

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS  
CARRERA INGENIERÍA EN SISTEMAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN MODALIDAD PROYECTO INTEGRADOR**

**TEMA:**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADO EN IOT Y REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE CULTIVOS DE CAFÉ EN LA FINCA EXPERIMENTAL LODANA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**DIRECTOR:**

**ING. MACHUCA AVALOS MIKE PAOLO, MG.**

**AUTORA:**

**SOLÓRZANO PALMA ALISSON TATIANA**

**MANTA – MANABÍ – ECUADOR**

**2024-2**



**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Título Proyecto Integrador**

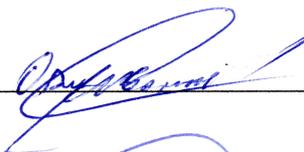
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN  
BASADO EN IOT Y REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA  
GESTIÓN INTEGRAL DE CULTIVOS DE CAFÉ EN LA FINCA EXPERIMENTAL  
LODANA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

TRIBUNAL EXAMINADOR QUE DECLARA APROBADO EL GRADO DE  
INGENIERA EN SISTEMA DE:

Solórzano Palma Alisson Tatiana

**TRIBUNAL 1**

A.S. Oscar González López, Mg.

  
\_\_\_\_\_

**TRIBUNAL 2**

Arq. Luigi Pihuave Calderón, Mg.

  
\_\_\_\_\_

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Lcda. Dolores Muñoz Verduga, PhD.

  
\_\_\_\_\_

Manta, 12 de febrero del 2025.

## DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

Yo, Solórzano Palma Alisson Tatiana (identificado con la cédula de ciudadanía 1314979491), en calidad de autora del trabajo de titulación “Implementación de un Sistema de Agricultura de Precisión basado en IoT y Redes de Sensores Inalámbricos para la Gestión Integral de Cultivos de Café en la Finca Experimental Lodana de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”, autorizamos a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí a hacer uso total o parcial de este trabajo de titulación del que soy responsable, con fines estrictamente académicos o investigativos.

Lo certifica,



---

Solórzano Palma Alisson Tatiana  
1314979491  
e1314979491@live.uleam.edu.ec

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 2 Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría de la estudiante SOLORZANO PALMA ALISSON TATIANA, legalmente matriculada en la carrera de INGENIERÍA EN SISTEMAS, período académico 2024 (2), cumpliendo el total de 400 horas, bajo la opción de titulación de Proyecto Integrador, cuyo tema del proyecto es "Implementación de un Sistema de Agricultura de Precisión basado en IoT y Redes de Sensores Inalámbricos para la Gestión Integral de Cultivos de Café en la Finca Experimental Lodana de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 06 de enero de 2025.

Lo certifico,



Ing. Mike Paolo Machuca Ávalos, Mg.  
**Docente Tutor**  
**Área: Electrónica**

## DEDICATORIA

“A todas las personas que hicieron posible que hoy pueda alcanzar este importante logro en mi vida, gracias por su apoyo, por las enseñanzas compartidas y por creer en mí cuando más lo necesité. Cada palabra de aliento, cada gesto de ayuda y cada momento compartido fueron fundamentales para llegar a este día.

A mi familia, por ser mi refugio, mi fuerza y mi mayor motivo para seguir adelante. Su amor incondicional y su confianza en mí han sido la base de cada paso que he dado en este camino.

En especial, a mi hermana menor, por ser mi alegría constante, mi compañera y mi inspiración. Gracias por tu cariño, tus palabras sinceras y por recordarme siempre lo importante de soñar en grande. Este logro es para ti también, porque en cada esfuerzo está el amor que me inspiras.”

## **AGRADECIMIENTOS.**

*Un agradecimiento especial a mi familia por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Su amor, apoyo incondicional y fe en mis capacidades han sido la base sobre la que he construido este logro. Cada sacrificio y palabra de aliento han sido una motivación constante para seguir adelante.*

*A los docentes, por compartir su conocimiento, por su paciencia y por guiarme a lo largo de este camino académico. Su dedicación y compromiso dejaron una huella imborrable en mi formación, y gracias a ustedes hoy tengo la oportunidad de sustentar este trabajo de titulación.*

*A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por haber hecho posible este momento tan importante en mi vida.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	2
DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA.....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	6
Índice de imágenes.....	8
Índice de tablas.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I .....	12
1.1.    Introducción .....	13
1.2.    Presentación del tema .....	14
1.3.    Ubicación y Contextualización de la Problemática.....	14
1.4.    Planteamiento de problema.....	15
1.5.    Diagrama causa – efecto del problema .....	18
1.6.    Objetivos .....	18
1.7.    Justificación .....	19
1.8.    Impactos esperados .....	20
CAPÍTULO II.....	23
2.    MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.1 Antecedentes históricos .....	24
2.2 Antecedentes de investigaciones relacionadas al tema presentado.....	25
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	32
2.3.1 Agricultura de Precisión .....	33
2.3.2 Etapas de la agricultura de precisión .....	35
2.3.3 WSN (Redes de sensores inalámbricos) .....	37
2.3.4 Nodos .....	38
2.3.5 Topologías.....	39
2.3.6 WSN Aplicadas a la Agricultura.....	40
2.3.7 IoT.....	41
2.3.8 Arquitectura IoT.....	44
2.3.9 Protocolo de Comunicación IoT .....	45

2.3.10 Redes LPWAN.....	47
2.3.11 LoRa.....	48
2.3.12 LoRaWAN .....	49
2.3.13 Café en el Ecuador .....	50
2.3.14 Cultivo de café .....	51
2.3.15 Tipos de café .....	51
2.3.16 Híbridos de café .....	52
2.4 Conclusiones del Marco Teórico .....	54
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>56</b>
<b>3. MARCO INVESTIGATIVO (DISEÑO METODOLÓGICO) .....</b>	<b>57</b>
3.1. Introducción .....	57
3.2. Tipo de investigación.....	58
3.3. Método(s) de investigación.....	59
3.4. Fuentes de información de datos.....	60
3.5. Fuentes de información de datos.....	62
3.6. Mecanismos para la recolección de datos .....	65
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>76</b>
<b>4. MARCO PROPOSITIVO (ELABORACION DE LA PROPUESTA).....</b>	<b>77</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	77
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	78
4.3. DETERMINACIÓN DE RECURSOS .....	80
4.4 ETAPAS DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA (SOFTWARE) .....	82
4.5 Distribución Estratégica de Sensores para el Monitoreo del Agua en la Finca Experimental Lodana .....	118
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>121</b>
<b>5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>122</b>
5.1. Introducción .....	122
5.2. Presentación y monitoreo de resultados.....	122
5.3. Interpretación objetiva .....	128
Interpretación Objetiva .....	128
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>129</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>138</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>142</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1: Finca Experimental Lodana	14
Figura 2: Diagrama causa y efecto	18
Figura 3: Procesos de la AP para un cultivo	35
Figura 4: Redes de Sensores Inalámbricos y Nodos de Conexión	38
Figura 5: Tipos de topologías de red	40
Figura 7: Modelo de referencia IoT	42
Figura 8: Internet of things	43
Figura 9: Concepto de IoT	43
Figura 10: Capas IoT	44
Figura 11: Arquitectura LoRaWAN	50
Figura 12: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta	70
Figura 13: Resultados de la pregunta 2 de la encuesta	71
Figura 14: Resultados de la pregunta 3 de la encuesta	72
Figura 15: Resultados de la pregunta 4 de la encuesta	73
Figura 16: Resultados de la pregunta 5 de la encuesta	74
Figura 17: Resultados de la pregunta 6 de la encuesta	75
Figura 18: Topografía Finca Experimental Lodana	83
Figura 19: Arquitectura LoRa para aplicativo web	102
Figura 20: Wifi LoRa 32 V2	105
Figura 21: Sensor YL-69	106
Figura 22: Topología de dispositivo receptor	107
Figura 23: Arquitectura de sistema de sensores	109
Figura 24: Pantalla de inicio de sesión	110
Figura 25: Página principal	110
Figura 26: Página de Monitoreo	111
Figura 27: Página de Estadísticas	111
Figura 28: Arquitectura para red emisor	113
Figura 29: Proyecto Firebase	114
Figura 30: Agregar script de firebase al html	115
Figura 31: Configuración de Firebase utilizando las credenciales obtenidas.	115
Figura 32: Importación y ajuste de firebase al proyecto	115
Figura 33: Autenticación	116
Figura 34: Base de datos en tiempo real	117
Figura 35: Inicialización con las credenciales de firebase.	118
Figura 36: Instalación de sensores	119
Figura 37: Preparación de tierra en Finca Lodana	120
Figura 38: Sensores de suelo	120

## ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1: Etapas de implementación de la agricultura de precisión</i>	37
<i>Tabla 2: Objetivos del Analisis</i>	68
<i>Tabla 3: Recursos tecnológicos</i>	80
<i>Tabla 4: Presupuesto de las tecnologías LoRa.</i>	81
<i>Tabla 5: Costos de implementación</i>	81
<i>Tabla 6: Backlog seleccionada para sprint</i>	84
<i>Tabla 7: Tareas asignadas para Sprint.</i>	84
<i>Tabla 8: Backlog seleccionado para cada sprint.</i>	86
<i>Tabla 9: Tareas asignadas para el sprint</i>	86
<i>Tabla 10: Backlog seleccionado para el sprint 3.</i>	88
<i>Tabla 11: Tareas asignadas para el sprint 3.</i>	88
<i>Tabla 12: Objetivo clave 1</i>	96
<i>Tabla 13: Objetivo clave 2</i>	96
<i>Tabla 14: Objetivo clave 3</i>	97
<i>Tabla 15: Objetivo clave 4</i>	97
<i>Tabla 16: Objetivo clave 5</i>	98
<i>Tabla 17: Preparación del entorno de trabajo.</i>	98
<i>Tabla 18: Implementación y Configuración de Tecnologías</i>	99
<i>Tabla 19: Ejecución de Pruebas Iniciales.</i>	99
<i>Tabla 20: Unificación de Sistemas Implementados.</i>	99
<i>Tabla 21: Formación Especializada del Personal.</i>	99
<i>Tabla 22: Supervisión continua del desempeño</i>	100
<i>Tabla 23: Análisis de Impacto Inicial</i>	100
<i>Tabla 24: Interacciones de mejora</i>	100
<i>Tabla 25: Niveles de nitrógeno</i>	123
<i>Tabla 26: Datos del proceso de monitoreo</i>	124

## RESUMEN.

Este proyecto tiene como objetivo modernizar la manera en que se manejan los cultivos de café en la Finca Experimental Lodana, utilizando tecnologías innovadoras como el Internet de las Cosas (IoT) y redes de sensores inalámbricos. La idea principal es aplicar herramientas de agricultura de precisión para mejorar la productividad y cuidar los recursos de forma más inteligente.

Se evaluó cómo está funcionando actualmente la finca y detectamos oportunidades para mejorar, sobre todo en la recolección de datos y el manejo del riego y fertilización. Luego, instalamos sensores que miden cosas tan importantes como la humedad del suelo, la temperatura y la luz solar. Estos sensores envían información en tiempo real a una plataforma central, donde podemos analizar qué necesitan las plantas en cada momento.

Con toda esta información, diseñamos un sistema que permite tomar decisiones mucho más acertadas, como cuándo regar o aplicar fertilizantes. También creamos un modelo que nos ayuda a predecir posibles problemas, como enfermedades o falta de agua, para actuar antes de que se conviertan en un problema mayor. Para que todo funcione bien a largo plazo, sugerimos capacitar al equipo de la finca en estas nuevas tecnologías, asegurarnos de dar mantenimiento a los dispositivos y explorar formas de usar energías renovables para alimentarlos.

Con este enfoque, la Finca Experimental Lodana podría convertirse en un ejemplo de cómo la tecnología puede transformar la agricultura, haciendo que sea más eficiente, sostenible y beneficiosa tanto para las personas como para el medio ambiente.

## **ABSTRACT.**

This project aims to modernize how coffee crops are managed at the Lodana Experimental Farm by using innovative technologies like the Internet of Things (IoT) and wireless sensor networks. The main idea is to apply precision agriculture tools to boost productivity and make smarter use of resources.

We started by evaluating the farm's current setup and identifying areas for improvement, particularly in data collection and managing irrigation and fertilization. Then, we installed sensors to measure critical factors such as soil moisture, temperature, and sunlight. These sensors send real-time information to a centralized platform, where we can analyze what the plants need at any given moment.

Using this data, we designed a system to make more informed decisions, such as when to irrigate or apply fertilizers. We also developed a predictive model that helps anticipate potential issues like diseases or water shortages, allowing us to address them before they become major problems. To ensure long-term success, we recommend training the farm team in these new technologies, maintaining the equipment regularly, and exploring ways to power the devices with renewable energy.

With this approach, the Lodana Experimental Farm could become a model for how technology can transform agriculture, making it more efficient, sustainable, and beneficial for both people and the environment.

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión se ha consolidado como una herramienta clave para optimizar los procesos de producción agrícola, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible de los recursos. En este contexto, el desarrollo de sistemas basados en Internet de las Cosas (IoT) y redes de sensores inalámbricos ofrece nuevas oportunidades para mejorar el manejo integral de cultivos, como el café, un producto de gran relevancia económica y cultural en muchas regiones del mundo.

La tecnología IoT permite la conexión y comunicación de dispositivos inteligentes que recolectan y analizan datos en tiempo real. Entre las opciones tecnológicas disponibles, la arquitectura LoRaWAN (Red de Área Extensa de Baja Potencia) se destaca por su capacidad para conectar dispositivos que consumen poca energía y transmitir datos a largas distancias. Esto resulta especialmente útil en áreas rurales o de difícil acceso, donde otras soluciones podrían no ser tan efectivas. LoRaWAN proporciona una infraestructura eficiente y económica para la implementación de redes de sensores, permitiendo el monitoreo continuo de variables críticas como humedad del suelo, temperatura, calidad del aire y otros factores clave para el desarrollo de los cultivos.

En la finca experimental Lodana de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, la aplicación de esta tecnología representa una oportunidad para transformar las prácticas agrícolas tradicionales en un modelo tecnológicamente avanzado y sostenible. Este proyecto permitirá no solo optimizar el uso de recursos naturales como agua y fertilizantes, sino también mejorar la productividad y la calidad del café producido. Además, establecerá una base de conocimiento que podrá ser replicada en otras fincas de la región, promoviendo el desarrollo del sector cafetero.

La implementación de sistemas basados en LoRaWAN también contribuirá al desarrollo sostenible al reducir el impacto ambiental asociado con el manejo agrícola tradicional. La capacidad de monitorear y analizar datos en tiempo real permitirá tomar decisiones informadas y adaptativas, minimizando el desperdicio de recursos y mitigando los efectos negativos en el ecosistema. Por otra parte, este modelo también puede generar impactos

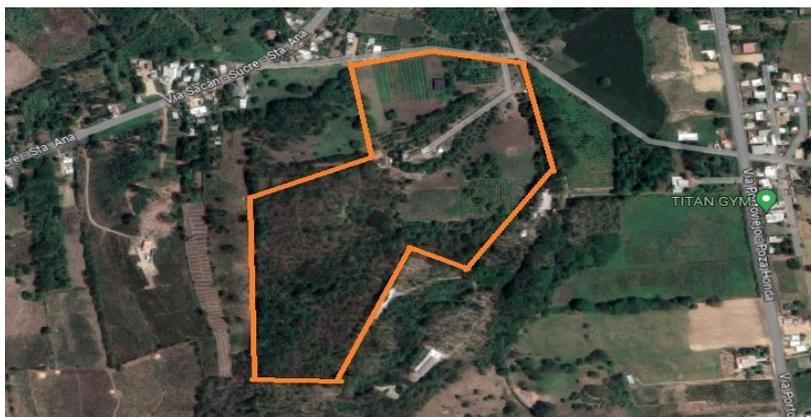
positivos en la economía local, al aumentar la rentabilidad de los cultivos y fomentar la adopción de tecnologías innovadoras por parte de los agricultores.

Este proyecto no solo busca mejorar la gestión agrícola en la finca Lodana, sino también establecer un referente tecnológico y sostenible que pueda ser adoptado en otros contextos agrícolas, contribuyendo al fortalecimiento del sector cafetalero a nivel local y regional.

## 1.2. PRESENTACIÓN DEL TEMA

Implementación de un Sistema de Agricultura de Precisión basado en IoT y Redes de Sensores Inalámbricos para la Gestión Integral de Cultivos de Café

## 1.3. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.



*Figura 1: Finca Experimental Lodana*

La Finca Experimental Lodana, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, es un espacio dedicado a la investigación y desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles. Esta región es conocida por su producción de café, que enfrenta desafíos significativos debido a factores como la variabilidad climática, la degradación del suelo, y la falta de infraestructura tecnológica adecuada. Adicionalmente, el cambio climático ha intensificado las fluctuaciones en los patrones de lluvia y temperatura, afectando directamente los rendimientos de los cultivos.

En la finca, los métodos tradicionales de cultivo y gestión no están equipados para enfrentar estas problemáticas de manera eficiente. La dependencia en la experiencia empírica y en técnicas convencionales limita la capacidad de los agricultores para responder rápidamente a las condiciones cambiantes del entorno. Por ejemplo, la falta de información en tiempo real sobre la humedad del suelo o las condiciones atmosféricas conduce a un uso ineficiente de recursos como el agua y los fertilizantes. Esto no solo incrementa los costos operativos, sino que también genera impactos ambientales adversos.

La situación se agrava debido a la competencia en el mercado global del café, donde la calidad y la sostenibilidad son factores clave para la comercialización. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas para la gestión agrícola no solo representa una oportunidad de mejora, sino una necesidad urgente para garantizar la competitividad y sostenibilidad de los cultivos en la región.

