tipo de Investigación.....	48
7) Diseño de Investigación.	49
8) Población.....	49
9) Muestra.....	49
10) Técnicas de recolección de la información.....	49
11) Validez de las técnicas de recolección de información	50
12) Confiabilidad de las técnicas de recolección de la información.....	50
13) Instrumentos de técnicas de recolección.....	51
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	52
1) Recopilación de la información del proceso de cultivo de café.....	52
2) Desarrollo del sistema.	53
3) Metodología Aplicada.	53
4) Tecnologías y marcas registradas.....	57
5) Diagrama Arquitectónico.	59
6) Diagrama de Paquetes	60
7) Diagrama entidad- relación.	60
8) Base de datos.....	61
9) Gestión de roles.....	61
10) Componentes Técnicos.....	62
11) Desarrollo API.....	62

12)	Procesos	62
13)	Desarrollo e integración de la API y Plataforma web para la visualización de datos. 63	
14)	Prueba de Campo API.	63
15)	Evaluación de resultados	69
V.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	72

LISTA DE TABLAS

TABLA I. DEFINICION NOMINAL DE LAS VARIABLES.....	44
TABLA II. VARIABLES INDEPENDIENTES DE ESTUDIO.....	45
TABLA III. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES.....	46
TABLA. IV.METODOLOGÍA SCRUM	54
TABLA V. MODULO USUARIO.....	54
TABLA VI. MÓDULO ALERTA.....	55
TABLA VII. MÓDULO COSECHA	55
TABLA VIII. MÓDULO LECTURA SENSOR.....	55
TABLA IX. MÓDULO SENSOR	56
TABLA X. MODULO FÍNCA.....	56
TABLA XI. MÓDULO USUARIO ALERTA.....	56
TABLA XII.MODULO VARIEDAD DE CAFÉ.....	57
TABLA XIII. MÓDULO CULTIVO	57

LISTA DE FIGURAS

Fig 1: Internet de las cosas.....	36
Fig 2: ESP2 (Entorno de Desarrollo Integrado).....	36
Fig 3: Producción agrícola del Municipio de Taminango	38
Fig. 4: Ejemplo de One Tandem de como ordenar la información en nuestro dashboard de métricas	39
Fig.5: Wifi.....	40
Fig.6:MySQL.....	41
Fig.7: Diagrama Arquitectónico	59
Fig.8: Diagrama de Paquetes	60
Fig. 9: Gestión de roles	62
Fig.10: Solicitud de Post.....	64
Fig. 11: Prueba con RENDER	64
Fig. 12: Enpoints de Api	65
Fig. 13: Lanzamiento en puerto 4200	65
Fig. 14: Home	66
Fig.15: Grafica de resultados de Temperatura.....	66
Fig. 16: Grafica de resultados de humedad de Ambiente	67
Fig.17:Grafica de resultados de humedad del suelo	67
Fig. 18: Registro fotográfico 1.....	68
Fig. 19: Registro fotográfico 2.....	69
Fig. 20: Publicación de datos MQTT.....	69
Fig.21:Diagrama esquemático	70

ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionario. Encuesta de recolección de información.	82
---	----

INTRODUCCIÓN

La producción de café es una parte fundamental de la economía y la cultura en muchas regiones, y el municipio de Taminango en Nariño. Sin embargo, en la búsqueda constante de mejorar la calidad y la productividad de los cultivos de café, surgen desafíos que requieren soluciones innovadoras y tecnológicas. Uno de estos desafíos clave es la falta de acceso a datos precisos y actualizados sobre las condiciones ambientales y agrícolas en tiempo real, así como la ausencia de un registro de la calidad del suelo.

Desde el momento de la siembra hasta la calidad del suelo, la Agricultura Inteligente es capaz de aportar información y actuar estratégicamente en todas las fases de la siembra de los cultivos. Al aplicar estos datos con IoT, los agricultores pueden automatizar aún más sus procesos, tener un mayor control sobre los cultivos y combinar sus herramientas agrícolas de manera más eficiente.

Actualmente hay sistemas en el mercado que no sólo realizan funciones programadas, sino que resaltan puntos de los cultivos que pueden mejorarse o están en peligro. En otras palabras, la tecnología y el IoT en la agricultura se han convertido en un brazo directo del productor rural en la gestión de sus tierras. [1]

En este contexto, la implementación de un sistema de monitoreo basado en Internet de las cosas (IoT) emerge como una solución prometedora. Este sistema ofrece la capacidad de recopilar datos en tiempo real de manera eficiente y precisa, lo que permite a los agricultores tomar decisiones más informadas y estratégicas. Además, la capacidad de establecer un registro de la calidad del suelo brinda la oportunidad de optimizar los métodos de cultivo y mejorar la calidad de los granos de café.

Aquí exploraremos cómo un sistema de monitoreo basado en IoT puede desempeñar un papel fundamental en la replicabilidad de datos para los cultivos de café en el municipio de Taminango. Analizaremos cómo esta tecnología puede abordar los desafíos existentes y contribuir a la mejora sostenible de la producción de café en la región, promoviendo así un futuro más prometedor para los agricultores locales y sus comunidades.

- **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

1) *Objeto o tema de investigación.*

Implementación de un Sistema de Monitoreo para la replicabilidad de datos basado en IoT para los Cultivos de Café en el Municipio de Taminango.

2) *Línea de investigación.*

Lenguajes de Programación, se profundiza en el fortalecimiento y transferencia del dominio de lenguaje de programación, ya que se utilizarán diferentes lenguajes de programación para construir las diferentes soluciones informáticas, entre ellas la construcción de una aplicación web, un sistema de telecomunicaciones en tiempo real y un sistema embebido.

3) *Sublínea de investigación.*

La agricultura inteligente también conocida como agricultura digital se define principalmente en un cambio en la manera de trabajar los cultivos implicando el uso de tecnología como IoT, robótica, sensores entre otros con el objetivo de aumentar tanto la calidad como la cantidad de los productos agrícolas optimizando al mismo tiempo el trabajo humano como también los recursos y garantizando mejores resultados posibles. [2]

4) *Planteamiento del problema*

la producción de café en la región de Nariño, se enfrentan desafíos que afectan su competitividad, ya que el proceso no es eficiente y no se logra la uniformidad ni la conservación adecuada de los granos de café recolectados, lo que afecta la calidad [1]. Actualmente, en el municipio de Taminango, no se cuentan con registros de la calidad del suelo, lo que dificulta los análisis de producción y la replicación de la calidad de café en las fincas cafeteras. Esto se debe a la falta de mediciones y datos sobre las condiciones del terreno, y los procedimientos se llevan a cabo de manera artesanal por parte de los caficultores, lo que resulta en resultados aleatorios.

En el ciclo productivo del café se enfrentan diferentes pérdidas de la materia prima en las etapas iniciales, por ejemplo, es notorio cuando se plantan las semillas y se analiza el porcentaje de germinación. También, cuando se trasplantan las chapolas y se contabilizan las pérdidas de plantas con problemas de raíz.

Si bien los productores tienen claridad sobre esta situación y han aprendido con los años a manejarla, en el resto de la cadena de valor no se ha visibilizado lo suficiente. Los riesgos que se corren son altos y las pérdidas pueden impactar directamente en la sostenibilidad económica de las fincas y los caficultores. [3]

Las pérdidas por falta de cortadores pasan factura en la calidad y en el precio porque se recolecta a destiempo y con distintos grados de maduración. Por ejemplo, el grano pintón al ser más liviano que el rojo, repercute en pérdidas por peso. En este contexto, es evidente que se producen diversas reacciones químicas, generando una variedad de productos que están influenciados por numerosas variables internas y externas. [4] Esto significa que se requiere recopilar y procesar una gran cantidad de datos para desarrollar un sistema inteligente que permita un control más efectivo del proceso. La falta de información en tiempo real sobre el estado de los cultivos dificulta la monitorización y la gestión de alertas tempranas.

La integración de sensores para medir diversas variables ambientales, tanto físicas como químicas, junto con el uso de plataformas de hardware y software, sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, ha contribuido significativamente a la comprensión de fenómenos complejos. Esto ha permitido el crecimiento de la industria en diversas áreas, especialmente en el sector agrícola.

5) *Formulación del problema.*

¿Cómo puede un sistema de monitoreo basado en IoT apoyar los procesos productivos de café en el municipio de Taminango?

6) *Objetivos.*

a) *General*

Implementar un sistema de monitoreo basado en Internet de las cosas (IoT), para la recopilación de datos ambientales y agrícolas en tiempo real, estableciendo un registro de variables en tiempo real, que permita mejorar la calidad del monitoreo de los cultivos de café en el municipio de Taminango, Nariño.

b) *Específicos*

- Adquirir información del proceso del cultivo de café para realizar un sistema de monitoreo basado en IoT para la replicabilidad de datos.
- Desarrollar un sistema que permita visualizar la medición de las variables en tiempo real y los históricos de medición.
- Evaluar la disponibilidad y cantidad de datos entregada por el sistema de monitoreo para la medición de la replicabilidad mediante el coeficiente de ganancia de información.

7) *Justificación.*

El municipio de Taminango ocupa un lugar destacado entre los 41 productores de café en el departamento de Nariño [5], siendo uno de los pilares fundamentales de su economía. La producción de café no solo es una actividad económica de gran relevancia, sino que también desempeña un papel crucial en el sustento de numerosas familias en la región. La industria de café nariñense no solo genera ingresos para las familias locales, sino que también contribuye de manera significativa a la creación de empleo en el municipio.

La producción de café en Taminango no solo es un medio de subsistencia para sus habitantes, sino que también representa una tradición arraigada en la cultura local. La dedicación y el esfuerzo de los agricultores de café son un reflejo del compromiso de la comunidad con esta actividad. [3].

Este sistema en tiempo real puede ayudar a los agricultores a adaptarse mejor a estas condiciones cambiantes, permitiendo ajustes rápidos en la gestión de la replicabilidad en los diferentes cultivos de café. Esto permite identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de mejores prácticas.

Se puede concluir que los procesos de la cadena productiva del café, son muy complejos, involucran muchos factores que además son influenciados por diversas condiciones que al final serán determinantes para la calidad del café. Todos estos factores y condiciones conforman un conjunto de datos, de los cuales en su mayor parte no se conoce su comportamiento y mucho menos las correlaciones que pueden existir entre ellos debido a que los caficultores realizan las actividades pertinentes de manera artesanal sin el apoyo de sistemas tecnológicos que pudieran contribuir a la captura, almacenamiento y procesamiento de esa información. [6]

El uso de MQTT servirá para diseñar la API de comunicación en un sistema de monitoreo de cultivos de café en Taminango, este ofrece eficiencia, confiabilidad, escalabilidad y seguridad, lo que lo convierte en una elección lógica y justificable para facilitar la transmisión de variables de medición en tiempo real en esta aplicación agrícola crítica.[44]

La calidad del café es un elemento de suma importancia para su aceptación y éxito en el mercado. Con el objetivo de elevar esta calidad y garantizar un producto excepcional, se ha decidido implementar tecnología IoT (Internet de las cosas) en una finca cafetalera en el municipio de Taminango.

En última instancia, la implementación de tecnología IoT en la producción de café en Taminango es un paso significativo hacia la mejora de la calidad del producto y la sostenibilidad de esta importante industria. [43].

8) *Delimitación.*

Esta investigación se llevará a cabo en el municipio de Taminango, ubicado en el departamento de Nariño. El estudio se enfocará exclusivamente en tres fincas que han brindado acceso libre a sus recursos y colaboración por parte de sus propietarios, y en las cuales se cultiva café. El período de investigación abarcará un año, desde agosto de 2023 hasta 2024.

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizarán encuestas presenciales que serán aplicadas a los cultivadores de café en estas fincas.

El enfoque de la investigación se centrará en el impacto de la agricultura en el municipio de Taminango,[31] específicamente en la replicabilidad de variables de los cultivos de café. [7].

9) *Viabilidad.*

a) *Operativa*

Se cuenta con el apoyo de Héctor Mora y Yohan Ayala, docentes e ingenieros de sistemas con experiencia en programación e IOT de la Universidad CESMAG.

a) *Técnica*

La investigación es viable técnicamente ya que se cuenta con los conocimientos necesarios y la implementación de tecnología que aportan escalabilidad, seguridad y rendimiento para este desarrollo, identificando los diferentes roles para desarrollar la herramienta de trabajo se tiene en cuenta; un sistema operativo(Ubuntu), (Final De Carrera et al., 2012) patrones de diseño (Arquitectura orión), servidor web, lenguaje de programación(JavaScript), Framework, motor de base de datos, API(GraphQL), lenguaje de programación.

b) *Económica*

El proyecto de investigación es viable económicamente debido a que los recursos y herramientas para su desarrollo son asequibles presupuestalmente y serán asumidos por los integrantes de la investigación que está conformado por Jazmín Selene Vallejo y Diana Alexandra Araujo Paz estudiantes de la Universidad CESMAG

II. MARCO TEORICO

I) Antecedentes

a) Internacionales

En el campo de la tecnología IoT junto a la agronomía, se han realizado varias investigaciones en diferentes países han abordado apoyarse y trabajar con IoT para la cultivación de café de calidad. Un estudio llevado a cabo por Aldi Raharja (2016) regresó a Indonesia después de dos años de trabajar como geofísico en Australia. Decidió cambiar su carrera profesional y convertirse en empresario abriendo una cafetería en su ciudad natal, Bandung. “En aquel entonces el café local estaba ganando popularidad. Obtuve granos de café de productores locales en Java Occidental”, dijo Raharja a KrASIA.

En el camino, notó que la calidad de los granos de café no era consistente. A menudo, la calidad bajaba cuando hacía pedidos repetidos, incluso si el lote inicial era bueno. “Cuando pregunté a los productores, dijeron que el frijol pasó por el mismo proceso de producción, entonces no sabían por qué el resultado era diferente. Como la producción se hacía manualmente, no había datos ni estándares definidos sobre la calidad de los granos”.