## **1.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

La producción de café en la Finca Experimental Lodana enfrenta diversos desafíos debido a la falta de tecnologías avanzadas para la gestión agrícola. Los métodos tradicionales utilizados resultan insuficientes para responder a los retos que plantean la variabilidad climática y la necesidad de optimizar recursos como agua y fertilizantes. Esta situación impacta negativamente en los rendimientos, incrementa los costos de producción y genera efectos adversos en el medio ambiente. Por ello, se requiere un sistema innovador que integre tecnologías modernas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los cultivos de café.

### **1.4.1 PROBLEMATIZACIÓN**

La gestión de los cultivos de café en la Finca Experimental Lodana enfrenta varios problemas clave que limitan su eficiencia y sostenibilidad:

**Dependencia de métodos tradicionales:** Los agricultores utilizan prácticas basadas en experiencia empírica, lo que resulta en decisiones subóptimas y en un menor aprovechamiento de los recursos disponibles.

**Uso ineficiente de insumos:** El empleo excesivo o deficiente de agua, fertilizantes y otros recursos genera desperdicio y aumenta los costos operativos, además de provocar impactos negativos en el medio ambiente.

**Baja competitividad en el mercado:** El café producido no cumple con los estándares internacionales de calidad y sostenibilidad, reduciendo su aceptación en mercados globales.

**Infraestructura tecnológica antigua:** El uso de sistemas obsoletos de gestión limita las capacidades de innovación y la adaptación a las demandas del entorno.

Estos problemas, interrelacionados, evidencian la necesidad de implementar un sistema de agricultura de precisión que permita optimizar los procesos y mejorar la sostenibilidad de los cultivos de café en la finca.

#### **1.4.2 GÉNESIS DEL PROBLEMA.**

El problema tiene sus raíces en prácticas agrícolas tradicionales y en la falta de adopción de tecnologías avanzadas que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los cultivos. Históricamente, la producción de café en la Finca Experimental Lodana se ha basado en observaciones empíricas y metodologías manuales que, aunque viables en otros tiempos, no son suficientes para afrontar los desafíos actuales. Estas prácticas resultan ineficaces para abordar problemas como el manejo adecuado del agua, el control de plagas y la monitorización de las condiciones del suelo y el clima.

Otro factor determinante es el cambio climático, que ha introducido mayores incertidumbres en el rendimiento de los cultivos. Las variaciones extremas en la temperatura, precipitaciones y otros parámetros meteorológicos impactan directamente en la calidad y cantidad de la producción. A pesar de estos retos, la finca no cuenta con un sistema que permita recolectar y analizar datos en tiempo real, dejando a los agricultores en desventaja frente a los productores que ya utilizan tecnologías de agricultura de precisión.

Además, la creciente demanda por parte del mercado cafetalero de productos de alta calidad y producidos de manera sostenible exacerba la situación. Los consumidores valoran cada vez más la trazabilidad y las certificaciones ecológicas, pero cumplir con estas expectativas

requiere una gestión precisa y una constante innovación tecnológica. En este contexto, la falta de acceso a herramientas basadas en IoT y WSN limita la competitividad de los productores locales.

Finalmente, la carencia de capacitación técnica y de recursos financieros para implementar soluciones tecnológicas es otro obstáculo significativo. Aunque existen ejemplos exitosos de implementación de IoT y WSN en otros sectores agrícolas, la transferencia de estas tecnologías a pequeñas fincas experimentales como Lodana sigue siendo limitada. Esto genera un desfase tecnológico que perpetúa las ineficiencias y dificulta la adopción de prácticas agrícolas modernas.

#### **1.4.3 ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA**

La Finca Experimental Lodana no cuenta actualmente con un sistema automatizado para la gestión de los cultivos de café. Todas las actividades relacionadas con el monitoreo y manejo de variables críticas, como humedad del suelo, temperatura y nivel de luz, se realizan de manera manual. Este enfoque no solo demanda tiempo y esfuerzo, sino que también carece de precisión para tomar decisiones fundamentadas en datos.

La falta de un sistema de monitoreo integral limita la capacidad de anticipar y mitigar problemas relacionados con el manejo del agua, el control de plagas y las condiciones climáticas adversas. Esta situación también impide la recopilación sistemática de datos que podrían ser utilizados para optimizar los recursos y mejorar el rendimiento del cultivo. En consecuencia, los procesos actuales no están alineados con las demandas del mercado moderno, que exige una producción agrícola más eficiente, sostenible y competitiva.

La implementación de tecnologías basadas en IoT y WSN no solo permitiría superar estas deficiencias, sino que también posicionaría a la finca como un referente en innovación y sostenibilidad en el sector cafetalero. Este proyecto busca abordar estas carencias mediante la modernización y automatización de los procesos agrícolas, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y mejorando la calidad de la producción. Por ello, este proyecto busca no solo modernizar, sino transformar el sistema actual mediante la adopción de tecnologías más robustas y adaptadas a las necesidades del cultivo de café, como la arquitectura LoRaWAN, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible.

## 1.5. DIAGRAMA CAUSA – EFECTO DEL PROBLEMA

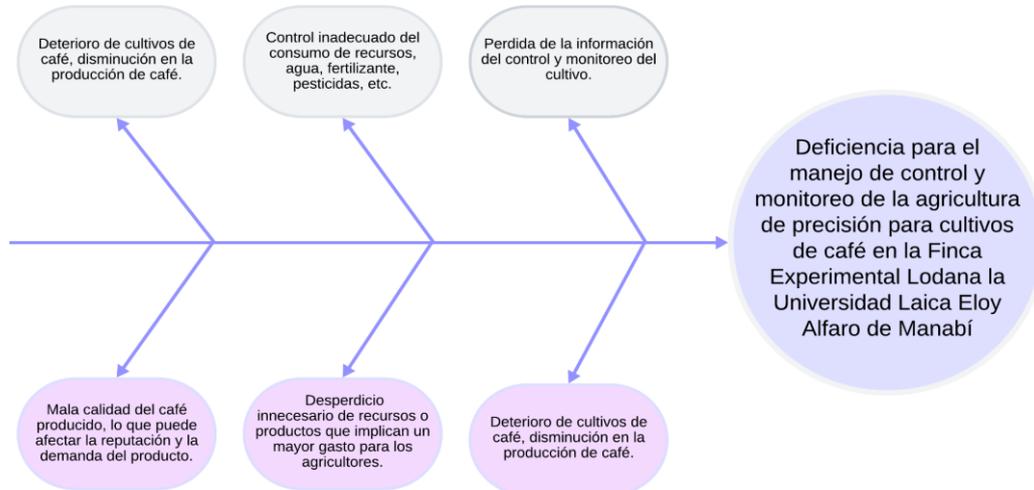


Figura 2: Diagrama causa y efecto

Características del diagrama causa-efecto. Autoría propia

## 1.6. OBJETIVOS

### 1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de Agricultura de Precisión basado en IoT y Redes de Sensores Inalámbricos para la Gestión Integral de Cultivos de Café en la Finca Experimental Lodana de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

### 1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Comparar investigaciones tecnológicas que combinen sensores, dispositivos IoT y software especializado, con el objetivo de mejorar el uso eficiente de recursos como agua, fertilizantes y energía en la Finca Experimental Lodana.
- Analizar la influencia del sistema en la productividad y sostenibilidad de los cultivos de café, considerando indicadores como la reducción de costos operativos, el incremento en la calidad del café y el impacto ambiental.
- Establecer una red de sensores inalámbricos para la recopilación y transmisión de datos en tiempo real para el monitoreo de cultivos de café.

## 1.7. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de agricultura de precisión es esencial para superar los desafíos que enfrenta actualmente la producción de café en la Finca Experimental Lodana. Este proyecto contribuirá significativamente a incrementar la eficiencia en el manejo de los cultivos mediante la optimización del uso de recursos como agua, fertilizantes y energía.

La integración de tecnologías como IoT y WSN mediante la arquitectura LoRaWAN permitirá recopilar y analizar datos en tiempo real, facilitando una toma de decisiones más precisa y efectiva.

Desde una perspectiva académica, esta iniciativa fortalecerá la capacidad investigativa de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, promoviendo la formación de profesionales competentes en el uso de tecnologías avanzadas aplicadas a la agricultura. Además, el proyecto servirá como modelo para futuras implementaciones tecnológicas en otras fincas de la región, fomentando un impacto multiplicador.

En términos sociales, el proyecto tendrá un efecto directo en la comunidad local al generar nuevas oportunidades de empleo y capacitar a los agricultores en el uso de herramientas tecnológicas.

Esto incrementará la competitividad de los productores de café en mercados nacionales e internacionales, favoreciendo el desarrollo económico de la región.

Desde el punto de vista ambiental, la implementación del sistema promoverá prácticas agrícolas sostenibles al reducir el desperdicio de agua y minimizar el uso excesivo de fertilizantes químicos. Estos beneficios responden a la creciente necesidad mundial de obtener productos agrícolas que se cultiven de forma responsable y sostenible.