Para comprender el proceso de producción del café, Raharja pasó varios meses trabajando en una plantación de café con agricultores locales. Descubrió que no existían estándares o procesos de calidad para crear coherencia en el resultado. Creía que la única solución era crear nuevos métodos para registrar cada paso de la producción y monitorear todo el sistema de producción.

Raharja se inscribió en un programa de maestría en ingeniería industrial en el Instituto de Tecnología de Bandung en 2017. Aquí conoció a Ahmad Radhy y Azmy Ansor, quienes se convirtieron en sus cofundadores cuando establecieron un startup llamado CeriTech Indonesia en 2018, con Raharja como director ejecutivo. La empresa está desarrollando un dispositivo basado en la nube llamado CeriTech IoT para monitorear y controlar el proceso de fermentación y secado de los granos de café, que son pasos críticos en la producción de café.

El dispositivo registra los niveles de temperatura, humedad e intensidad de la luz durante el proceso de secado, así como los niveles de pH durante el proceso de fermentación. CeriTech IoT está conectado a una aplicación móvil para que los usuarios puedan comprobar los datos en tiempo real. "El sistema está equipado con una función de alarma, de modo que, si la temperatura no coincide con el nivel ideal, los usuarios serán notificados a través de la aplicación", dijo Raharja. La

empresa se ha asociado con diez productores de café en Java y Aceh para probar el dispositivo, y CeriTech IoT ya está listo para su comercialización.

El startup también está desarrollando una plataforma de comercio electrónico B2B llamada CeriTech Trade Commerce, donde vende granos de café procesados utilizando sus dispositivos IoT a proveedores, cafeterías y tostadores de café. La plataforma se lanzará en la segunda mitad de

“Los compradores que compran en grandes cantidades 2022 normalmente necesitan realizar estudios de campo para garantizar la calidad de los granos antes de realizar el pedido. Esta es una molestia que queremos resolver. La calidad de nuestros granos de café está garantizada. Se puede comprobar a través de los datos obtenidos de CeriTech IoT”, dijo Raharja. También planea comercializar la plataforma de comercio electrónico entre compradores extranjeros. CeriTech cobrará una tarifa del 10% por cada producto vendido en su plataforma de comercio electrónico. [8].

- Desarrollo de un sistema de monitoreo con tecnología IOT para huertos de café

El café es uno de los productos agrícolas más consumidos por las personas, y para la obtención de un producto de calidad se necesita que la planta mantenga ciertos cuidados que influyen directamente en su desarrollo, ya que la temperatura, la humedad, la cantidad de luz que recibe la planta, entre otros, son parámetros que deben ser considerados por el hortelano. De acuerdo con lo mencionado, este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema prototipo con tecnología IOT que permite monitorear las condiciones ambientales en las plantas de café en huerto, considerando los rangos adecuados que debe tener la planta para el desarrollo óptimo, con el fin de alertar al hortelano cuando exista alguna variación de las condiciones de la planta que se encuentre fuera de los rangos ambientales adecuados. Para el desarrollo de este prototipo se utilizó la plataforma Blynk la cual usa la tecnología IOT y tiene compatibilidad con Arduino. El prototipo es de forma rectangular, y en su interior se encuentra una placa Wemos D1 mini, un sensor de humedad y temperatura DTH11, un sensor de humedad de suelo YL-69, una fotorresistencia LDR (GL5528) que mide en porcentaje la cantidad de luz, además este prototipo utiliza un panel solar fotovoltaico de 5 voltios, lo que significa que permite cargar una batería de litio de 250 mA, por medio de un módulo de carga TP4056. Los datos de los sensores se visualizan en tiempo real, por medio de la aplicación de blynk, ya que esta plataforma da la facilidad de utilizar pines virtuales, para la creación de una aplicación por medio de widgets box, y se alerta por medio de notificaciones

de la aplicación y de correo electrónico las irregularidades ambientales en la que este expuesta la planta de café, esta aplicación está disponible para IOS y Android [9].

- Smartia, el IoT para el negocio de café

Quality Espresso, empresa líder en el mercado de las máquinas de café expreso profesionales, ha hecho una fuerte apuesta para la implantación del IoT (Internet of Things o internet de las cosas) en el negocio del café. Para ello ha desarrollado la plataforma Smartia que permite el control absoluto de las máquinas de café mediante conexión remota.

El objetivo de Smartia es mejorar la rentabilidad de los negocios de café aprovechando las ventajas que ofrece la tecnología. El IoT es un concepto que hace referencia a la conexión a internet de los dispositivos y objetos cotidianos para así poderlos controlar de forma remota. Es cada vez más frecuente adquirir electrodomésticos con conexión a internet y es una tendencia de futuro disponer de mayor conexión para facilitar la vida de las personas. La plataforma Smartia se suma a esta tendencia y ofrece las herramientas y la tecnología necesarias para poder controlar todos los parámetros de las máquinas de café expreso profesionales con un simple acceso a internet.

Smartia permite monitorizar los consumos de café de cada una de las máquinas y conocer el comportamiento y hábitos de los clientes. Una información que será de gran utilidad para maximizar los ingresos.

Y todo ello sin olvidar la importancia que el control de costes tiene en los establecimientos de hostelería. Con Smartia se facilita y optimiza la planificación de los mantenimientos preventivos y reposiciones con el objetivo de reducir costes. Además, Smartia permite un control total de las máquinas de café, un completo análisis que se puede realizar con un intuitivo cuadro de mando que facilita el control de todos los indicadores. Con este proyecto Quality Espresso se reafirma como la empresa líder en el mercado de las máquinas de café expreso profesionales. Una compañía con más de 65 años de historia que aúna la tradición y la innovación y que está presente en más de 90 países [10].

- **Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando lorawan para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú**

La tesis tiene por finalidad fundamental de definir el diseño de una solución sustentada en el Internet de las Cosas (IoT) utilizando la tecnología Lora WAN para incrementar los indicadores de supervisión y control de los parámetros de producción de los cultivos agrícolas en el Perú. El escenario de la investigación es el distrito de Pachacútec, localizado en la provincia de Ica,

departamento de Ica. Se define la arquitectura de red, estableciéndose las características técnicas de los sensores agrícolas, circuito de control de riego, equipamiento de comunicaciones y servicios en la nube requeridos, para lo cual se analizan 3 alternativas en cada caso. Asimismo, se determina la banda de frecuencia de operación para la tecnología Lora WAN en el Perú y los requerimientos de energía para las estaciones de monitoreo en campo. Se realiza el cálculo de enlace para los dispositivos LoRaWAN en el área de estudio, obteniéndose las pérdidas de propagación mediante el modelo Okumura-Hata, la distancia de enlace máxima y la cobertura en el terreno. Así también, se utiliza un simulador de cobertura con el cual se logran resultados similares, validándose los cálculos obtenidos. Se elabora una simulación de la solución propuesta, para lo cual se simula un nodo final LoRaWAN y se utilizan un servidor LoRaWAN e IoT alojadas en nubes computacionales [11].

- **La perfecta combinación de la internet de las cosas y la agricultura de precisión**

La interconexión de dispositivos de cómputo, sensores, personas, cosas y animales, es el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y su crecimiento es exponencial; puesto que cada día hay más de estos conectados a la red. Su influencia en la sociedad es tal que ha generado grandes cambios en todas las áreas como: medicina, educación, economía, industria, seguridad, servicios de todo tipo. La agricultura ha sido transformada con el uso de máquinas agrícolas inteligentes, control de plagas inteligentes, drones para monitorizar los cultivos y el ganado, uso de estaciones que captan variables agroclimáticas que han hecho posible la recolección y aprovechamiento de grandes cantidades de datos críticos con mínimos costos, lo que ha logrado un proceso agrícola más orientado a la información y potencialmente más productivo y eficiente. Esta investigación tiene como objetivo hacer una revisión bibliográfica de cómo el internet de las cosas está íntimamente ligado a la agricultura de precisión, para esto se aplicó una investigación documental indagando diversas fuentes como revistas indexadas, libros, páginas oficiales y gubernamentales. Como resultado se determinó que existe un matrimonio actualmente inherente entre el internet del todo y la agricultura de precisión y sienta las bases para idear proyectos sustentables basados en IoT para el desarrollo de la Provincia de Los Ríos que es agrícola por excelencia. Universidad Técnica de Babahoyo ecuador [12].

b) Nacionales

En Colombia, la agricultura desempeña un papel fundamental en la economía, siendo una actividad de gran importancia en el sector primario. Por lo tanto, los productores de este sector tienen un fuerte interés en garantizar la calidad de sus cultivos. En este contexto, Luis David Valderrama Hurtado, de la Universidad de los Andes, específicamente en la Facultad de Ingeniería y el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, llevó a cabo un proyecto el 13 de diciembre de 2022. El objetivo de este proyecto fue diseño e implementar una red inalámbrica de sensores destinada al monitoreo de los cultivos de café.

El propósito fundamental de esta red de sensores es proporcionar información precisa sobre las variables que influyen en el proceso de cultivo del café. Esto permitirá a los caficultores tomar decisiones más informadas y, en última instancia, mejorar la calidad y la eficiencia de sus cultivos.

En resumen, la Universidad de los Andes, a través del trabajo de Luis David Valderrama Hurtado, ha desarrollado una valiosa herramienta en forma de red inalámbrica de sensores para el monitoreo de cultivos de café, con el objetivo de apoyar a los caficultores en la toma de decisiones críticas para el éxito de sus cosechas. [13]

- **Aplicación y evaluación de un modelo de aprendizaje de máquina enfocado para monitorear las variables medioambientales de un cultivo de café en la finca “La Tesalia” del municipio de Buenavista (Quindío).**

El monitoreo manual de variables medioambientales en cultivos como el del café, pueden llegar a convertirse en una tarea de gran complejidad, si se tienen en cuenta factores como el tamaño y terreno de siembra del cultivo; además, la toma de decisiones muchas veces se encuentra sujeta a decisiones empíricas y de poco valor o carácter técnico basadas en experiencias propias que muchas veces no aplican a un caso específico. Es por ello que se enfatizó sobre el papel de la tecnología como una herramienta preponderante y de gran importancia en todos los entornos y áreas actuales, al punto que podríamos decir que en el campo se ha convertido en un aliado indispensable del agricultor; tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), la agricultura de precisión (PA) y las redes inalámbricas de sensores (WSN), se están convirtiendo en herramientas invaluable en la recolección de datos sobre cualquier tipo de variables en cultivos de diferente

tipo. Por otro lado, la inteligencia artificial y algunas de sus ramas como el Machine Learning, apoyadas en tecnologías de manipulación de grandes volúmenes de datos como el Big Data, plantean la posibilidad de que las máquinas aprendan a interpretar datos históricos previamente introducidos por el hombre. Es por ello que el presente proyecto se enfocó en la aplicación de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), y el Machine Learning; en primera instancia se recolectan datos sobre las variables medioambientales de los cultivos mencionados como objeto de estudio a través de una red de sensores inalámbricos (WSN), dicha información posteriormente es cargada a una plataforma en la nube donde la información es transformada, a continuación se construyen ciertos modelos de aprendizaje según las variables a analizar y los resultados que se desean obtener, finalmente se aplican modelos de machine Learning y se analizan sus resultados, en espera de que generen soluciones que se enfoquen en la mejora y optimización de la productividad, los recursos del lugar y la sostenibilidad económica y medio ambiental [14].

- **Prototipo de una ruta tecnológica para el iot, enfocada en las tecnologías de riego, para los agricultores de pequeña escala en Colombia**

Con el crecimiento exponencial de la población mundial, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el mundo necesitará producir un 70% más de alimentos en 2050, reducir las tierras agrícolas y agotar recursos naturales finitos. La limitada disponibilidad de recursos naturales, como agua dulce y tierras cultivables, junto con la disminución de las tendencias de rendimiento en varios cultivos básicos, han agravado aún más el problema. Otra preocupación que obstaculiza la industria agrícola es la estructura cambiante de la mano de obra agrícola. Además, la mano de obra agrícola ha disminuido en la mayoría de los países.

Pero para el desarrollo óptimo de estos planes a través de tecnologías inteligentes, en países de poca inversión tecnológica se refleja una estructura política, social y económica con un panorama pobre y poco favorable. En el caso de Colombia, el sector agrícola es uno de los pilares en la economía del país, sector que siempre ha mantenido su estado de deterioro debido a que históricamente el agro en Colombia se ha visto afectado en un conflicto social, económico y político por disputas de tierras, abandono y recorte de presupuesto en cada plan de desarrollo nacional.

Con base a esto, este proyecto, como parte de la solución propone diseñar un mapa de ruta tecnológico IoT enfocados en el sector de riego para los pequeños agricultores campesinos que permita sistematizar, interoperar y visualizar de forma correcta la ruta que deben seguir las políticas de tecnificación para disminuir los problemas mencionados anteriormente. En el proyecto el plan de trabajo pretender definir todas esas variables que determinen el desarrollo tecnológico en tecnologías IoT, esto con el fin de establecer cuáles son los ítems necesarios para alimentar y construir la ruta tecnológica. Lo anterior nos permite entonces, elaborar un protocolo que permita la construcción de la ruta a partir de los lineamientos ya establecidos en tecnología de riego a través de IoT [15].

- **Aplicación del Internet de las cosas a través de una red de sensores inalámbricos en un cultivo de café para monitorear y controlar sus variables ambientales**

Se presenta la aplicación del Internet de las cosas (IoT), como herramienta tecnológica para el desarrollo de una red inalámbrica de sensores, con el objetivo de monitorear y controlar una serie de variables ambientales que inciden en el cultivo del café y su calidad final. Se procedió al diseño lógico y físico de la red y sus dispositivos, se configuró la red de sensores en un terreno determinado y se procedió a recolectar la información de ciertas variables ambientales, para ser comparadas con una serie de parámetros ya establecidos, que permitirán al caficultor observar el comportamiento de dichas variables a través del tiempo y establecer la generación de alertas o advertencias cuando estas medidas se encuentran por fuera de los rangos establecidos. Una vez desarrollado el estudio se pudo determinar que el manejo del cultivo del café es bastante complejo, debido a la gran cantidad de variedades que se encuentran, el terreno y las variables de tipo ambiental que afectan el proceso de producción y la calidad final del grano. Además, se determinó que el desarrollo e implementación de redes inalámbricas de sensores es posible hoy en día por factores como la reducción de los costos de los dispositivos y el uso de software de código abierto, evitándose valores de licenciamiento adicionales. Finalmente, con base en los parámetros analizados, se pudo establecer que uno de los principales problemas en los cultivos de café es la humedad intensa, que en la práctica puede llegar a afectar el rendimiento de los sensores y sus mediciones [16].