En síntesis, la justificación de este proyecto radica en su potencial para transformar el sector cafetalero local, combinando innovación tecnológica, impacto académico y beneficios socioeconómicos y ambientales que trascienden a largo plazo.

## **1.8. IMPACTOS ESPERADOS**

El proyecto tiene el potencial de generar una transformación integral en la producción cafetalera de la Finca Experimental Lodana, convirtiéndola en un referente de innovación tecnológica y sostenibilidad en la región. Al integrar soluciones tecnológicas avanzadas con un enfoque global, este proyecto no solo mejorará la productividad de los cultivos, sino que también fortalecerá la resiliencia frente a desafíos climáticos y económicos.

Además, se espera que esta iniciativa impulse el desarrollo de capacidades locales mediante la formación de profesionales y técnicos en tecnologías emergentes, fomentando un entorno de innovación agrícola.

Este enfoque integral asegura que los beneficios se extiendan más allá de la finca, promoviendo un desarrollo regional equilibrado y sostenible que posicione al café de Manabí como un producto competitivo en mercados globales.

### **1.8.1 IMPACTO TECNOLÓGICO**

La implementación del sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos en la Finca Experimental Lodana marca un hito en la modernización tecnológica del sector agrícola, especialmente en el cultivo de café. Este sistema integra diversas tecnologías avanzadas, potenciando la eficiencia, la precisión y la capacidad de toma de decisiones fundamentadas.

En cuanto al hardware, los sensores de última generación hacen posible el monitoreo de variables esenciales, como la humedad del suelo, la temperatura del ambiente, la radiación solar y la calidad del agua. Estos sensores, distribuidos estratégicamente en los cultivos, generan datos en tiempo real que son transmitidos mediante redes inalámbricas como LoRa. La infraestructura tecnológica incluye gateways y dispositivos de procesamiento que recopilan y consolidan esta información, facilitando su análisis.

Por otro lado, desde la perspectiva del software, se emplean plataformas basadas en la nube que centralizan los datos y ofrecen herramientas analíticas avanzadas. Estas plataformas utilizan algoritmos de aprendizaje automático y análisis predictivo para identificar patrones, prever problemas como plagas o enfermedades, y sugerir intervenciones oportunas. Además,

la implementación de aplicaciones móviles y dashboards accesibles permite a los agricultores y técnicos consultar y gestionar los datos desde cualquier lugar, lo que representa un salto cualitativo en términos de accesibilidad y control.

El impacto tecnológico también se extiende a la investigación y desarrollo. Este sistema genera grandes volúmenes de datos, lo que abre oportunidades para el análisis avanzado y el desarrollo de modelos predictivos personalizados para las condiciones locales de la finca. La interoperabilidad del sistema con otras tecnologías, como drones para la teledetección o estaciones meteorológicas avanzadas, amplifica aún más su potencial.

Finalmente, la adopción de estas tecnologías en la finca no solo optimiza la producción, sino que posiciona a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí como un referente en la innovación agrícola. Este modelo tecnológico puede escalar a nivel regional y nacional, promoviendo una transformación digital en la agricultura que impulse la competitividad y sostenibilidad del sector.

### **1.8.2 IMPACTO SOCIAL**

La implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos en la Finca Experimental Lodana tiene un profundo impacto social, beneficiando tanto a la comunidad agrícola local como al entorno académico y a los consumidores finales. Este impacto puede analizarse desde varias perspectivas clave:

**Educación y Capacitación.** Uno de los principales beneficios sociales es la capacitación que se brinda a los agricultores y técnicos locales. Este sistema introduce conceptos como la digitalización, el análisis de datos y la gestión automatizada, fortaleciendo las competencias tecnológicas de la población rural. Al democratizar el acceso a herramientas tecnológicas, se reduce la brecha digital y se empodera a los agricultores para adoptar prácticas más eficientes y sostenibles. Además, la universidad desempeña un papel fundamental como puente entre el conocimiento académico y las necesidades prácticas de la comunidad, formando una nueva generación de profesionales agrícolas tecnológicamente preparados.

**Generación de Empleo.** El proyecto crea nuevas oportunidades laborales en áreas como la instalación, el mantenimiento y la gestión de los sistemas tecnológicos. También fomenta el desarrollo de emprendimientos relacionados con servicios de soporte técnico, venta de equipos

y asesoría tecnológica. Esto diversifica las opciones laborales en la región y fortalece la economía local, promoviendo un modelo de desarrollo basado en la innovación.

Mejora de la Calidad de Vida. El sistema optimiza las labores agrícolas, reduciendo la carga de trabajo físico y permitiendo a los agricultores concentrarse en tareas estratégicas y menos extenuantes. Además, al implementar prácticas más precisas y sostenibles, se disminuyen los riesgos asociados al uso intensivo de agroquímicos, mejorando la salud de los trabajadores agrícolas y sus familias. Esto contribuye a un entorno laboral más seguro y saludable.

Conexión entre la Academia y la Sociedad. El proyecto fortalece la relación entre la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y la comunidad local, convirtiendo a la finca experimental en un modelo de investigación aplicada con impacto directo en la sociedad. Este vínculo promueve una transferencia de conocimientos más efectiva y fomenta la participación activa de la comunidad en iniciativas de innovación y desarrollo.

En resumen, el impacto social de este sistema radica en su capacidad para transformar las dinámicas tradicionales de la agricultura local, promoviendo el desarrollo humano, social y económico de la región mientras se fomenta una cultura de innovación y sostenibilidad.

### **1.8.3 IMPACTO ECOLÓGICO.**

Desde el punto de vista ecológico, este sistema contribuye a la sostenibilidad de la producción de café al optimizar el uso de recursos naturales como agua y fertilizantes. Los sensores permiten identificar con precisión las necesidades de las plantas, evitando el desperdicio y reduciendo la contaminación del suelo y fuentes hídricas. Asimismo, al facilitar una gestión más eficiente, se minimiza el impacto ecológico de prácticas agrícolas tradicionales, como el uso excesivo de agroquímicos. La implementación de este sistema en la Finca Experimental Lodana también genera datos valiosos para el monitoreo de condiciones ambientales, promoviendo prácticas agrícolas más responsables y alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible.

# CAPÍTULO II

## 2. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La agricultura ha sido una de las principales actividades humanas desde el inicio de la civilización, proporcionando alimentos, materias primas y recursos esenciales para el desarrollo de las sociedades. A lo largo del tiempo, la evolución de las técnicas agrícolas ha sido un factor clave en el incremento de la productividad y sostenibilidad del sector.

En las últimas décadas, la agricultura de precisión ha emergido como una innovación radical en el sector agrícola, apoyada en tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y las redes de sensores inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías permiten un monitoreo y control en tiempo real de las condiciones agrícolas, optimizando el uso de recursos y mejorando la gestión integral de los cultivos.

En Ecuador, la provincia de Manabí ha sido históricamente reconocida por su tradición agrícola, particularmente en el cultivo de café. Durante el siglo XX, la caficultura en esta región fue una de las principales actividades económicas, generando empleo y contribuyendo significativamente a la economía local. Sin embargo, factores como la fluctuación de precios internacionales, el cambio climático y la competencia con otros países han impactado negativamente en la productividad y sostenibilidad del sector. Esto ha llevado a la necesidad de innovar y modernizar las prácticas agrícolas en la región.

En este contexto, la Finca Experimental Lodana, ubicada en la provincia de Manabí y gestionada por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), ha jugado un papel fundamental en la investigación y desarrollo de tecnologías aplicadas al sector agrícola. Fundada como un espacio para la experimentación y el aprendizaje, la finca ha servido como un laboratorio vivo donde se han implementado y evaluado diversas técnicas y tecnologías agrícolas.

La Finca Experimental Lodana tiene una extensión considerable que permite la diversificación de cultivos, incluyendo café, cacao y otros productos de importancia regional. A lo largo de los años, ha sido un punto de referencia para agricultores, investigadores y estudiantes interesados en mejorar las prácticas agrícolas. Además, la finca ha estado comprometida con la

sostenibilidad, promoviendo técnicas de cultivo amigables con el medio ambiente y adaptadas a las condiciones locales.

En el ámbito de la caficultura, la Finca Experimental Lodana ha desarrollado iniciativas para enfrentar los retos específicos del sector en Manabí, como el manejo de plagas, el control de la humedad y la mejora de la calidad del café. Estas iniciativas han incluido colaboraciones con entidades nacionales e internacionales, lo que ha permitido el intercambio de conocimientos y la aplicación de tecnologías avanzadas.

La evolución de la caficultura en Lodana refleja un proceso continuo de adaptación e innovación. Desde la introducción de variedades resistentes hasta la implementación de sistemas de riego tecnificados, la finca ha sido pionera en la aplicación de soluciones modernas para mejorar la productividad y sostenibilidad de los cultivos de café. En este marco, la incorporación de un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y WSN representa un paso lógico y necesario para consolidar su rol como líder en la investigación agrícola en Ecuador.