- **Análisis de la implementación del internet de las cosas en la agroindustria colombiana para optimizar y aumentar los procesos de producción**

El internet de las cosas es una tecnología que esta aun en desarrollo con muchísimas mejoras e innovaciones específicas al ámbito que sea aplicada. En Colombia se están trabajando en las TIC, avances que nos pueden favorecer para implementar dicha tecnología. En muchos países del mundo se avanza en implementación del IOT a máquinas, aparatos y objetos que generalmente no dicen ni producen ninguna información, por medio de estas conexiones dichos objetos estarían en comunicación con usuarios para transmitir datos vía internet, objetos como relojes, electrodomésticos, sensores, cámaras, máquinas y muchísimos más pueden ser parte de esto. En el sector de la agroindustria colombiana ha tenido pocos avances a nivel tecnológico en los cuales interactúen directamente las personas a cargo de cultivos, siembras, industrias de producción alimenticia entre otros. Como todo tema tiene ventajas y desventajas, cosas buenas y cosas malas. Los altos costos pueden significar un problema o tranca a la hora de querer optar por implementar internet de las cosas, ya que el desarrollo de esta innovación necesita muchos requisitos tecnológicos y avances que no están completados hoy por hoy [17].

c) Regionales

En la región de Nariño, la producción de café desempeña un papel de gran relevancia tanto en términos económicos como sociales. Con un total de 32.137 hectáreas dedicadas a este cultivo, la región ha alcanzado reconocimiento a nivel internacional debido a la calidad y la denominación de origen de su café. Este producto no solo constituye una fuente vital de sustento para numerosas familias locales, sino que también contribuye de manera significativa a la creación de empleo en la región.

Es impresionante observar que, de los 64 municipios en Nariño, 41 de ellos, lo que equivale al 64% del total, están involucrados en la producción de café. Esta alta participación refleja la importancia crítica del café en la economía y en la vida de la población local.

En este contexto, se presenta un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico que busca abordar los desafíos y las oportunidades que presenta la producción de café en el municipio de Buesaco. Este proyecto es impulsado por el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Ciencias Agropecuarias, en colaboración con la Universidad de Nariño.

El objetivo principal de este proyecto es establecer un sistema de información integral que recopile datos provenientes del cultivo y el proceso de beneficio del café, así como información

relacionada con factores como la ubicación, altitud y variables meteorológicas, entre otros. Estos datos servirán como base para que expertos en la materia puedan llevar a cabo investigaciones destinadas a identificar nuevas alternativas para mejorar la producción, diversificar los productos derivados del café y, en última instancia, impulsar el desarrollo sostenible de la industria cafetera en la región. [18]

- **Estrategia metodológica para la transferencia de tecnologías basadas en internet de las cosas con aplicación en la caficultura del Cauca**

Uno de los principales retos en el departamento del Cauca es la integración de soluciones TIC al sector agropecuario como mecanismos de agregación de valor a la producción. En particular, el sector cafetero se ve afectado por la escasa infraestructura tecnológica, canales de comunicación débiles, canales de comercialización excluyentes, además de un manejo ineficiente de los procesos de producción, cosecha y beneficio del café; lo que genera que el sector pierda productividad y disminuya su atractivo para las futuras generaciones.

El enfoque de la investigación fue de carácter mixto y se desarrolló en tres fases: la primera, identificó las principales experiencias en la implementación de tecnologías basadas en internet de las cosas, en el sector cafetero a nivel nacional e internacional; la segunda, analizó los requerimientos técnicos y socioculturales para implementar tecnologías basadas en internet de las cosas, aplicables al sector cafetero en el Cauca y la tercera se estructuró la propuesta metodológica para la implementación de tecnologías basadas en internet de las cosas, teniendo en cuenta aspectos regulatorios, técnicos y socioculturales dentro del contexto del sector cafetero en el Cauca. Como resultados de la investigación se identifican las líneas tecnológicas de IoT con mayor potencial para su aplicación en la caficultura. Se realizan entrevistas a actores relevantes de la caficultura en el Cauca y se trabaja en una caracterización socioeconómica de los caficultores en el Cauca, lo cual permitió identificar aspectos socioculturales, económicos y técnicos; relevantes para el diseño de la estrategia de transferencia tecnológica de IoT a los caficultores. Finalmente, se plantea una estrategia para la transferencia de tecnologías basadas en IoT aplicables a la caficultura del Cauca teniendo en cuenta los aspectos técnicos/tecnológicos, legales, gestión de aliados y recursos, socioculturales y económicos [19].

- **Análisis del sector lechero y aplicaciones tecnológicas de la industria 4.0**

El sector agropecuario colombiano no cuenta con tecnificación ni aplicaciones de la industria 4.0 que, si se evidencian en países desarrollados, por ello y dado el panorama internacional, se realiza una revisión documental en torno al sector lechero y los potenciales beneficios que traerá la inclusión de blockchain e infraestructura IoT, tanto para el proceso de producción como para la población rural. Los hallazgos evidenciaron que las implementaciones tecnológicas en las granjas lecheras disminuyen los costos y aumenta la rentabilidad, ya que el control de alimentos y pasturas, junto con un aumento en producción y calidad de la leche, permite que los granjeros obtengan beneficios mayores en comparación de una ausencia tecnológica. Por otro lado, se menciona el potencial de pertenecer a una asociación lechera por parte de los pequeños productores, debido a que estas poseen poder de mercado y conocimiento con respecto a las buenas prácticas agropecuarias las cuales se traducen en mayores ingresos por la actividad económica [20].

- **Sistema de monitoreo de variables ambientales en cultivos de papa mediante iot y energía solar fotovoltaica.**

La papa es el tercer cultivo de alimentación más importante del mundo después del arroz y el trigo. El Centro Internacional de la papa (CIP) afirma que aproximadamente 14 mil millones de personas la consumen como alimento básico en el mundo; el 50% de esta se consume fresca, el resto se transforma en productos o ingredientes alimenticios, como destilación de bebidas alcohólicas, almidón para la industria, alimentos para animales, pegamentos y etanol usado como combustible.¹ El Ministerio de Agricultura de Colombia afirma que en el país existen unas 100 mil familias dedicadas al cultivo de papa en 10 departamentos y 283 municipios, aunque el 90% del área sembrada se encuentra con un 37% en Cundinamarca, 27% en Boyacá, 20% Nariño y 6% en Antioquia, generando anualmente un total de 264 mil empleados de los cuales 75 mil son empleados directos y alrededor de 189 mil son indirectos. al aumentar la producción de papa por la gran demanda que se presenta a nivel internacional y nacional, se han generado diferentes inconvenientes con el desarrollo del cultivo; esto es debido a la alta propagación de plagas, enfermedades, poca rotación de cultivos y el cambio climático. Esto conlleva a pérdidas económicas y alteraciones ambientales en el terreno. La presencia de plagas y enfermedades implica además el uso desmedido de agroquímicos que afecta al medio ambiente; según estadísticas de la organización para la alimentación y la agricultura (FAO), existen más de 500 mil toneladas

de pesticidas que ante las circunstancias bien sea por su uso ilegal o que se encuentra vencido, genera una gran amenaza para la salud y para el medio ambiente. En Colombia entre los años 1998 y 2011 se presentaron 4.834 muertes causadas por los plaguicidas según un estudio nacional de salud

Una de las enfermedades que más afecta a los cultivos de papa en el mundo es el Tizón tardío (*Phytophthora infestans*). De acuerdo con los estudios del CIP es la enfermedad más severa a nivel mundial, provocando hasta la pérdida total del cultivo de papa. Para esto, los agricultores, como medida preventiva, suelen aplicar fungicidas de forma periódica al cultivo, sin importar que este hongo esté o no presente en el mismo. Lo anterior conduce a una sobreutilización de agroquímicos que pueden afectar ecosistemas cercanos y, por otra parte, reducen la rentabilidad para el productor. Por ello surge la necesidad de realizar un monitoreo de variables ambientales, que permita optimizar la aplicación de agroquímicos ante la presencia de las enfermedades especialmente el Tizón Tardío [21].

- **El internet de las cosas llega a los agricultores de Nariño de la mano de SENNOVA San Juan de Pasto (Nariño).**

Un proyecto impulsado y financiado por el Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA, SENNOVA, que busca lograr una producción eficiente, económica para el campesino y amigable con el medio ambiente.

La mínima participación de los agricultores nariñenses en procesos tecnológicos y el desgaste de recursos naturales en cultivos tradicionales, fueron los motivos por los que Darío Javier Vallejos, investigador de SENNOVA, del Centro Internacional de Producción Limpia Lope, pensara en una aplicación de tecnologías innovadoras en cultivos bajo invernadero para hacer más rápido, práctico, eficiente y sostenible el trabajo de los campesinos.

Esta iniciativa surge de dos proyectos realizados anteriormente por aprendices del Centro de Formación junto con sus instructores de mecatrónica: el primero, el desarrollo de un sistema para producción de forraje verde hidropónico bajo invernadero y en su segunda fase, el diseño de un sistema de internet de las cosas (IoT) para este mismo tipo de cultivos, que en su enfoque y desarrollo están dirigidos a pequeños agricultores. En todo este proceso, se encontró una cantidad de información o variables con las que se enfrentan todos los días los cultivadores en el invernadero.

Este mecanismo, adaptado en un invernadero permite una asistencia remota desde el celular o computador, con sensores inalámbricos que llegan a un gestor de datos que da seguimiento y monitorea toda la información que permita tomar decisiones en tiempo real para el óptimo desarrollo del cultivo en el invernadero llevando al internet de las cosas (IoT).

En 2020, con apoyo y aprobación de SENNOVA, a través del programa Fomento de Innovación y Desarrollo Tecnológico en las Empresas y con un presupuesto superior a los \$47 millones, Darío Javier Villegas, trabajó con un equipo de aprendices de diferentes áreas en el desarrollo del proyecto, "Junto a ellos y la participación de instructores del área de producción agrícola, retroalimentamos y enriquecimos la investigación, exploramos a fondo las ventajas que ofrece la tecnología de Agricultura 4.0, viendo la forma de capturar variables para ser enviadas de forma inalámbrica. Hay mucho por hacer, pero siempre profundizando en la forma de mejorar la agricultura, porque al fin de cuentas de ahí se deriva el sustento y el alimento para todos" [22].

2) *Supuestos Teóricos de la Investigación.*

a) Internet de las cosas

Internet de las cosas(IoT) es una tecnología reciente que está tomando mucha fuerza en la actualidad, básicamente se encarga de la interconexión de cualquier cosa del entorno hacia una red ya sea privada o de Internet, como bien lo afirma Dave Evans Internet de las cosas es la primera evolución real de internet, ya que permite mejorar drásticamente la forma en que las personas estudian, viven trabajan y se entretienen, IoT implementa sensores de temperatura,presión,vibración,luz,humedad entre muchos más y actuadores que permiten controlar un sistema por medio de una red. [23] La figura 1 describe la comunicación entre un objeto conectado a internet y una persona.



Fig 1: Internet de las cosas.

Nota: fuente <https://www.ieee.org/>

b) ESP32

El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.



Fig 2: ESP2 (Entorno de Desarrollo Integrado)

Nota: fuente https://www.ieee.org

c) Monitoreo

El termino monitoreo se encuentra definido como la capacidad de supervisión hacia un objeto o persona, según Arana “Es un proceso continuo y sistemático el cual verifica la eficiencia y la eficacia de un sistema, proyecto, programa etc. Permite identificar logros y debilidades y, en consecuencia, brindar medidas correctivas para optimizar los resultados esperados”. [24]

d) MQTT

Es un protocolo de mensajería que opera mediante un modelo constituido por suscripciones y publicaciones, este protocolo está diseñado para la comunicación machine to machine por medio de TCP/IP, como bien lo afirma Light Roger Mosquitto proporciona implementaciones de cliente y servidor que cumplen con los estándares de MQTT protocolo de mensajería. MQTT utiliza un modelo de publicación / suscripción, tiene una sobrecarga de red baja y se puede implementar en dispositivos de baja potencia, como microcontroladores que podrían usarse en sensores remotos de Internet de las cosas. Como tal, Mosquitto está diseñado para su uso en todas las situaciones donde hay una necesidad de mensajería liviana, particularmente en dispositivos restringidos con recursos limitados. [25]

e) Dashboard

Según Kerzner “los Dashboard son mecanismos de representación visual utilizados en un sistema de medición operativo de rendimiento, que mide el desempeño contra objetivos y umbrales usando datos de tiempo adecuado” [26], al centralizar toda la información en un panel de control, se puede tener una idea más clara y detallada del comportamiento ocuriente dentro de una empresa, organización o incluso de un fenómeno que está siendo estudiado, la toma de decisiones sin lugar a dudas es la principal ventaja que ofrece esta herramienta, la implementación de Dashboard integrales y personalizables permiten predecir comportamientos en base a patrones detectados, los cuales se identifican a través del tiempo con un gran volumen de datos recolectados.

f) Café en Nariño:

La producción del grano en Nariño representa el 3,5 por ciento de la producción nacional, pero su calidad es especial. Según los expertos, esa calidad es producto de los suelos, del manejo artesanal que se le da al cultivo, a la dedicación de las familias cafeteras, al predominio del minifundio y a la cercanía a la línea ecuatorial donde los rayos del sol caen perpendiculares al cultivo.