## **2.2 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES RELACIONADAS AL TEMA PRESENTADO.**

1. Según el estudio realizado por Jorge H. L, Mitchell V, Lorena B y Jessica Y, en el 2024 sobre Monitoreo IoT utilizando redes de sensores inalámbricos para el cultivo de cacao: Este proyecto se centró en el diseño de un modelo inicial para un sistema de monitoreo enfocado en la agricultura de precisión, utilizando tecnología basada en módulos inalámbricos. A lo largo de la historia, el sector agrícola ha experimentado importantes avances tecnológicos dirigidos a optimizar tanto los métodos de producción como los procesos relacionados. En la actualidad, tecnologías innovadoras como el Internet de las Cosas (IoT) permiten acceder constantemente a información a través de la red, facilitando respuestas rápidas ante cualquier eventualidad.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN), una parte fundamental del IoT, han permitido la creación de ecosistemas inteligentes en diversos ámbitos. Estas redes son cada vez más populares por su capacidad para recopilar datos de manera automática. Este crecimiento ha sido impulsado por avances técnicos y comerciales que han reducido los costos de implementación, siempre y cuando el equipo encargado cuente con los conocimientos y habilidades necesarios (Ilchev, 2023).

En la finca Elizabeth, ubicada en el cantón Naranjal, se llevó a cabo un proyecto para diseñar y probar prototipos orientados a optimizar el cultivo de cacao. Este trabajo tuvo en cuenta las necesidades específicas de los consumidores locales, con el propósito de obtener resultados eficientes en plazos razonables y ofrecer soluciones prácticas mediante los sistemas desarrollados. El diseño del sistema se organizó en varias etapas, contribuyendo al desarrollo de prototipos que mejoraron la producción de cacao gracias al control más preciso y al monitoreo continuo de las condiciones ambientales. Las pruebas realizadas confirmaron el óptimo desempeño y la autonomía operativa del prototipo. Por este motivo, se introdujo un sistema basado en redes WSN para medir y supervisar parámetros clave, cumpliendo con los objetivos planteados en el proyecto. Los ensayos realizados confirmaron el rendimiento óptimo y la autonomía operativa del prototipo. Por ello, se introdujo un sistema basado en WSN, diseñado para medir y supervisar parámetros ambientales relacionados con los cultivos de cacao, cumpliendo así los objetivos establecidos en el proyecto.

**Conclusión:** La solución desarrollada en este estudio demostró ser funcional y eficiente, aunque requiere ajustes según las características de cada tipo de cultivo. Por ejemplo, aspectos como la humedad del suelo y los niveles de nutrientes demandan personalizaciones en los sensores y las herramientas de monitoreo utilizadas. El sistema basado en IoT mostró ser adecuado para funcionar eficientemente en diferentes tipos de cultivos protegidos. La información recolectada permite tomar decisiones más acertadas y oportunas, promoviendo el desarrollo y el crecimiento sostenible de los cultivos según las metas de producción establecidas. Adicionalmente, el uso de sensores de bajo costo permitió identificar parámetros como la temperatura y la humedad del ambiente. Para investigaciones futuras, se sugiere desarrollar sensores más especializados que se adapten a parámetros específicos y evaluar su vida útil, con el fin de garantizar una mayor precisión en las mediciones.

El sistema propuesto, diseñado para operar con bajo consumo energético y optimizar el uso del ancho de banda del protocolo WSN, se presenta como una solución viable y accesible, especialmente para regiones rurales o de difícil acceso. Este modelo constituye una herramienta valiosa para la supervisión de cultivos como el cacao. Sin embargo, su éxito dependerá del conocimiento profundo de las necesidades específicas de cada cultivo (Larrea et al., 2023).

2. Según el estudio realizado por Chamarajnar y Ashok en 2019 sobre la Identificación de amenazas a la integridad para IoT distribuido en agricultura de precisión: El Internet de las Cosas (IoT) ha abierto un mundo de oportunidades, pero también ha generado importantes desafíos en términos de seguridad. Aunque existen múltiples estudios enfocados en aspectos como la identificación de dispositivos, la criptografía y los protocolos de seguridad en redes, aún queda una pregunta crítica sin respuesta: ¿podemos confiar en la integridad de los datos y métricas enviados por los dispositivos en escenarios inalámbricos distribuidos? Dado que el IoT es un campo emergente y está siendo adoptado rápidamente, garantizar la confiabilidad de los datos generados por estos dispositivos representa un gran desafío. Este problema se intensifica en el contexto de las redes de sensores inalámbricos (WSN), especialmente en entornos complejos, donde se incrementan los riesgos de suplantación de identidad y ataques físicos a los dispositivos. Este artículo examina los vectores de amenaza y las condiciones bajo las cuales una red inalámbrica de dispositivos podría volverse vulnerable en un entorno completamente distribuido. Además, presenta un enfoque diseñado para identificar posibles fallos de integridad o amenazas en este tipo de redes. **Conclusión:** A través de simulaciones experimentales y métodos basados en el rastreo, se demostró que este enfoque puede identificar amenazas en tiempo real con una efectividad del 80% y una precisión y capacidad de recuperación del 90%. Los resultados se validaron mediante un caso de uso aplicado a la agricultura de precisión, lo que evidencia el potencial del sistema para garantizar la seguridad y confiabilidad de las métricas generadas en escenarios críticos. (Chamarajnar & Ashok, 2019).
3. “Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión” (Orozco & Ramírez, 2016). La caña de azúcar es una de las principales actividades económicas en Colombia, desempeñando un papel crucial en el desarrollo del sector agrícola. En los últimos años, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han comenzado a integrarse en cada etapa del ciclo de vida de estos cultivos, impulsando sistemas de Agricultura de Precisión (AP). Estas herramientas no solo aumentan la productividad, sino que también optimizan el uso de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas. Este análisis profundiza en diversos sistemas de información basados en AP y orientados al cultivo de caña de azúcar, explorando las tecnologías utilizadas, la organización de los datos y

las estructuras empleadas. Además, los autores proponen un sistema integral de información con una arquitectura de tres capas, diseñado para mejorar las distintas fases del ciclo productivo de la caña de azúcar y garantizar un enfoque más eficiente y sostenible. La agricultura ha sido una actividad esencial para la humanidad, adaptándose y evolucionando con el tiempo. Según la FAO, cerca de un tercio de la población mundial depende de la agricultura como fuente de alimentos. En países en desarrollo, esta actividad puede representar hasta el 30 % del Producto Interno Bruto (PIB) (Roma, 2013). En Colombia, el Plan Nacional de Desarrollo fomenta la modernización del sector agrícola, promoviendo un crecimiento competitivo y sostenible. La Agricultura de Precisión (AP) surge como una solución clave en este contexto, al integrar herramientas tecnológicas como sensores, drones y sistemas de posicionamiento global (GPS) en actividades como la preparación del terreno, la siembra, la cosecha y la distribución. Estas tecnologías permiten la gestión espacial y temporal de las actividades agrícolas, mejorando la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Bramley, 2009). En Colombia, la mayor parte de los cultivos de caña de azúcar se encuentran en el valle geográfico del río Cauca, una región caracterizada por su desarrollo industrial y la presencia de ingenios, asociaciones e instituciones dedicadas al sector. Este entorno ha favorecido la adopción de tecnologías avanzadas y la colaboración entre actores públicos, privados e industriales para promover soluciones innovadoras en la agricultura.

**Conclusión:** La Agricultura de Precisión se presenta como una estrategia innovadora para mejorar los procesos agrícolas, integrando tecnologías avanzadas como GPS, SIG y sensores, entre otras herramientas. Aunque su implementación conlleva ciertos desafíos, esta metodología ofrece una solución prometedora para responder a las crecientes demandas del sector agrícola. Este estudio analiza en profundidad los sistemas de información basados en Agricultura de Precisión, destacando que, si bien se han realizado numerosas investigaciones en este ámbito, aún son pocos los estudios que se enfocan específicamente en el desarrollo y la descripción detallada de estos sistemas. Para abordar esta necesidad, se propone un sistema de información compuesto por tres dominios, diseñado para abarcar todas las etapas del ciclo de vida del cultivo de caña de azúcar. El sistema planteado está diseñado para adaptarse a las condiciones específicas del suelo, el clima y los requerimientos propios de los ingenios azucareros

en Colombia. De cara al futuro, se buscará profundizar en los aspectos técnicos de cada dominio. Este trabajo será complementado con visitas de campo, donde se analizarán las distintas fases del cultivo para desarrollar estrategias basadas en datos que impulsen la adopción efectiva de la Agricultura de Precisión.

4. **“WSN Redes de sensores inalámbricos y su aplicación a la agricultura de precisión: Un caso de metaanálisis”** (López, Á. H. A., Castro, J. A. Q., Perdomo, E. G., & Zambrano, A. M. M. 2022, December). En Colombia, la agricultura, particularmente la desarrollada por pequeños agricultores con recursos limitados, enfrenta significativos retos relacionados con la falta de tecnologías avanzadas que permitan optimizar los procesos esenciales para el desarrollo adecuado de los cultivos. Esta situación conlleva problemas recurrentes, como el escaso control sobre las condiciones ambientales y la inexactitud en la aplicación de insumos, ya que muchas labores aún se realizan manualmente. Las redes de sensores inalámbricas (WSN, por sus siglas en inglés) han emergido como una herramienta clave para mejorar la eficiencia en la agricultura. Estas redes permiten monitorear y regular variables ambientales que afectan directamente el desarrollo de los cultivos, creando condiciones óptimas para su crecimiento. En este sentido, instituciones educativas tanto a nivel nacional como internacional han liderado investigaciones y proyectos que promueven el uso de las WSN como una solución efectiva para aumentar la productividad agrícola (López et al., 2022). Un estudio reciente recopiló y analizó información sobre la aplicación de redes de sensores inalámbricas en diferentes países, destacando su relevancia en la agricultura. Utilizando la metodología PRISMA y un metaanálisis con el lenguaje de programación R, se evaluó la efectividad de estas tecnologías en diversos entornos agrícolas. Los resultados del estudio buscan orientar futuros proyectos en el sector, fortaleciendo su impacto en las prácticas agrícolas (López et al., 2022). El cambio climático global ha generado transformaciones significativas en el entorno natural, impulsadas por factores como la contaminación, el efecto invernadero y fenómenos como "El Niño" y "La Niña". Estos cambios han provocado heladas, sequías, tormentas severas y aumentos en la radiación solar, disminuyendo la calidad y cantidad de las cosechas, lo que afecta directamente los ingresos de los agricultores. Para enfrentar estos desafíos, han surgido estrategias que combinan infraestructuras de

protección y tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como el uso de invernaderos. Estas estructuras no solo protegen los cultivos de condiciones adversas, sino que también permiten controlar factores clave, como la radiación solar y la temperatura, creando ambientes favorables para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, el control manual de estos factores sigue siendo predominante y puede ocasionar problemas como el riego excesivo o el sobrecalentamiento (Torres Galindo et al., 2015). La agricultura de precisión se ha consolidado como una metodología innovadora que emplea tecnologías avanzadas para optimizar procesos agrícolas. Incluye herramientas como sensores, sistemas de riego automatizado y geolocalización de maquinaria, que permiten un control eficiente y sostenible de las actividades agrícolas. Los sistemas automatizados integran sensores para medir variables como la humedad, la temperatura y la luminosidad, así como dispositivos de acción que ajustan las condiciones del entorno para maximizar el rendimiento de los cultivos (Torres Galindo et al., 2015). En este contexto, las redes de sensores inalámbricas desempeñan un papel fundamental, ya que recopilan datos del entorno agrícola mediante nodos equipados con tecnología como Arduino. Estos sistemas permiten analizar en tiempo real las condiciones de los cultivos y ajustar automáticamente los factores necesarios para su óptimo desarrollo (Alarcón López et al., 2018).

**Conclusión:** El metaanálisis se posiciona como una herramienta estadística de gran utilidad para evaluar el impacto de diversas variables, como en este caso, el análisis del número de referencias y citas en investigaciones previas. Para procesar los datos, se emplearon modelos de efectos aleatorios y mixtos. El modelo de efectos aleatorios evidenció una alta heterogeneidad (93 %) con significancia estadística, mientras que el modelo mixto mostró una heterogeneidad más baja (38 %), destacando como variables clave el año de publicación, el idioma, y el número de referencias y citas. Ambos modelos arrojaron tamaños del efecto significativos (0.83 y 0.94, respectivamente), lo que confirma la relevancia de estas investigaciones para comprender el estado actual de las tecnologías relacionadas con redes de sensores inalámbricos (WSN), sensores, agricultura de precisión e invernaderos. Combinando los criterios de exclusión, las ecuaciones de búsqueda y los resultados del metaanálisis, se puede concluir que estas investigaciones constituyen un marco esencial para orientar futuros estudios con mayor uniformidad y eficacia. Los hallazgos respaldan el uso de las redes de sensores

inalámbricos como una herramienta estratégica para promover una agricultura más sostenible y tecnificada (López et al., 2022).

5. **“Sistema para el monitoreo de nutrientes del suelo mediante una red de sensores inalámbricos LPWAN aplicado a la agricultura de precisión en cultivos de manzana en el cantón Pimampiro”** (Quilca, 2023). El sistema desarrollado consta de dos módulos interconectados mediante tecnología LoRa. El primero, denominado nodo recolector, tiene como función principal medir los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) presentes en el suelo a través de un sensor especializado. Estos datos se transmiten al segundo módulo, conocido como Gateway, que procesa la información y la envía mediante el protocolo MQTT hacia una plataforma IoT y una aplicación móvil. La aplicación permite analizar los datos en tiempo real y emite alertas sobre las deficiencias nutricionales del suelo utilizando un sistema de colores: rojo para niveles críticos, amarillo para niveles intermedios y verde para niveles adecuados. Además, ofrece recomendaciones específicas para corregir estas deficiencias, facilitando al agricultor la aplicación precisa de fertilizantes y otros insumos necesarios. De esta manera, se mejora la calidad del suelo y se optimiza la producción agrícola. Este sistema fue probado inicialmente en un cultivo de manzanas, donde, durante un período de cuatro meses, se monitorearon los niveles de NPK. Este monitoreo permitió identificar deficiencias específicas y aplicar correcciones químicas de forma efectiva, logrando restablecer las condiciones óptimas del suelo. Como resultado, se obtuvo una mejora significativa en el rendimiento y la calidad de la producción agrícola. En Pimampiro, la agricultura tiene profundas raíces históricas, remontándose a la época preincaica. Sin embargo, muchas prácticas agrícolas siguen basándose en experiencias tradicionales, sin el soporte de conocimientos técnicos o tecnológicos, debido a la falta de accesibilidad a herramientas que puedan brindar apoyo permanente a los agricultores. Actualmente, si un agricultor desea conocer los niveles de nutrientes en el suelo, debe enviar muestras a un laboratorio y esperar aproximadamente 21 días para recibir los resultados. Este proceso no solo es costoso, sino que también puede ser poco fiable, ya que las condiciones del suelo cambian constantemente debido a factores ambientales y la manipulación humana. Además, el uso excesivo o incorrecto de químicos puede saturar los suelos, generando problemas medioambientales y económicos. Ante estos desafíos, se diseñó un sistema de monitoreo de nutrientes NPK

en tiempo real, utilizando sensores y tecnología LoRa. Este sistema permite a los agricultores recibir alertas periódicas sobre los niveles de nutrientes en el suelo, lo que facilita la planificación precisa de los procesos agrícolas. Con esta herramienta, se espera alcanzar altos rendimientos, reducir costos de producción y garantizar productos de calidad, promoviendo el uso adecuado de químicos y el cuidado del medio ambiente.

**Objetivo:** El objetivo principal es desarrollar un sistema de monitoreo basado en una red de sensores inalámbricos LPWAN que emplee tecnología LoRa. Este sistema permitirá medir los niveles de nutrientes NPK en los suelos destinados al cultivo de manzanas en Pimampiro, optimizando la productividad y mejorando la calidad de los productos agrícolas de la región.

**Conclusión:** Las pruebas realizadas al sistema confirmaron una comunicación eficiente entre el nodo recolector y el Gateway, con retardos mínimos en la transmisión de datos. Esto permitió un monitoreo constante y eficiente de los cultivos, generando sugerencias pertinentes para corregir deficiencias y mejorar la productividad. El uso de tecnología en el campo agrícola se presenta como una herramienta poderosa para apoyar a los agricultores, facilitando el cuidado adecuado de los suelos y promoviendo el equilibrio nutricional en los cultivos. Esto evita la saturación del suelo y minimiza las pérdidas económicas en el proceso de producción. Finalmente, es fundamental que los datos sean presentados de manera clara y comprensible para los agricultores, permitiéndoles interpretar las alertas y tomar decisiones acertadas. La tecnología LoRa se destaca por su capacidad de operar en entornos con espectro saturado, garantizando un alcance robusto y una transmisión eficiente.

### **2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.**

Las definiciones conceptuales permiten establecer los pilares teóricos fundamentales para comprender el tema de investigación, ya que brindan un marco estructurado que facilita la comprensión de los elementos clave del proyecto. Estos conceptos son esenciales para desentrañar la relación entre las tecnologías aplicadas, como el IoT y las redes de sensores inalámbricos, y sus beneficios en la agricultura de precisión.

Al clarificar términos y categorías, se crea una base sólida para analizar cómo estas innovaciones pueden optimizar procesos, mejorar la sostenibilidad y aumentar la productividad en cultivos específicos como el café.

En el contexto de la Finca Experimental Lodana, las definiciones conceptuales permiten contextualizar las particularidades del entorno local y cómo las tecnologías emergentes pueden responder a los desafíos específicos de la caficultura en Manabí. Este enfoque también facilita la identificación de los beneficios potenciales que podrían replicarse en otras fincas de la región o incluso a nivel nacional, promoviendo una mayor adaptación tecnológica en el sector agrícola. En este contexto, se analizan las siguientes categorías:

### **2.3.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

La agricultura de precisión se originó en los Estados Unidos como una estrategia innovadora basada en ciclos anuales de retroalimentación. En este enfoque, los insumos agrícolas se aplicaban según las necesidades específicas de cada terreno, lo que permitió optimizar la gestión de recursos.