“Esto les permite a los cafeteros de nuestro departamento sembrar hasta cerca de los 2.200 metros

sobre el nivel del mar”, dice el asesor de Nariño en asuntos de café. “Hoy por hoy tenemos el mejor café. En la pasada Feria de Cafés Especiales y en la Tasa de la Excelencia, realizadas en Pasto, barrimos con la calidad de nuestro grano”, dice el experto en caficultura [27].

g) *Cultivos en el municipio de Taminango*

a) *Producción Agrícola.*

Taminango tiene 12.184 hectáreas dedicadas a la agricultura, éstas representan el 52.5% del área total del municipio. El municipio de Taminango tiene en la producción agropecuaria su base productiva y principal fuente de ingreso de la población. Siendo la actividad agrícola la que más ingresos genera y al que absorbe la mayor cantidad de mano de obra disponible en el municipio, a pesar de ser esta actividad lo más importante del sector económico de la región, presenta un atraso en la explotación de cultivos tradicionales. Los cultivos más importantes son: Café, plátano, caña panelera, maní, cebolla y frutales. Los cultivos transitorios más importantes son: Maíz, frijol, yuca, tomate y otros. [28]

Superficie	Producción Total	Valor bruto De la producción	Insumos directos	Valor agregado total	Jornales totales	Salarios totales
Has	Kg	\$000	\$000	%000	#	\$000
3.767	6.184.200	1.669.041	241.685	1.427.356	336.580	504.870

Fig 3: Producción agrícola del Municipio de Taminango

Nota: Repositorio del Municipio de Taminango

h) *Replicabilidad de datos*

i) *Sensor*

Instrumento de entrada que capta magnitudes físicas o químicas y que genera una salida manipulable de la variable medida, según Ramón Areny “un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida” [30], existen diferentes características en los sensores que permiten la recolección de información de manera precisa, confiable y eficaz.

j) MQTT en aplicaciones IoT

Al crear una plataforma IoT, debe elegir un protocolo de mensajería de estándar abierto como MQTT. Este protocolo es liviano y admite dispositivos con limitaciones de hardware y ancho de banda. También es compatible con una variedad de escenarios de aplicaciones, por lo que es una buena opción para los desarrolladores de IoT. MQTT también es seguro y proporciona cifrado de extremo a extremo para datos confidenciales. Esto protege los datos entre los dispositivos del cliente, lo que garantiza que los datos confidenciales no se filtren a usuarios no autorizados. Además, MQTT es compatible con una variedad de bibliotecas MQTT personalizadas y disponibles ya en el mercado al tratarse de un código abierto. [31].

k) Datos recopilados en el dashboard

“La idea de un dashboard es que podamos obtener la información que buscamos a golpe de vista. Por ello, los datos se presentan en forma de gráficos y debemos contar con indicadores rápidos a través de claves de color, flechas hacia arriba o abajo o cifras destacadas”, por ejemplo.

Práctico. La función principal de un dashboard siempre debe ser orientar las acciones de nuestro equipo. Por tanto, debe facilitarnos la información necesaria para que podamos saber cuáles son los siguientes pasos a seguir para mejorar los resultados. [32]

Apoyo de la tecnología IoT en la agricultura.



Fig. 4: Ejemplo de One Tandem de como ordenar la información en nuestro dashboard de métricas

Nota: Fuente <https://evotic.es/business-intelligence-bi/dashboard-con-power-bi/>

El IoT en Agricultura es una realidad que está cambiando la forma de producir alimentos. Gracias a la aplicación de dispositivos inteligentes y sensores, se están automatizando procesos, optimizando recursos y reduciendo gastos. La rentabilidad y la producción se ven beneficiadas por las nuevas tecnologías.

l) *Comunicaciones inalámbricas.*

La tendencia que presenta el ser humano al libre movimiento hace que cada vez los sistemas inalámbricos sean más utilizados, ya que supone un gran beneficio por qué se no se depende directamente de cables de conexión, según Prieto Josep de forma general se entiende como comunicación inalámbrica aquella comunicación entre diferentes dispositivos los cuales utilizan el espectro electromagnético para el intercambio de información. Básicamente se utiliza las ondas electromagnéticas del aire y no un medio físico como un cable.

m) *Wifi*

El término wifi hace referencia a la conexión inalámbrica que permite que nuestros dispositivos electrónicos tengan conexión a internet. Tablets, móviles e incluso televisores, cada día son menos los dispositivos libres de wifi, y estamos seguros que cada día el número aumentará, incluso el horno tendrá una red inalámbrica wifi. Otro ejemplo claro son los drones, como los modelos de la marca DJI, que usan Wifi para conectar el mando con el dron.



Fig.5: Wifi.

Nota: Fuente <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/wifi-en-arduino-2/>

n) Angular

Angular es un framework de diseño de aplicaciones y plataforma de desarrollo para crear aplicaciones de una sola página eficientes y sofisticadas

Esta documentación de Angular te ayuda a aprender y usar el framework y la plataforma de desarrollo, desde tu primera aplicación hasta la optimización de aplicaciones complejas de una sola página, para empresas. Los tutoriales y guías incluyen ejemplos descargables para acelerar tus proyectos

o) Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico. Esta señal conlleva determinados cambios en ese sistema electrónico para la regulación de la temperatura. }}

p) MYSQL

Es el motor de base de datos que permite tener un control avanzado en el manejo de los datos y al momento de recibir la información por parte de los sensores este motor permite hacer transacciones consistentes, ofreciéndonos grandes ventajas en el rendimiento y en el tiempo de respuesta. Por otra parte, es capaz de atender a muchos clientes al mismo tiempo y entregar la misma información de sus tablas, sin bloqueos.



Fig.6:MySQL

Nota: Fuente <https://www.esestudio.com/noticias/que-es-mysql>

q) Temperatura

La temperatura es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa.

La medición de la temperatura está relacionada con la noción de frío (menor temperatura) y de calor (mayor temperatura), que se puede percibir de manera instintiva. Además, la temperatura actúa como un valor de referencia para determinar el calor normal del cuerpo humano, información que sirve para estimar estados de salud. El calor también se utiliza para los procesos químicos, industriales y metalúrgicos.

r) Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Siempre hay vapor de agua en el aire y la cantidad varía según diversos factores, por ejemplo, si recién llovió, si se está cerca del mar, si hay o no vegetación en el terreno, la temperatura del aire, entre otros.

Esto quiere decir que todo lugar que tenga presencia de agua con posibilidad de calentarse y evaporarse es fuente de humedad, como la que proviene de la superficie de ríos, de lagos, de la tierra húmeda y de las plantas, donde el agua se puede presentar en estado sólido (congelada), líquido y gaseoso (vapor).

s) Nutrientes del Suelo

Los nutrientes esenciales para las plantas son elementos que las plantas necesitan para un crecimiento adecuado. Dieciséis elementos son considerados nutrientes esenciales para las plantas. Estos son carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Las plantas absorben el carbono y el oxígeno del aire a través de sus hojas, en la forma de dióxido de carbono (CO₂). En el proceso de fotosíntesis, las plantas transforman el dióxido de

carbono y el agua en hidrógeno, carbono y oxígeno. Todos los demás nutrientes son absorbidos a través del sistema radicular.

t) Análisis de los suelos

El análisis de suelo es una herramienta clave en el manejo de fertilizantes. Un uso adecuado del análisis de suelo reduce las conjeturas y ayuda a minimizar la contaminación ambiental. Realizar un análisis del suelo puede ahorrarle al agricultor dinero y aumentar el rendimiento del cultivo.

El análisis de suelo puede determinar parámetros tales como la textura del suelo, el pH, los nutrientes disponibles, la materia orgánica y los parámetros relacionados con la salinidad.

u) Cambios Climáticos

Llamamos cambio climático a la variación de los patrones meteorológicos estables a lo largo de un período de tiempo extenso, que puede ir de unas décadas a millones de años. Suele estar acompañado de procesos de reacomodo climático que a menudo implican fenómenos meteorológicos extremos, que pueden tener un alto impacto en los modos de vida de flora, fauna y la humanidad.

3) Variables de estudio

a) Definición nominal de las variables.

Las variables dependientes mostradas en la tabla I se basan en la medición y evaluación de múltiples parámetros y características del café que son considerados como variables independientes. Los índices de replicabilidad presentados a continuación se construyen utilizando una combinación ponderada de variables independientes para obtener un valor que refleje la replicabilidad general del café.

TABLA I. DEFINICION NOMINAL DE LAS VARIABLES

Variable	Descripción	Tipo de variable	Naturaleza
Información temperatura	la información de la temperatura se utiliza para evaluar cómo varía en respuesta a las modificaciones en el sistema de monitoreo u otras condiciones experimentales. Por ejemplo, si se está investigando la eficacia de un nuevo sistema de control climático, la información de la temperatura ayudará a determinar cómo este sistema afecta la regulación térmica del entorno.	Dependiente	Cuantitativa
Información Humedad	la información de la humedad se utiliza para analizar cómo varía en respuesta a cambios en el sistema de monitoreo o a otras condiciones	Dependiente	Cuantitativo

	<p>experimentales. Por ejemplo, en un estudio sobre la preservación de productos sensibles a la humedad, la información de la humedad ayudará a evaluar el impacto de diferentes estrategias de control sobre la estabilidad y calidad del producto.</p>		
--	--	--	--

La construcción de un índice de replicabilidad de café implica una relación de dependencia entre los parámetros mencionados en la tabla 2 y las variables dependientes. El valor del índice de replicabilidad de café depende de los valores de las variables independientes y de cómo se ponderan y combinan entre sí.

TABLA II. VARIABLES INDEPENDIENTES DE ESTUDIO

Variable	Descripción	Tipo de variable	Naturaleza
<p>Sistema de monitoreo</p>	<p>un sistema de monitoreo podría incluir sensores de temperatura y presión conectados a un software de análisis que permite a los operadores observar las condiciones de funcionamiento de las máquinas en tiempo real.</p>	<p>Independiente</p>	<p>Cuantitativa</p>

b) *Definición Operativa de las Variables*

TABLA III. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES

Variable	Indicador	Fuente	Técnicas de recolección	Técnicas de análisis
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Los cambios de temperatura pueden afectar el rendimiento en los procesos de tratamiento de agua. • Si la temperatura excede el rango óptimo para el cultivo de café (generalmente entre 18°C y 24°C), las plantas pueden sufrir estrés, lo que afecta su crecimiento y la producción de frutos. • Si la temperatura es muy baja puede afectar negativamente el desarrollo de la planta 	Terreno	Sensor de temperatura	Mqtt
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> • El rango óptimo de humedad para los suelos cultivados con café suele deben estar entre 60% y 80% de su capacidad de retención de agua. 	Terreno	Sensor de humedad	Mqtt
	<ul style="list-style-type: none"> • El análisis de suelo es unas herramientas que nos permite conocer la composición y el estado del terreno, identificar 	Terreno	Sensor, ESP32	Mqtt

Análisis de suelo	eficiencias o problemas y mejorar las condiciones de las plantas del café.			
Replicabilidad de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Nos permite verificar y confirmar la validez de los resultados y asegurando que los hallazgos sean confiables. • Fortalecer la credibilidad y precisión de los datos tomados por los sensores 		Aplicativo web	

4) *Formulación de hipótesis*

1) *Hipótesis de investigación*

El sistema de monitoreo de cultivos incrementará el coeficiente de ganancia de información mejorando la replicabilidad de la calidad de los cultivos de cafés.

- a) *Hipótesis nula:* El sistema de monitoreo de cultivos no incrementará el coeficiente de ganancia de información mejorando la replicabilidad de la calidad de los cultivos de cafés.
- b) *Hipótesis alterna:* El sistema permitirá mejorar el monitoreo de las variables de los cultivos de café.

III. METODOLOGÍA

1) *Paradigma.*

El presente trabajo está fundamentado en el paradigma positivista, Puesto que los datos son cuantificables y demostrable, igualmente se utilizan medios estadísticos que se relacionan con las variables de estudio.

2) *Enfoque.*

El enfoque que llevara el trabajo investigativo es el enfoque cuantitativo, debido a que se utilizan datos cuantificables para comprobar las hipótesis planteadas, según lo afirma Carlos Fernández y Pilar Baptista “El enfoque cuantitativo pretende “acotar” intencionalmente la información (medir con precisión las variables del estudio, tener “foco”).” ya que los datos están representados por las características que existen en el objeto de la investigación. [39]

3) *Método.*

La naturaleza de la presente investigación permite acoplarse con el método empírico-analítico que permite comprobar si una hipótesis es comprobada o no, a través de un argumento científico con hechos plenamente medibles y perceptibles.

6) *Tipo de Investigación.*

1) *Cuasi experimental*

La investigación cuasi experimental es un tipo de estudio que se caracteriza porque el sujeto de estudio no se selecciona de forma aleatoria, sino que se encuentra o establece previamente.

La metodología de este tipo de investigación se caracteriza por ser descriptiva, la cual consiste en observar el comportamiento de los individuos y de las diferentes variables sociales y registrar datos cualitativos y cuantitativos.

La investigación cuasi experimental se ubica entre la investigación experimental y el estudio observacional. Sin embargo, no tiene el control de variables o de los elementos que intervienen en el contexto del sujeto de estudio.

Los diseños transeccionales descriptivos según Hernández, Fernández y Baptista consisten en un proceso de medición en un grupo de personas, objetos o variables y proporcionar su descripción, por lo cual son estudios plenamente descriptivos. Por consiguiente, el presente

proyecto investigativo es de campo, debido a que se procederá a recoger datos asociados a las variables a los cultivos de café en un solo periodo de tiempo.

7) *Diseño de Investigación.*

Se combina dos tipos de investigación en el proyecto, investigación Descriptiva este tipo de investigación busca describir las características, condiciones o fenómenos existentes en una población o situación. Se está describiendo la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT y su aplicación en los cultivos de café en términos de la recopilación de datos, la visualización de variables y la replicabilidad de datos e investigación Experimental, la parte experimental se deriva de la implementación del sistema de monitoreo basado en IoT y la evaluación de su efectividad en términos de replicabilidad de datos. Se pueden realizar experimentos para recopilar datos bajo condiciones controladas y evaluar si los resultados se pueden replicar. Por ejemplo, se podrían realizar pruebas en diferentes parcelas de cultivo para evaluar cómo el sistema afecta la replicabilidad de los datos en comparación con métodos tradicionales.

8) *Población.*

La población se centrará principalmente en el dispositivo electrónico de medición de las variables asociadas al monitoreo de cultivos de café y el software de visualización de estas variables.

9) *Muestra.*

Para este estudio la muestra y la población serán las mismas.

10) *Técnicas de recolección de la información.*

Primero una de las técnicas utilizadas en la investigación es la observación directa ya que se va a medir y controlar la variable humedad y temperatura de suelo por medio de sensores que ayudan a determinarla, además se estará verificando que las condiciones del suelo respecto a la humedad sean optimas.

También se cuenta con una encuesta que es una técnica de recolección de información que se lleva a cabo utilizando como instrumento, la aplicación de un cuestionario a una muestra de personas. Las encuestas proporcionan información sobre las opiniones, actitudes y

comportamientos de los ciudadanos. La encuesta se aplica ante la necesidad de probar una hipótesis o descubrir una solución a un problema, e identificar e interpretar, de la manera más metódica posible, un conjunto de testimonios que puedan cumplir con el propósito establecido. Teniendo en cuenta que la presente investigación tiene como propósito la construcción de una herramienta software que nos permita visualizar los datos tomados por medio de los sensores en los cultivos del café y replique los datos, en el área ambiental resulta de vital importancia contar con información tomada de los mismos que permita la construcción y adaptación del aplicativo, por lo anteriormente mencionado se considera que el uso de la encuesta como técnica de recolección cumplirá con el propósito requerido proporcionando información confiable y de primera mano para poder ser usada en la presente investigación.

11) Validez de las técnicas de recolección de información

Existen dos formas de validez: la validez externa que se refiere a la generalización de los conceptos de una investigación, y la validez interna que trata sobre la precisión de un instrumento para medir lo que se ha propuesto medir. Para este caso se trabajará sobre la validez interna con el propósito de garantizar que de la encuesta se retorne resultados. La validez se trabajará de la siguiente forma: garantizar que los resultados reflejen una imagen lo más completa posible, clara y representativa de la realidad o situación estudiada, del mismo modo se debe validar el contenido haciendo referencia a la medida en que las preguntas de la encuesta abordan el tema de investigación y reflejan las variables de interés, y las preguntas de esta misma midan de forma correcta el concepto que se está investigando, por otro lado la técnica utilizada es validada por medio de la utilización de sensores que tienen porcentajes de errores mínimos, los cuales determinaran el nivel de humedad en el suelo, además de las variables que comprenden el sistema como las variables independientes externas.

12) Confiabilidad de las técnicas de recolección de la información

La confiabilidad tiene que ver con la exactitud y precisión de los procedimientos de medición; es decir, cuando al repetir la investigación, bajo condiciones iguales, existe la posibilidad de obtener los mismos resultados. Teniendo en cuenta que debemos garantizar la confiabilidad de

nuestras técnicas de recolección se pretende buscar que la investigación sea estable, segura, congruente, igual a sí misma en diferentes tiempos y previsible para el futuro y procurar que exista confiabilidad interna, es decir, cuando varios observadores, al estudiar la misma realidad, concuerdan en sus conclusiones. Las encuestas garantizan fiabilidad en los resultados de investigación por ello es importante que la encuesta mida de manera consistente y precisa lo que se pretende medir, por ello es importante utilizar preguntas claras y precisas, por otro lado, la otra técnica es confiable debido a que los datos arrojados por los sensores tienen un margen de error adecuado, es decir que al medir n veces el dato, el valor obtenido será el mismo y así estos sean monitoreados y controlados continuamente las 24 horas del día.

13) Instrumentos de técnicas de recolección

En la investigación, se utilizarán varios instrumentos para las técnicas de recolección de información. Para la observación directa, se emplearán sensores específicos para medir y controlar las variables de humedad y temperatura del suelo, garantizando así la obtención de datos precisos y en tiempo real. Estos sensores permitirán registrar condiciones óptimas del suelo para los cultivos de café. Por otro lado, para la técnica de encuesta, se desarrollará un cuestionario estructurado que se aplicará a una muestra representativa de personas. Este cuestionario está diseñado para captar opiniones, actitudes y comportamientos relacionados con las prácticas agrícolas y la gestión ambiental, lo que proporcionará datos valiosos y confiables para la construcción del software que visualiza los datos recolectados. Ambos instrumentos se complementarán para ofrecer una visión integral que respalde los objetivos de la investigación. Frente a lo anterior se presenta uno de los diseños de cuestionario que se pretende utilizar para recolectar información en el presente proyecto

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

1) Recopilación de la información del proceso de cultivo de café.

Para la recolección de información acerca del procedimiento del cultivo de café en el municipio de Taminango fue pertinente la visita a los cultivos de la finca "San Antonio", donde se realizó una entrevista de manera informal a los propietarios de los cultivos donde ellos explican en primer lugar, que aunque se realiza un análisis de suelo cada dos años por parte de la empresa caficultora, la mayoría de los agricultores se basan en el conocimiento tradicional y en las condiciones climáticas para determinar las necesidades de abono y el estado de la tierra. Esto sugiere que, si hay un enfoque científico, la práctica tradicional sigue teniendo un papel predominante.

En cuanto al uso de tecnología, actualmente no se emplean herramientas como sensores para monitorear el estado de las tierras o las plantas. Los agricultores dependen del conocimiento adquirido a lo largo de los años, esto indica una oportunidad significativa para la capacitación en nuevas tecnologías que podrían mejorar la producción y la eficiencia en el cultivo.

El proceso de cosecha del café se basa en la observación directa del estado de madurez de los granos. Los agricultores verifican el color y la textura de las cerezas, considerando que, si están rojas o amarillas y son blandas al tacto, es el momento adecuado para la recolección. Se planifica un intervalo de aproximadamente 15 días entre cada cosecha grande (abril, mayo y junio), lo que permite una gestión adecuada del tiempo y los recursos. Finalmente, para proteger el cultivo de condiciones climáticas extremas, como sequías o lluvias intensas, se implementan sistemas de riego y se utilizan barreras naturales, como árboles, que ayudan a mitigar el impacto de las precipitaciones.

Esta información nos ayuda a reconocer el proceso y el manejo manual que tienen los caficultores en Taminango, destacando la importancia de su conocimiento tradicional. Esto nos da la posibilidad de intervenir y apoyar a estos agricultores mediante la incorporación de sensores, que podrían optimizar la gestión del cultivo y mejorar la productividad.

2) *Desarrollo del sistema.*

Durante el proceso de desarrollo de la aplicación se llevaron a cabo las siguientes actividades para garantizar su funcionalidad y eficiencia, Se desarrolló una plataforma web utilizando un Framework de desarrollo baso de NodeJS, denominado Express, para la recepción de datos por medio de la Esp32 frente al índice de calidad de la humedad y temperatura ambiente. Esta plataforma recibe los parámetros de la humedad, temperatura y sus respectivos valores, lleva a cabo los procesos de guardado y retorna el valor esperado.

- Sistema de registro y almacenamiento seguro:

El sistema permite la gestión de usuarios, procesos de análisis y almacenamiento de información. Se trabaja con herramientas que permiten el intercambio de datos entre la base de datos y el aplicativo, garantizando que la información cuente con la seguridad esperada.

3) *Metodología Aplicada.*

Para el desarrollo de esta investigación, se adoptó la metodología SCRUM, en la cual cada miembro del equipo asumió un rol específico. Jazmín Vallejo actuó como desarrolladora y fue responsable de la documentación, Diana Araujo se encargó de la obtención y carga de datos y apoyo en en el documento, mientras que Felipe Rivas asumió el rol de desarrollador y fue responsable de la implementación de soluciones IoT. Esta metodología permitió aprovechar tanto la estructura como la flexibilidad de SCRUM, organizando el trabajo en una serie de sprints bien definidos, facilitando la adaptación y el progreso continuo en el proyecto.

La metodología SCRUM se realizó en 3 fases las cuales estas se dividen por actividades:

TABLA. IV.METODOLOGÍA SCRUM

FASES	ACTIVIDADES
Planificación	Comprender el problema y los objetivos del proyecto.
Ejecución	Realizar el trabajo necesario para cumplir con los objetivos acordados y entregar valor tangible al final del período de tiempo designado.
Revisión y retrospectiva	<p>Aprendizaje continuo y la adaptación rápida a medida que el equipo avanza en su desarrollo iterativo. Permiten al equipo ajustar su enfoque y proceso para maximizar el valor entregado al cliente en cada ciclo de sprint.</p> <p>Dada la naturaleza visual de la aplicación, también se optó por la metodología SCRUM para desarrollar módulos como el login, registros, y un dashboard que permite una mejor visualización de registros temperatura y humedad. Esto permitió avanzar de manera ágil y eficiente el desarrollo de la aplicación, asegurando la entrega oportuna de funcionalidades importantes para los usuarios.</p>

A continuación, se detallan las historias de usuario asociadas a cada uno de estos módulos.

TABLA V. MODULO USUARIO

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Usuario	HU 05	Usuario	Quiero crear un usuario para visualizar los datos del usuario.
	HU 06	Usuario	Quiero poder visualizar los usuarios registrados.
	HU 07	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de los usuarios.
	HU 08	Usuario	Quiero eliminar los datos de los usuarios.

TABLA VI. MÓDULO ALERTA

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Alerta	HU 09	Usuario	Quiero crear una alerta para visualizar las alertas del programa.
	HU 10	Usuario	Quiero poder visualizar las alertas registradas.
	HU 11	Usuario	Quiero editar o actualizar las alertas del programa.
	HU 12	Usuario	Quiero eliminar las alertas del programa.

TABLA VII. MÓDULO COSECHA

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Cosecha	HU 13	Usuario	Quiero crear una cosecha para visualizar los datos de la cosecha.
	HU 14	Usuario	Quiero poder visualizar las cosechas registradas.
	HU 15	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de las cosechas.
	HU 16	Usuario	Quiero eliminar los datos de las cosechas.

TABLA VIII. MÓDULO LECTURA SENSOR

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Lectura Sensor	HU 17	Usuario	Quiero crear una lectura Sensor para visualizar los datos entregados del sensor.
	HU 18	Usuario	Quiero poder visualizar las lecturas Sensor registradas.
	HU 19	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de las lecturas del sensor.
	HU 20	Usuario	Quiero eliminar los datos de las lecturas de sensor.

TABLA IX. MÓDULO SENSOR

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Sensor	HU 21	Usuario	Quiero crear un sensor para añadir los datos del cultivo.
	HU 22	Usuario	Quiero poder visualizar los datos entregados por el sensor registrados.
	HU 23	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos entregados por el sensor.
	HU 24	Usuario	Quiero eliminar los datos registrados por los sensores.

TABLA X. MODULO FÍNCA

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Finca	HU 01	Usuario	Quiero crear una finca para visualizar los datos de una finca.
	HU 02	Usuario	Quiero poder visualizar las fincas registradas.
	HU 03	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de las fincas
	HU 04	Usuario	Quiero eliminar los datos de las fincas

TABLA XI. MÓDULO USUARIO ALERTA

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
usuario Alerta	HU 25	Usuario	Quiero crear una alerta de usuario para visualizar las alertas generadas del programa.
	HU 26	Usuario	Quiero poder visualizar las alertas de usuario registradas.
	HU 27	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de las alertas de usuario.
	HU 28	Usuario	Quiero eliminar los datos de las alertas de usuario-

TABLA XII. MÓDULO VARIEDAD DE CAFÉ

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Variedad de café	HU 29	Usuario	Quiero crear una variedad de café para visualizar los datos del café.
	HU 30	Usuario	Quiero poder visualizar las variedades de café registradas.
	HU 31	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de las variedades de café.
	HU 32	Usuario	Quiero eliminar los datos de las variedades de café.

TABLA XIII. MÓDULO CULTIVO

Módulo	ID De la historia	Rol	Característica / Funcionalidad
Cultivo	HU 33	Usuario	Quiero crear un cultivo para visualizar los datos de la cosecha.
	HU 34	Usuario	Quiero poder visualizar los cultivos registrados.
	HU 35	Usuario	Quiero editar o actualizar los datos de los cultivos.
	HU 36	Usuario	Quiero eliminar los datos de los cultivos.

4) Tecnologías y marcas registradas.

DJCOFFE, es una aplicación que permite proporcionar una solución integral para asegurar la replicabilidad precisa de datos obtenidos por sensores de humedad y temperatura en fincas agrícolas. Cuenta con tecnologías robustas que le permiten llevar a cabo los diferentes procesos necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto. A continuación, se presenta una descripción breve de las tecnologías más relevantes utilizadas en el desarrollo.

Windows: Para la construcción del aplicativo y sus características se usó el sistema operativo Windows 10 el cual garantiza una amplia compatibilidad con una gran variedad de hardware y software ya que facilita la integración con otros sistemas y herramientas utilizadas en el proyecto.

JWT: Un JWT es un estándar para la autenticación y el intercambio de información. Es posible almacenar objetos JSON de forma segura y compacta. Este token es un código Base64 y se puede firmar con un par de claves secretas o privadas/públicas. Esta herramienta proporciona un método seguro para la autenticación y autorización de usuarios. Utiliza algoritmos de firma digital para verificar la integridad de los datos y garantizar que no hayan sido alterados por terceros.

NodeJS (Express): Es un entorno que trabaja en tiempo de ejecución, de código abierto, multiplataforma, que permite crear toda clase de herramientas de lado servidor y aplicaciones en JavaScript. Esta herramienta utiliza JavaScript tanto en el lado del servidor como en el del cliente. Esto permite utilizar un lenguaje de programación coherente en toda la aplicación, lo que simplifica el desarrollo y la mantenibilidad del código.