Con el tiempo, la incorporación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) revolucionó este concepto, facilitando un manejo más eficiente de los suelos y los cultivos. Gracias a estas innovaciones, la agricultura de precisión se expandió globalmente y se adaptó a distintas prácticas agrícolas, tipos de cultivos y contextos regionales (Plumb, 2000).

Este modelo puede definirse como un conjunto de técnicas y procedimientos orientados a optimizar el manejo espacial y temporal del ciclo de vida de los cultivos.

Para ello, se emplean herramientas tecnológicas que, además de mejorar la productividad, buscan minimizar el impacto ambiental. Un componente clave de la agricultura de precisión es la geomática, un campo que integra la recolección, análisis, interpretación, intercambio y uso de información geográfica. Dentro de este ecosistema, destacan las siguientes herramientas y tecnologías:

- **Sistemas de posicionamiento geográfico (GNSS):** Estas herramientas son fundamentales para gestionar el tráfico agrícola, ya que proporcionan datos en tiempo real sobre la ubicación de maquinarias. Esto facilita la optimización de rutas y la gestión

eficiente de los recursos. Entre los sistemas más utilizados se encuentran GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou.

- **Tecnologías de tasa variable (VRT):** Las VRT permiten la aplicación automatizada y precisa de insumos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas y agua, ajustándose a las necesidades específicas de cada sector del terreno. Esta tecnología no solo optimiza el uso de recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sistema agrícola.
- **Sensores remotos:** Los sensores recopilan información crítica sobre el estado de los cultivos, el suelo, la humedad y las precipitaciones, entre otros factores. Los datos son transmitidos mediante tecnologías inalámbricas como Wi-Fi®, Bluetooth® o redes celulares, y son esenciales para identificar plagas, monitorear el crecimiento de las plantas y evaluar la disponibilidad de agua o fertilizantes.
- **Sistemas de recomendación agrícola:** Estos sistemas emplean algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos históricos y generar predicciones sobre el rendimiento de los cultivos. A partir de esta información, producen mapas de productividad que facilitan la planificación estratégica.
- **Drones o aeronaves no tripuladas (RPA):** Los drones representan una solución económica y eficiente para la captura de imágenes en áreas de difícil acceso. También permiten estimar variables agroclimáticas y realizar monitoreos remotos de los cultivos. Aunque su uso puede requerir permisos específicos dependiendo del país, su accesibilidad ha mejorado significativamente gracias a la reducción de costos.
- **Sistemas de soporte para la toma de decisiones (DSS):** Los DSS recopilan información de diversas fuentes, como sensores remotos, VRT, drones y sistemas de posicionamiento, para analizarla y presentarla a los encargados de la gestión agrícola. Estos sistemas son esenciales para tomar decisiones informadas en aspectos económicos, ambientales y logísticos.

Estas tecnologías constituyen la base de la agricultura de precisión, donde la transferencia, almacenamiento y análisis de datos simplifican la toma de decisiones a lo largo de todo el ciclo productivo. Según Grisso, Alley, McClellan, Brann y Donohue (2009), el funcionamiento de estas herramientas está interconectado, lo que asegura que cada decisión impacte positivamente

en las etapas siguientes. Este enfoque holístico promueve un sistema agrícola más eficiente y sostenible.

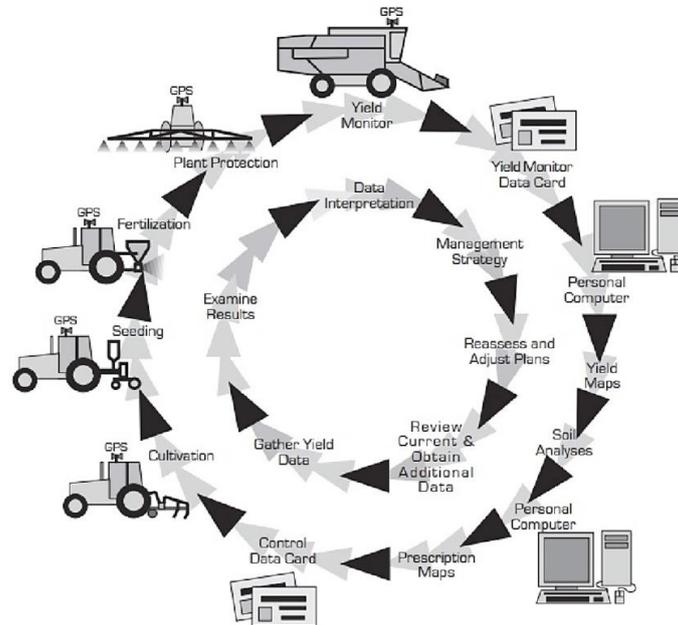


Figura 3: Procesos de la AP para un cultivo

(R. Grisso, M. Alley, P. McClellan, D. Brann, y S. Donohue 2009).

Aunque el esquema presentado en la figura 3 proporciona una visión general útil, es importante destacar que cada caso requiere una adaptación de los procedimientos y acciones a implementar. Por ejemplo, en Colombia, donde la adopción de tecnologías y prácticas de agricultura de precisión todavía se encuentra en sus primeras fases, es esencial tener en cuenta factores específicos del entorno. Aspectos como la geografía, el tipo de cultivo, las características del suelo y las condiciones climáticas de cada región juegan un papel crucial en la identificación de las particularidades de cada cultivo. Solo mediante un análisis detallado de estos factores es posible optimizar la aplicación de las técnicas de agricultura de precisión, maximizando así los beneficios que estas tecnologías pueden ofrecer a los agricultores (López, 2021).

### 2.3.2 ETAPAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La distribución de terreno para ser estudiado es importante en la aplicación de la agricultura de precisión, el manejo de sitio específico define la administración del terreno en forma diferencial, de acuerdo a las condiciones características de una porción del lote total. Para el

manejo de sitio es importante la recolección de datos útiles del terreno para su estudio, con ello se podrán tomar decisiones importantes asociados a la producción. Dependiendo de las características del terreno y el alcance del sistema de la agricultura de precisión se necesitan diferentes equipos o tecnologías, como por ejemplo si se tienen lotes que presentan una alta variabilidad del suelo y esto afecta directamente al rendimiento del cultivo es importante aplicar un sistema de dosis variable, la misma que de acuerdo a los datos obtenidos definirá qué cantidad de nutrientes o fertilizantes se aplica en cierta porción del lote, esto ayuda al ahorro de materiales y evita desperdicios. La implementación de un sistema de agricultura de precisión puede llevarse a cabo de diversas maneras. Una de las metodologías más comunes es realizar un mapeo y muestreo de los factores de producción que se manejarán de forma diferencial, como la fertilidad del suelo o la presencia de malezas. Otra estrategia consiste en utilizar sistemas de sensores que recopilan, en tiempo real, las características del cultivo y del suelo. Estos datos permiten la aplicación inmediata de los insumos, ajustándose a las necesidades específicas identificadas en el momento. La decisión sobre cuál método implementar dependerá principalmente del nivel de tecnología disponible y de los costos operativos asociados (Ortega & Flores, 2013).

La agricultura de precisión se centra en optimizar cada tarea agrícola, asegurando que se realice en el lugar correcto, en el momento adecuado, utilizando el método más eficiente y en la cantidad necesaria. Para alcanzar este nivel de precisión, es indispensable contar con los siguientes componentes clave:

- Observaciones detalladas: Estas pueden ser visuales o recopiladas mediante sensores que generan datos georreferenciados, es decir, datos asociados a coordenadas específicas dentro de la parcela.
- Sistemas informáticos: Herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) son esenciales para procesar y visualizar los datos recolectados, facilitando su interpretación.
- Sistemas de apoyo para la toma de decisiones: Estos sistemas analizan los datos obtenidos y ofrecen recomendaciones que permiten mejorar las prácticas agrícolas.

- Tecnologías de Tasa Variable (VRT): Estas herramientas permiten que la maquinaria agrícola o los métodos empleados realicen acciones específicas basadas en las características de cada punto de la parcela.

Estos componentes trabajan de manera integrada para mejorar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y optimizar los recursos en el sector agrícola (Smith et al., 2020).