Express es el framework web que proporciona mecanismos para Escritura de manejadores de peticiones con diferentes verbos HTTP en diferentes caminos, Integración con motores de renderización de "vistas" para generar respuestas mediante la introducción de datos en plantillas y demás. El trabajar con estas tecnologías proporciona una base sólida para el desarrollo de la aplicación y permite que sea escalable y mantenible.

MySQL: Se encuentra en esta herramienta al sistema de gestión de bases de datos relacional más extendido en la actualidad el cual está basado en código abierto. MySQL es altamente escalable y puede manejar grandes volúmenes de datos y un alto número de conexiones concurrentes. Esto lo hace adecuado para aplicaciones que necesitan crecer y adaptarse a medida que aumenta la carga de trabajo tal como el presente proyecto. El contar con esta herramienta ofrece seguridad en la información y en la gestión de los datos del aplicativo al tiempo que permite la escalabilidad del mismo teniendo en cuenta que va dirigido a un amplio número de usuarios.

Bootstrap: Es un marco de desarrollo front-end gratuito y de código abierto para la creación de sitios web y aplicaciones web. Diseñado para permitir el desarrollo responsivo de sitios web orientados a dispositivos móviles, Bootstrap proporciona una colección de sintaxis para diseños de plantillas.

Angular: Es una plataforma y un framework para crear aplicaciones de una sola página en el lado del cliente usando HTML y TypeScript. Angular está escrito en TypeScript. Implementa la funcionalidad básica y opcional como un conjunto de bibliotecas TypeScript que importas en tus aplicaciones. La arquitectura de una aplicación en Angular se basa en ciertos conceptos fundamentales. Los bloques de construcción básicos son los NgModules, que proporcionan un contexto de compilación para los componentes. Los NgModules recopilan código relacionado en conjuntos funcionales; una aplicación de Angular se define por un conjunto de NgModules. Una aplicación siempre tiene al menos un módulo raíz que permite el arranque y generalmente tiene muchos más módulos de funcionalidad.

5) Diagrama Arquitectónico.

Teniendo en cuenta las herramientas que se usan, la relación entre las mismas y los componentes que conformarían el sistema se presenta el diagrama arquitectónico en la Figura 7.



Fig.7: Diagrama Arquitectónico

Nota: Fuente Propia

El diagrama arquitectónico del sistema se compone de varios módulos que interactúan para enviar datos al servidor, con cada sensor transmitiendo información específica según su fase. El flujo de la aplicación comienza con la interfaz de routers, que traslada los datos mediante el protocolo HTTP. Luego, la capa de controllers, que se define como débilmente acoplada, procesa la información utilizando el lenguaje de programación correspondiente. Una vez procesados, los

datos se envían a la capa de servicios de acceso a datos, que gestiona consultas, creación, actualización y eliminación de información en la base de datos MySQL. Esta base de datos no solo almacena datos, sino que también reconoce componentes espaciales, genera índices espaciales y permite análisis sobre esos datos. Además, la capa MQTT se encarga de crear topics a través del protocolo MQTT, gestionando la recepción de datos que, mediante la capa de servicios, se almacenan en la base de datos. Finalmente, los models definen la estructura de los datos, asegurando una organización eficaz en el manejo de la información.

6) Diagrama de Paquetes

A continuación, se describen las clases, atributos y las diferentes relaciones que se generan entre ellos las cuales son necesarias para la representación del sistema; se inicia con el archivo de arranque llamada models, este archivo inicia el servidor a escuchar lo que ingresa y sale;

posteriormente esta sección a su vez se comunica con la lógica de negocios(controllers) donde se reciben y se envían las respuestas a quien lo solicite; y procesar y generar los resultados.

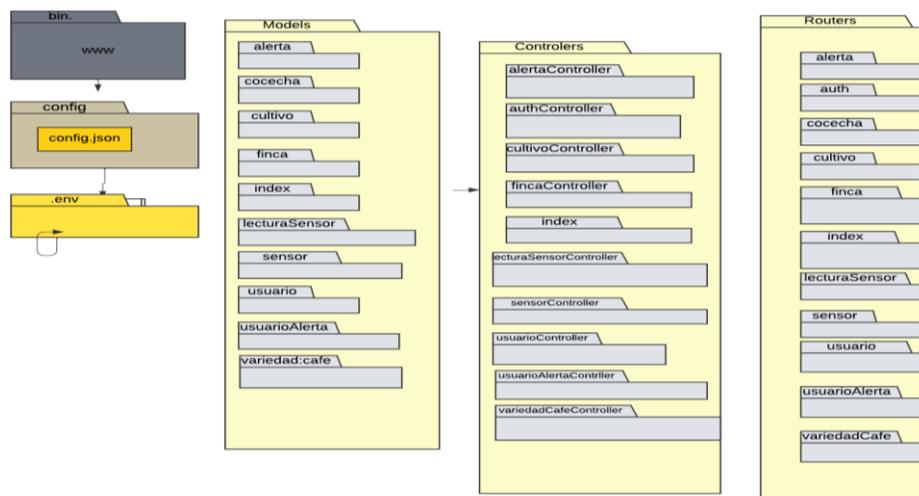


Fig.8: Diagrama de Paquetes

Nota: Fuente Propia

7) Diagrama entidad- relación.

En el modelo entidad-relación se crea una representación de las tablas y sus respectivos campos necesarios para almacenar la información de manera efectiva. La figura muestra diversas entidades como usuario, cosecha, cultivo, alerta, sensor, usuario_alerta, lectura_sensor, finca, y

variedad_cafe. Además, se establecen relaciones entre estas tablas, las cuales son fundamentales para asegurar una óptima normalización. Esto garantiza que los registros mantengan su integridad referencial, es decir, que no se pierda la conexión lógica entre ellos.

8) *Base de datos.*

Al diseñar la base de datos, se consideraron tanto los requisitos de almacenamiento como las necesidades específicas de los usuarios involucrados en el uso del sistema y en el proceso de gestión y análisis de datos.

9) *Gestión de roles.*

Para la creación e implementación de los roles se tuvo en cuenta la información recolectada de los procesos que intervienen la información obtenida permitió identificar funcionalidades específicas que permiten la interacción con el aplicativo según las necesidades del usuario, los roles que se implementan son:

- Administrador
- Agricultor

Cuando el usuario realiza el respectivo registro dentro de la aplicación y lo confirma, el aplicativo asigna un rol inicial (agricultor).

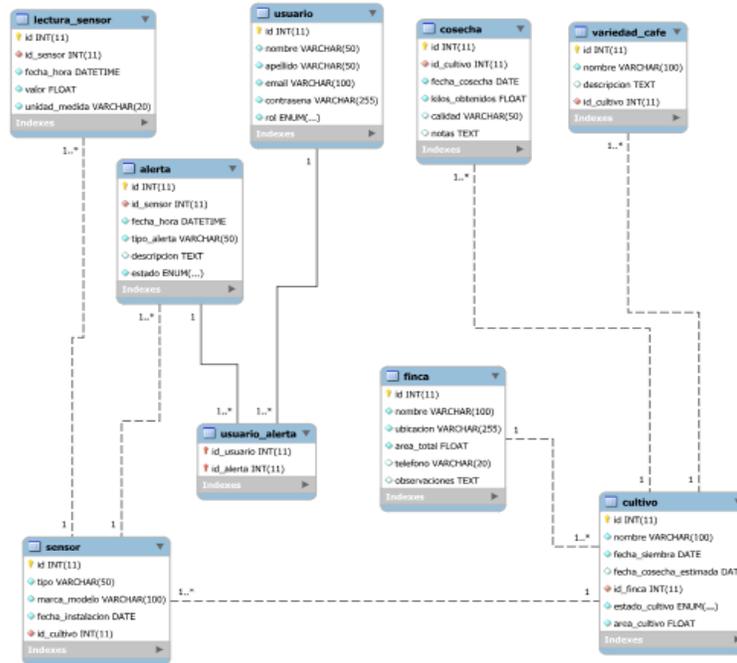


Fig. 9: Gestión de roles

Nota: Fuente Propia

10) Componentes Técnicos.

Infraestructura software: Para el desarrollo del aplicativo se utilizaron herramientas que proporcionan escalabilidad, seguridad, eficiencia entre otros; de modo que se ajusten a las necesidades de los usuarios finales del aplicativo, se presenta en la Figura se muestra una tabla con las herramientas y su nivel de relevancia.

11) Desarrollo API.

Para trabajar con la recolección de datos y realizar la replicabilidad de datos n a partir del modelo fue necesario construir un API la cual haciendo uso de, en la Figura 7 de muestra la estructura de carpetas del API.

12) Procesos

Seguimiento del proceso (creación y gestión de registros con MQTT)– (visualización general de resultados). La trazabilidad permite gestionar los datos de los registros y sus parámetros para obtener información relevante que permita conocer la calidad de la tierra. Para realizar este proceso se cuenta con CRUDS que permiten registrar la información necesaria para la creación de cada registro y llevar a cabo los procesos internos del aplicativo de forma eficiente, de igual forma esto permite evidenciar los resultados de forma visual en la herramienta.

13) Desarrollo e integración de la API y Plataforma web para la visualización de datos.

En primer lugar, se desarrolló la API, la cual permitió recolectar los primeros detalles y a su vez almacenarlos en la base de datos. Estos datos iniciales fueron fundamentales para comenzar el desarrollo de la plataforma web.

Al obtener algunos de los datos recolectados por la API, se inició la implementación de la plataforma web, diseñada para visualizar la información. La recolección de datos se llevó a cabo desde la segunda semana de febrero de 2024 hasta julio del mismo año. Finalmente, con la plataforma completada, fue posible visualizar los resultados obtenidos en la prueba de campo, evaluando el comportamiento y la eficiencia del sistema.

14) Prueba de Campo API.

Una vez se cuenta con la API fue necesario realizar pruebas de campo para confirmar la recolección de datos a partir de los modelos se está realizando de forma correcta. Para llevar a cabo las pruebas hace uso de una herramienta como POST MAN para realizar solicitudes POST y enviar los datos necesarios, buscando que la respuesta sea la esperada, tal como se ve en la figura 10.

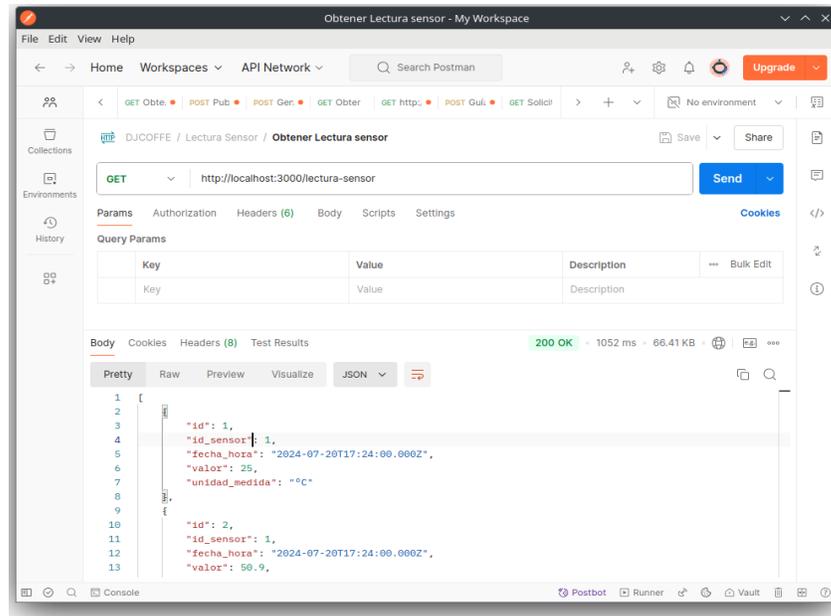


Fig.10: Solicitud de Post

Nota: Fuente Propia

Una vez realizada la prueba local para comprobar el funcionamiento de Express, se trabajó con la herramienta RENDER la cual permite trabajar con un API en un servidor WEB, en la figura 11 se puede ver la herramienta funcionando desde la consola.

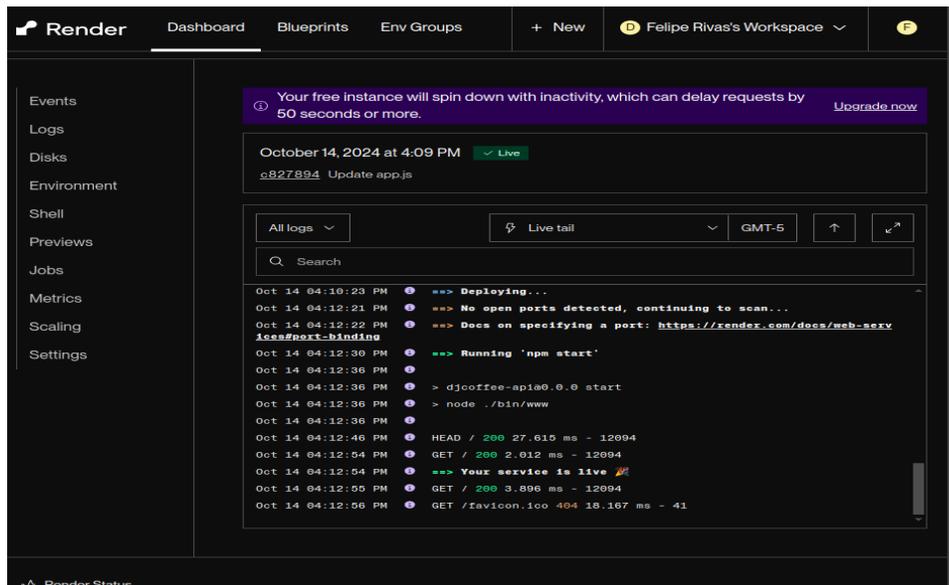


Fig. 11: Prueba con RENDER

Nota: Fuente propia

Una vez activo el servicio se lo puede visualizar en la siguiente dirección <https://djcoffee-api-s6gt.onrender.com/>, en la cual se puede visualizar los ENPOINTS creados en nuestra API

DJCoffee-API Dashboard

Bienvenido al Dashboard de la API. Aquí puedes gestionar varios aspectos de la API.

Recursos de la API

Explora diferentes recursos y funcionalidades:

Fincas	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Cultivos	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Variedades de Café	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Sensores	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Lecturas de Sensores	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Usuarios	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Alertas	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Cosechas	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL
Usuarios y Alertas	GET	GET by ID	POST	PUT	DELETE	Get Full Data	SQL

Fig. 12: Enpoints de Api

Nota: Fuente propia

En cuanto la plataforma web fue necesario realizar pruebas de campo para confirmar que los datos se están visualizando. Para llevar a cabo las pruebas locales iniciamos el lanzamiento en el puerto 4200 como se observa en la figura 13.

```
runtime.js | runtime | 12.98 kB |
| Initial Total | 11.44 MB |
Lazy Chunk Files | Names | Raw Size |
src_app_charts_chart_module_ts.js | charts-chart-module | 1.39 MB |
src_app_application_application_module_ts.js | application-application-module | 885.85 kB |
src_app_icons_icons_module_ts.js | icons-icons-module | 735.68 kB |
src_app_components_components_module_ts.js | components-components-module | 474.35 kB |
src_app_form_form_module_ts.js | form-form-module | 420.22 kB |
src_app_dashboard_dashboard_module_ts.js | dashboard-dashboard-module | 158.52 kB |
src_app_content_content_module_ts.js | content-content-module | 82.59 kB |
src_app_widgets_widgets_module_ts.js | widgets-widgets-module | 58.57 kB |
src_app_auth_auth_module_ts.js | auth-auth-module | 48.12 kB |
src_app_table_table_module_ts.js | table-table-module | 40.59 kB |
src_app_error_error_module_ts.js | error-error-module | 34.60 kB |
src_app_timeline_timeline_module_ts.js | timeline-timeline-module | 31.81 kB |
src_app_user-profile_user-profile_module_ts.js | user-profile-user-profile-module | 25.23 kB |
src_app_downloads_downloads_module_ts.js | downloads-downloads-module | 24.98 kB |
src_app_faq_faq_module_ts.js | faq-faq-module | 23.73 kB |

Build at: 2024-10-14T21:41:04.943Z - Hash: 71c80fc6a42f4ce8 - Time: 10810ms

** Angular Live Development Server is listening on localhost:4200, open your browser on http://localhost:4200/ **

✓ Compiled successfully.
✓ Browser application bundle generation complete.
```

Fig. 13: Lanzamiento en puerto 4200

Nota: Fuente Propia

Se hace el despliegue de forma local para ver el funcionamiento de los componentes y visualización de datos que se obtuvieron.



Fig. 14: Home

Nota: Fuente propia

En las siguientes graficas se observa uno de los resultados que se realizaron en las siguientes fechas 16 y17 de febrero del 2024 que se obtuvieron mediante el monitoreo con los sensores en el cultivo de café.

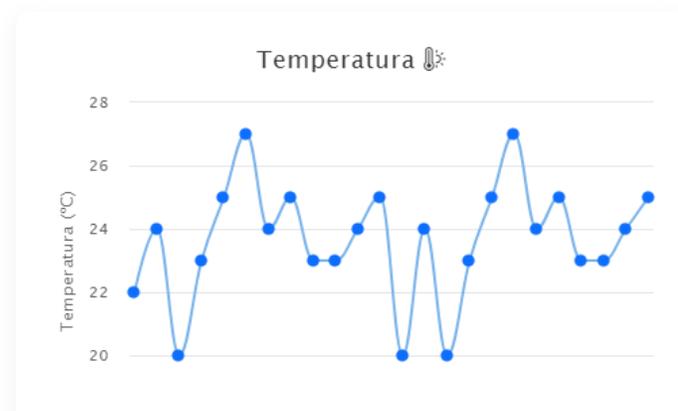


Fig.15: Grafica de resultados de Temperatura

Nota: Fuente propia

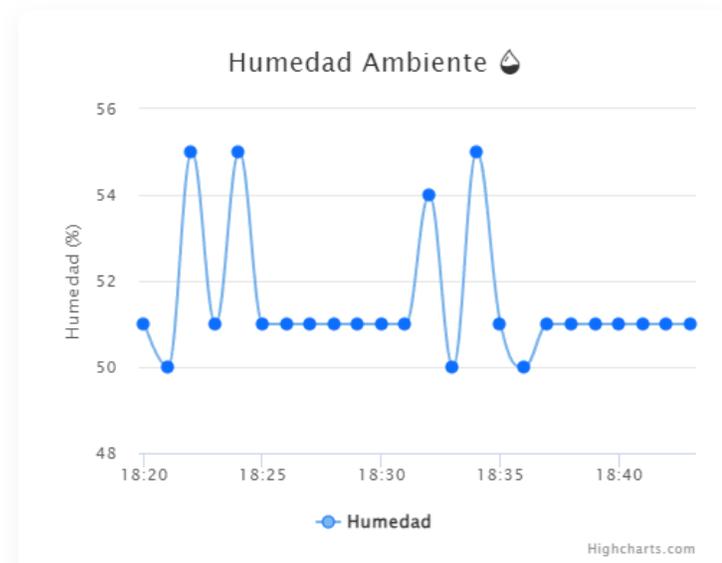


Fig. 16: Grafica de resultados de humedad de Ambiente

Nota: Fuente propia

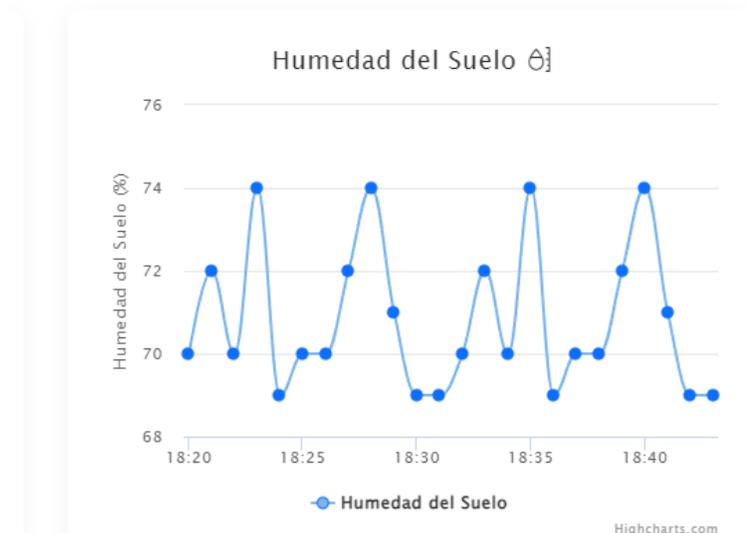


Fig.17:Grafica de resultados de humedad del suelo

Nota: Fuente propia

Después de contar con todos los elementos necesarios de la API, en la segunda semana de febrero hasta julio del presente año, se tomaron los datos ya que en estos meses son las temporadas de cosechas “grandes”.



Fig. 18: Registro fotográfico 1

Nota: Fuente propia

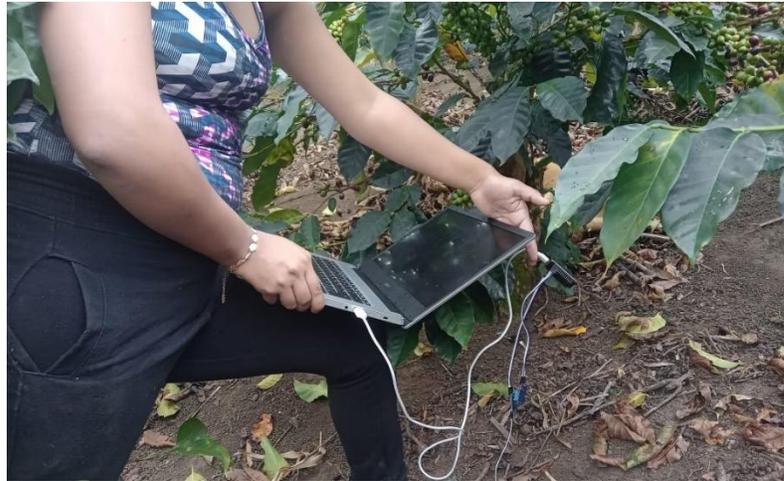


Fig. 19: Registro fotográfico 2

Nota: Fuente propia

15) Evaluación de resultados

Los resultados se obtuvieron mediante el dispositivo Esp32 la cual es una placa de desarrollo, adicional los sensores usados fueron el DHT11 (sensor de humedad y temperatura) y el higrómetro (sensor humedad de suelo), los cuales en conjunto recolectaban datos y mediante el protocolo MQTT se los enviaba a la base de datos.

Como se puede observar en la figura se está recolectando datos de temperatura y humedad, y a su vez se están publicando a través del protocolo MQTT.

```
PUBLICACION DE DATOS: 26.20,25.00,  
Temperatura: 26.20°C  
Humedad: 25.00%  
PUBLICACION DE DATOS: 26.20,25.00,  
Temperatura: 26.20°C  
Humedad: 25.00%  
PUBLICACION DE DATOS: 26.20,25.00,
```

Fig. 20: Publicación de datos MQTT

Nota: Fuente propia

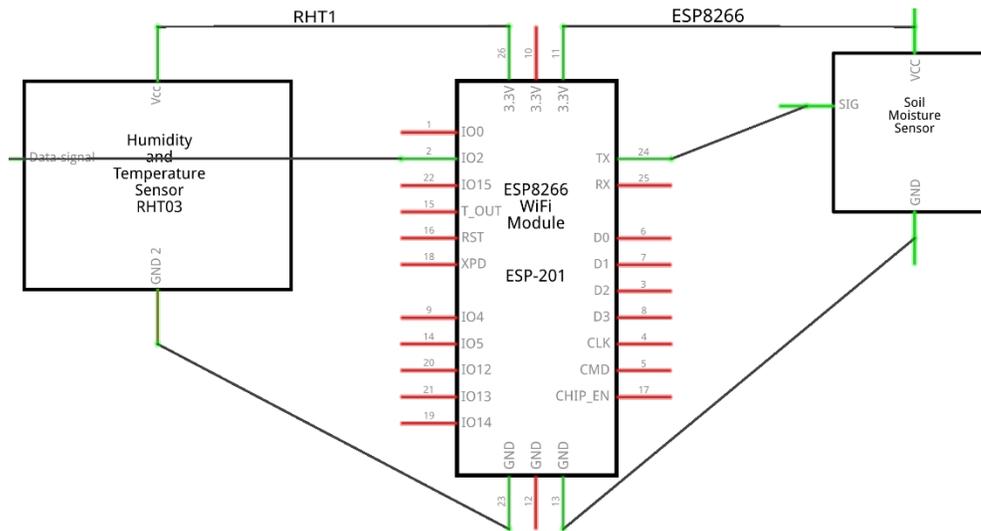


Fig.21:Diagrama esquemático

Nota: Fuente propia

Este diagrama esquemático representa la conexión entre un módulo ESP32, un sensor de humedad y temperatura (DHT11) y un sensor de humedad de suelo. el módulo ESP32 recibe señales de ambos sensores: uno para medir la temperatura y la humedad del ambiente (DHT11) y otro para medir la humedad del suelo. Luego, estos datos pueden ser procesados y enviados a través de WiFi con MQTT a la base de datos para su visualización o análisis.

Los datos se recolectaron a intervalos de una hora diaria, con los sensores enviando lecturas cada 2 minutos. Estas lecturas fueron almacenadas en una base de datos para su posterior análisis.

Para calcular la cantidad de datos recolectados en una hora, considerando que los sensores envían una lectura cada 2 minutos, puedes usar la siguiente fórmula matemática:

$$Total\ de\ datos = \left(\frac{h}{im}\right) \times ns$$

Donde *h* sería el total de minutos hora, *im* sería la cantidad de intervalos en un minuto y *ns* número de sensores :

$$Total\ de\ datos = \left(\frac{60}{2}\right) \times 2 = 60$$

Obteniendo que en una hora, se recolectan **60 lecturas** de los dos sensores.

V. ANALISIS DE RESULTADOS

La hipótesis planteada, *“El sistema de monitoreo de cultivos incrementará el coeficiente de ganancia de información mejorando la replicabilidad de la calidad de los cultivos de café”*, se cumple con los resultados obtenidos a lo largo del proyecto. Gracias al desarrollo e implementación del sistema de monitoreo basado en IoT, se logró establecer un registro constante y preciso de las variables ambientales y agrícolas. Esto representa un avance significativo frente a las prácticas anteriores, donde la recolección de datos se hacía de manera empírica y esporádica, lo que no permitía evaluar con precisión la productividad de los cultivos de café, resultando en pérdidas durante la cosecha.

El cumplimiento de los objetivos de la investigación, tanto general como específicos, respalda directamente la validación de la hipótesis.

Según el objetivo general *“Implementar un sistema de monitoreo basado en Internet de las cosas (IoT) para la recopilación de datos ambientales y agrícolas en tiempo real, estableciendo un registro de variables que permita mejorar la calidad del monitoreo de los cultivos de café en el municipio de Taminango, Nariño.”* Este objetivo general fue cumplido al desarrollar una solución de monitoreo mediante sensores y el módulo ESP32, que permite recopilar y almacenar datos en tiempo real. La implementación del sistema logró establecer un flujo constante de información, lo que proporcionó un panorama detallado sobre las condiciones de los cultivos de café y permitió una mejor toma de decisiones para mejorar su productividad.

Se cumplió este objetivo al integrar sensores que midieron variables críticas como la humedad del suelo y la temperatura, almacenando estos datos en una base de datos. El análisis de estos registros permitió identificar patrones y comportamientos que antes no eran evidentes, mejorando así la replicabilidad de los resultados. Esto fue esencial para incrementar el coeficiente de ganancia de información y para que los agricultores puedan replicar prácticas de cultivo.

Se desarrolló la plataforma web que no solo muestra los datos en tiempo real, sino que también permite consultar el historial de mediciones. Esto mejoró significativamente la calidad del monitoreo, proporcionando a los usuarios una visión integral y accesible de los datos. La

visualización en tiempo real ayudó a identificar de forma inmediata cualquier cambio en las condiciones del cultivo, lo que es fundamental para optimizar las decisiones en el proceso agrícola.

Los datos recolectados durante la prueba de campo validaron la eficiencia del sistema de monitoreo en términos de cantidad y calidad. La evaluación de la información permitió determinar un aumento significativo en el coeficiente de ganancia de información en comparación con los métodos tradicionales de monitoreo. Este incremento se debió a la capacidad del sistema para ofrecer datos consistentes, detallados y precisos, que ayudaran a mejorar la replicabilidad de la calidad de los cultivos de café. Uno de los antecedentes más relevantes es el desarrollado por **Aldi Raharja**, quien observó problemas de inconsistencia en la calidad de los granos de café debido a la falta de datos y estándares en el proceso de producción. Raharja fundó **CeriTech Indonesia**, que creó un dispositivo basado en IoT para monitorear el proceso de fermentación y secado del café. Este dispositivo registraba variables como temperatura, humedad e intensidad de la luz, proporcionando datos en tiempo real a través de una aplicación móvil para mejorar la calidad de los granos de café.

Al comparar este antecedente con los resultados obtenidos en el proyecto de monitoreo de cultivos de café en Taminango, se evidencia que ambos buscan mejorar la calidad del café mediante el uso de IoT para monitorear variables críticas. En el caso de Raharja, el enfoque estaba en las etapas de fermentación y secado, mientras que, en el proyecto de Taminango, el sistema se centró en variables ambientales y agrícolas (humedad del suelo, temperatura). Ambos sistemas lograron establecer un flujo continuo de información en tiempo real, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas para replicar la calidad del café.

En términos de cumplimiento de hipótesis y objetivos, ambos proyectos coinciden en que la implementación de tecnologías IoT incrementa significativamente la **ganancia de información** y la **replicabilidad de la calidad** en la producción del café, validando la importancia de los datos precisos para mejorar los procesos agrícolas.

CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo ha facilitado la creación de un historial detallado de datos ambientales, lo que permite evaluar cambios estacionales y su impacto en los cultivos de café. Esta información histórica se convierte en una herramienta valiosa para planificar estrategias a largo plazo, anticipar riesgos climáticos y ajustar las prácticas de cultivo con mayor precisión en futuras temporadas.
- Gracias a la recolección y análisis de los datos de temperatura y humedad, se ha logrado una mayor precisión en el monitoreo de las condiciones ambientales que afectan los cultivos de café. La medición constante de estas variables ha permitido identificar patrones y comportamientos específicos del clima local, optimizando el manejo de los cultivos y facilitando la toma de decisiones más informadas. Esta mayor exactitud en los datos contribuye a mejorar la eficiencia de las prácticas agrícolas, ayudando a mantener condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo del café en el municipio de Taminango.
- Se obtuvo información clave sobre los procesos de cultivo de café, lo que permitió el desarrollo de un sistema de monitoreo adecuado a las necesidades del sector agrícola de la región. Este sistema, basado en tecnologías IoT, ha demostrado ser eficiente para la replicabilidad de los datos, lo que permite aplicar este enfoque en otros cultivos o regiones con características similares. La implementación del sistema ha facilitado una mayor comprensión de las dinámicas ambientales que impactan en la productividad del café.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un proceso de evaluación continua del sistema, recogiendo regularmente retroalimentación de los usuarios (agricultores y técnicos) para identificar áreas de mejora. Esto ayudaría a garantizar que el sistema siga cumpliendo las necesidades del cultivo de café en diferentes estaciones y situaciones climáticas. La retroalimentación también podría guiar la incorporación de nuevas funcionalidades en futuras actualizaciones.
- Una mejora clave al sistema de monitoreo sería que con algoritmos de análisis predictivo o modelos de inteligencia artificial permitan prever problemas potenciales en los cultivos, como sequías, plagas o enfermedades.
- Desarrollar herramientas dentro de la aplicación que permitan realizar análisis comparativos entre los datos históricos recolectados en diferentes ciclos de cultivo o estaciones del año. Esto ayudaría a los agricultores a identificar tendencias a largo plazo y tomar decisiones estratégicas para mejorar la gestión de los cultivos de manera más informada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BASF. [En línea]. Available: <https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-iot.html>. [Último acceso: 6 de octubre de 2023].

[2] A. Inteligente. [En línea]. Available: <https://safetyculture.com/es/temas/agricultura-inteligente/#:~:text=La%20agricultura%20inteligente%20es%20una,y%20reducir%20el%20impacto%20medioambiental>.

[3] P. Café. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2023/01/24/perdida-cafe-cadena-produccion/>. [Último acceso: 25 de octubre de 2023].

[4] F. Enriquez, «Perfect Daily Grind,» 2023. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2023/01/24/perdida-cafe-cadena-produccion/>. [Último acceso: 27 de octubre de 2023].

[5] Colciencias, «Reporte colciencias,» 2022.

[6] M. Alejandra. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/851/BermudezBallen-MonicaAlejandra-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[7] V. Agronómicas. [En línea]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc070%2801%29081-090.pdf>.

[8] K. K. Mulia, «Alibaba Cloud,» 18 de enero de 2022. [En línea]. Available: https://www.alibabacloud.com/blog/ceritech-indonesia-improve-coffee-production-using-iot_598488. [Último acceso: 7 de octubre de 2023].

[9] «Repositorio UG». [En línea]. Available: <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/63b460aa-e288-407c-8087-dd76a5d018b0/content>.

[10] Q. Espresso, 2023.

[11] S. A. Savaleta, 2020.

[12] M. Espinoza, 2019. [En línea]. Available: <file:///D:/Users/USER/Downloads/admin,+533.pdf>. [Último acceso: noviembre de 2023].

[13] Universidad de los Andes, 12 de diciembre de 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/64067/Red%20inal%C3%A1mbrica%20de%20sensores%20para%20monitoreo%20de%20cultivo%20de%20caf%C3%A9.pdf?isAllowed=y&sequence=2>. [Último acceso: 7 de octubre de 2023].

[14] G. A. Torres, «Aplicación y Evaluación de un Modelo de Aprendizaje de Máquina Enfocado en la Monitoría de las Variables Medio Ambientales de un Cultivo de Café en la Finca Tesalia,» 2020.

[15] D. F. Aceros, 2020.

[16] E. R. Gutierrez Yesid, 2010.

[17] O. Durán, «Santa Marta,» 2019.

[18] Colciencias, «Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación en Ciencias Agropecuarias,» Pasto-Nariño, 2021.

[19] M. Quiñonez, «Cauca,» 2021.

[20] K. Beltrán, «Análisis del Sector Lechero».

[21] L. Y. O. Sánchez, 2020.

[22] SENA. [En línea]. Available: <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=4729>.

[23] D. Evans, «Internet de las cosas,» [En línea]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf, 2011.

[24] «Monitoreo». [En línea]. Available: <https://definicion.de/monitoreo/>.

[25] «Mosquitto: Server and Client Implementation,» 2014.

[26] R. R. Palacio, «En Ingeniería en Estado Sonora,» 2018.

[27] Tienda del Café. [En línea]. Available: <https://latiendadelcafe.co/blogs/cafe-colombiano/origen-narino-un-cafe-a-la-altura>. [Último acceso: 2023].

[28] «Plan de Desarrollo Municipal,» Pasto-Nariño, 2004-2007.

[29] «Reproducibilidad de la Ciencia». [En línea]. Available: <https://blog.orvium.io/es/reproducibilidad-ciencia/#:~:text=Replicabilidad%20significa%20obtener%20resultados%20consistentes,a%20la%20misma%20pregunta%20cient%C3%ADfica..>

[30] R. Areny, «Sensores Acondicionadores de Señales,» [En línea]. Available: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Eevyk28_fVkc&oi=fnd&pg=PR11&dq=que+es+u#v=onepage&q=que%20es%20u&f=false. [Último acceso: 10 de octubre de 2023].

[31] T. IoT, 1 de noviembre de 2023. [En línea]. Available: <https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-iot.html#:~:text=El%20IoT%20en%20la%20agricultura%20permite%20conectar%20diferentes%20dispositivos%20para,rastrear%20cualquier%20tipo%20de%20anomal%C3%ADa>.

[32] «Dashboard». [En línea]. Available: <https://www.cyberclick.es/numerical-blog/que-es-un-dashboard>.

[33] Perfect Daily Grind. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2021/02/17/tecnologias-digitaes-como-mejoran-los-procesos-en-las-fincas-de-cafe/>.

[34] CENICAFE. [En línea]. Available: https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf.

[35] Cenicafe, «Sistemas de Producción,» [En línea]. Available: https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf.

[36] Scielo. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692017000100089. [Último acceso: 2023].

[37] «Potenciar el Trabajo de los Agricultores». [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2021/01/11/como-la-educacion-puede-potenciar-el-trabajo-de-los-caficultores/>. [Último acceso: 2023].

[38] «Agricultores». [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000701615.

[39] «Investigación». [En línea]. Available: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.

[40] S. G. Posada, «Sistemas de Cultivo de Café». [En línea]. Available: <https://quecafe.info/sistemas-de-cultivo-de-cafe-como-cultivar-cafe/>.

[41] T. I. de Sistemas, «Dashboard Web para la Monitorización de Motociclistas en la Ciudad de Pasto,» Pasto-Nariño, 2023.

[42] «Monitoreo y Evaluación,» 2023.

[43] Amazon, «AWS,» [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/>. [Último acceso: 2023].

[44] «Metodología de la Investigación Capítulo III». [En línea]. Available: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0105003/cap03.pdf>.

[45] Kistler, «Calibración del Sensor». [En línea]. Available: <https://www.kistler.com/INT/es/calibracion-del-sensor/C00000152>. [Último acceso: 22 de noviembre de 2023].

[46] MokoLora, «Cómo Elegir el Mejor Sensor de Temperatura y Humedad IoT». [En línea]. Available: <https://www.mokolora.com/es/iot-temperature-and-humidity-sensor/>. [Último acceso: 24 de noviembre de 2022].

[47] PNUD Colombia, «Perfil Productivo Taminango - Nariño». [En línea]. Available: [48] Etapas del Proceso de Producción del Café | Café Arabo. (2021, November 18). Café Arabo. <https://cafearabo.com/etapas-proceso-produccion-cafe/>

[49] Café de calidad: características | Bonka. (n.d.). Www.bonka.es. Retrieved November 22, 2023, from <https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/caracteristicas-cafe-calidad>

[50] Carrasco, N. (2017, February 9). Cómo la Tecnología Puede Hacer que el Café sea más Atractivo para los Jóvenes. Perfect Daily Grind Español. <https://perfectdailygrind.com/es/2017/02/09/como-la-tecnologia-puede-hacer-que-el-cafe-sea-mas-atractivo-para-los-jovenes/>

[51] (2023). Ujaen.es. https://web.ujaen.es/investiga/tics_tfg/enfo_cuanti.html

[40] Posada, S. G. (2019, May 20). Sistemas de Cultivo de Café. ¡Descubre cómo cultivar café! Qué Café! <https://quecafe.info/sistemas-de-cultivo-de-cafe-como-cultivar-cafe/>

[52] Newton, T. (2018, February 26). ¿Qué Tan Importante Es La Altura Para La Calidad del Café? Perfect Daily Grind Español. <https://perfectdailygrind.com/es/2018/02/26/que-tan-importante-es-la-altura-para-la-calidad-del-cafe/>

[53] <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc070%2801%29081-090.pdf>

[54] IoT y la cadena de suministro de café. (n.d.). Es.digi.com. Retrieved November 22, 2023, from <https://es.digi.com/blog/post/iot-and-the-coffee-supply-chain>

ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionario. Encuesta de recolección de información.

DJ COFFE



NOMBRE DEL CANDIDATO		REALIZADO POR	
FECHA DE LA ENTREVISTA		HORA DE INICIO DE LA ENTREVISTA	HORA DE FINALIZACIÓN DE LA ENTREVISTA
TÍTULO DE LA POSICIÓN		DEPARTAMENTO DE POSICIÓN	

PREGUNTAS DE LA ENTREVISTA

¿Utilizan algún tipo de análisis de suelo (físico, químico o biológico) antes de cada temporada de siembra?
¿Utilizan alguna tecnología (sensores, drones, software) para monitorear el estado de las tierras o las plantas?
¿Cómo determinan que es el momento adecuado para cosechar el café?
¿Qué medidas toman para proteger el cultivo de condiciones climáticas extremas, como sequías o lluvias intensas?

Nombre

C.C

FIRMA DEL ENTREVISTADO

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 22/NOV/2024

ENTREGA DE TRABAJO

San Juan de Pasto, 02/02/2025

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 basado en IoT para la replicabilidad de datos de los cultivos de café en el municipio de Taminango** presentado por los autores **Diana Alexandra Araujo Paz y Jazmin Selene Vallejo Botina**, 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,



Joan Carlos Ayala Benavides
CC: 87067598
Ingeniería en sistemas
Cel:3005910463
jcayala@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Diana Alexandra Araujo Paz	Documento de identidad: 1004749358
Correo electrónico: Araujodiana2710@gmail.com	Número de contacto: 3182494190
Nombres y apellidos del autor: Jazmin Selene Vallejo Botina	Documento de identidad: 1193224472
Correo electrónico: Vallejojazmin38@gmail.com	Número de contacto: 3185176238
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: Joan Carlos Ayala Benavides	Documento de identidad: 87067598
Correo electrónico: jcayala@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3005910463
Título del trabajo de grado: Sistema de monitoreo basado en IoT para la replicabilidad de datos de los cultivos de café en el municipio de Taminango	
Facultad y Programa Académico: Ingeniería 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 termino 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.

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MIREDCACIÓN</p>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

- 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:

- Permiso(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 02 días del mes de Febrero del año 2025

<i>Diana Araujo</i> Firma del autor	<i>Jazmin Vallejo</i> Firma del autor
Diana Alexandra Araujo Paz	Jazmin Selene Vallejo Botina
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Firma del asesor Joan Carlos Ayala	