*Tabla 1: Etapas de implementación de la agricultura de precisión*

Etapa	Tecnología involucrada	Actividades
Recolección e ingreso de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de posicionamiento global (GPS)</li> <li>• Sistema de información geográfica (SIG)</li> <li>• Instrumentos topográficos</li> <li>• Sensores directos</li> <li>• Sensores remotos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de la topografía del suelo</li> <li>• Muestreo de suelos en grillas</li> <li>• Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades</li> <li>• Monitoreo de rendimientos</li> <li>• Medición directa de propiedades del suelo y cultivos</li> <li>• Digitalización de mapas</li> </ul>
Análisis procesamiento e interpretación de la información	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de SIG</li> <li>• Sistemas expertos</li> <li>• Programas estadísticos</li> <li>• Experiencia del operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de dependencia espacial</li> <li>• Confección de mapas de evaluación</li> <li>• Confección de mapas de prescripción</li> <li>• Otras</li> </ul>
Aplicación diferencial de insumos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología de dosis variables</li> <li>• Pulverización asistida por GPS</li> <li>• Sistema de riego especializado</li> <li>• Programas computacionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación variable de nutrientes</li> <li>• Aplicación variable de plaguicidas</li> <li>• Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas</li> <li>• Riego de sembríos de acuerdo a las necesidades</li> <li>• Otras</li> </ul>

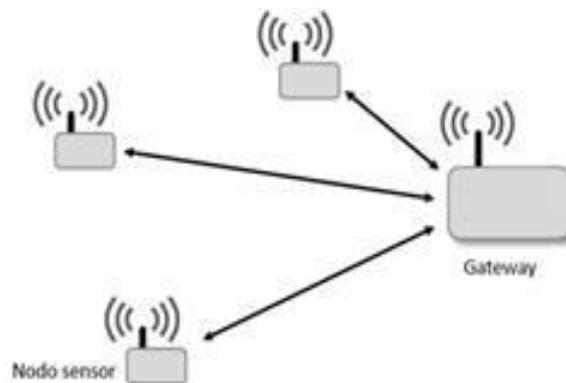
Fuente: Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico (R. Ortega, L. Flores 2013)

### 2.3.3 WSN (REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS)

Las redes de sensores inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés) son sistemas diseñados para conectar diversos módulos electrónicos de corto alcance, permitiendo la recolección de datos relacionados con las condiciones climáticas que influyen en el rendimiento de los cultivos. Estos datos son enviados a una estación central para su procesamiento, lo que facilita la implementación de acciones destinadas al control del ambiente agrícola (Gajjar et al., 2017).

Estas redes permiten monitorear variables clave como la humedad relativa, la humedad del suelo, la temperatura y la velocidad del viento, entre otras. Los datos son transmitidos a través de módulos que funcionan como puertas de enlace, los cuales envían la información hacia la nube utilizando direcciones IP. En algunos proyectos, esta transmisión se realiza mediante redes WPAN con direccionamiento IPv6 y protocolos como 6LoWPAN.

En términos generales, las WSN consisten en sensores distribuidos estratégicamente en una determinada área para monitorear condiciones físicas y ambientales. Las señales captadas por los sensores son enviadas a un nodo central, donde son procesadas mediante un dispositivo de borde (Calvo Salcedo et al., 2018). La figura 4 muestra un ejemplo de la topología típica empleada en estas redes.



*Figura 4: Redes de Sensores Inalámbricos y Nodos de Conexión*

Fuente: Propia

En el ámbito agrícola, algunas iniciativas tecnológicas han utilizado estándares como 802.15.4 para las WSN, 802.11 para Wi-Fi y direccionamiento IP (6LoWPAN) para integrarse al Internet de las Cosas (IoT). Estas aplicaciones abarcan desde la medición de condiciones climáticas, sistemas de riego inteligente, hasta el monitoreo y control de plagas, con avances significativos en el campo de la agricultura de precisión (Cama-Pinto et al., 2013).

### 2.3.4 NODOS

Las redes de sensores inalámbricos (WSN, por sus siglas en inglés) están compuestas por nodos sensores y actuadores que deben mantener una línea de vista directa, incluso cuando están

ubicados a distancias cortas entre sí. Esto es fundamental para garantizar una transmisión de datos sin interrupciones, ya que la presencia de obstáculos en el entorno puede dificultar la comunicación y generar errores en la medición de las variables ambientales (López et al., 2017).

Los nodos sensores tienen como función principal captar las señales emitidas por los diferentes sensores instalados en el entorno y transmitirlos a un nodo coordinador mediante un transmisor de radiofrecuencia (RF) integrado. Por su parte, los nodos coordinadores actúan como dispositivos de desarrollo, sirviendo como concentradores y enrutadores de las señales enviadas por los nodos sensores.

Las señales procesadas por los nodos coordinadores son enviadas a una estación base, que puede estar ubicada de forma local o remota, utilizando un protocolo de red, como IPv6. La estación base, que cuenta con mayor capacidad de procesamiento que los nodos sensores y coordinadores, tiene la capacidad de recibir y almacenar los datos en bases de datos. Además, puede generar comandos de control que posteriormente se envían de nuevo a la red WSN para ejecutar las acciones necesarias.

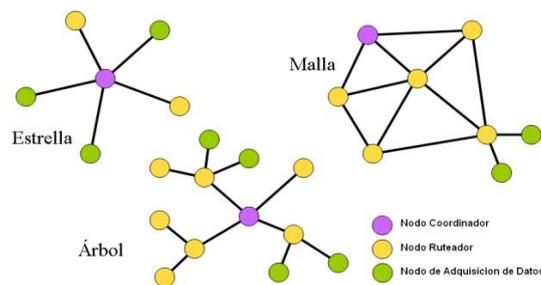
### 2.3.5 TOPOLOGÍAS

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) pueden organizarse utilizando tres estructuras principales: estrella, árbol y malla. Cada una de estas configuraciones presenta características específicas para el manejo de la conectividad entre los nodos:

1. **Topología en estrella:** En esta disposición, todos los nodos están conectados directamente a un dispositivo central conocido como *Gateway*. Esta estructura es sencilla y facilita la gestión de la red, aunque depende completamente del correcto funcionamiento del dispositivo central.
2. **Topología en árbol:** En este caso, la conexión de los nodos pasa por un dispositivo de mayor jerarquía antes de llegar al *Gateway*. Esto permite una organización más estructurada y facilita el manejo de redes con múltiples niveles jerárquicos.
3. **Topología en malla:** Aquí, los nodos pueden comunicarse directamente entre ellos, lo que genera múltiples rutas posibles para la transmisión de datos. Esta característica

otorga mayor robustez a la red, ya que permite mantener la conectividad incluso si algún nodo falla.

En la figura 5 se ilustran gráficamente estas tres formas de organización, destacando sus diferencias y ventajas operativas.



*Figura 5: Tipos de topologías de red*

*Fuente: Propia*

### 2.3.6 WSN APLICADAS A LA AGRICULTURA

A nivel global, diversas iniciativas han utilizado las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar los procesos productivos en el sector agrícola. En este contexto, las redes de sensores inalámbricos (WSN) han emergido como herramientas clave para diseñar estrategias que optimicen las prácticas agrícolas. A continuación, se destacan algunos proyectos relevantes:

#### 1. Sistema inalámbrico de monitoreo para cultivos en invernaderos

Este proyecto, desarrollado mediante la colaboración entre la Universidad de la Costa (Colombia) y la Universidad de Almería (España), se enfoca en la agricultura intensiva del sureste de España. Utiliza la plataforma Telos B para monitorear variables ambientales, como humedad, temperatura, luz y contenido de agua en el suelo. Las redes de sensores inalámbricos emplean los protocolos 6LoWPAN para transmisión y RPL para enrutamiento. Los datos recopilados se envían a un dispositivo central, donde son almacenados y visualizados en tiempo real.

#### 2. Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria

Un estudio de la Universidad Tecnológica de Panamá analizó el uso de fuentes de

alimentación en las redes de sensores inalámbricos y cómo mejorar su eficiencia mediante técnicas como el muestreo compresivo y la implementación de biosensores. Estos biosensores, integrados al crecimiento de plantas o animales, no requieren extracción posterior, ya que están hechos de materiales minerales que se degradan y actúan como nutrientes, haciendo su uso más sostenible y accesible (Cedeño et al., 2014).

### 3. **Redes de sensores inalámbricos para cultivos de café en Colombia**

Un proyecto desarrollado por la Universidad del Cauca se centró en la optimización de la agricultura de precisión para cultivos de café mediante una topología en estrella. En este sistema, un nodo coordinador recopila los datos de sensores de humedad, temperatura del suelo y las hojas, radiación solar y flujo fotosintético. Los datos se transmiten al nodo coordinador mediante el protocolo Zigbee y luego son enviados a un servidor a través de GSM, utilizando tecnología GPRS para el procesamiento y análisis (Urbano-Molano, 2013).

#### 2.3.7 IoT

El IoT se refiere a la interconexión de dispositivos y sensores a través de internet, permitiendo la transmisión y análisis de datos. En el contexto agrícola, esta tecnología permite monitorear condiciones ambientales y operativas de manera remota y en tiempo real. Los datos recopilados por dispositivos IoT pueden ser procesados para predecir patrones climáticos, identificar necesidades específicas de los cultivos y optimizar los recursos agrícolas.

En el caso de la Finca Experimental Lodana, el uso de IoT facilita la integración de diferentes fuentes de información, como sensores de suelo y clima, para tomar decisiones informadas. Esto no solo mejora la eficiencia en el manejo de cultivos, sino que también reduce costos operativos y minimiza el impacto ambiental.

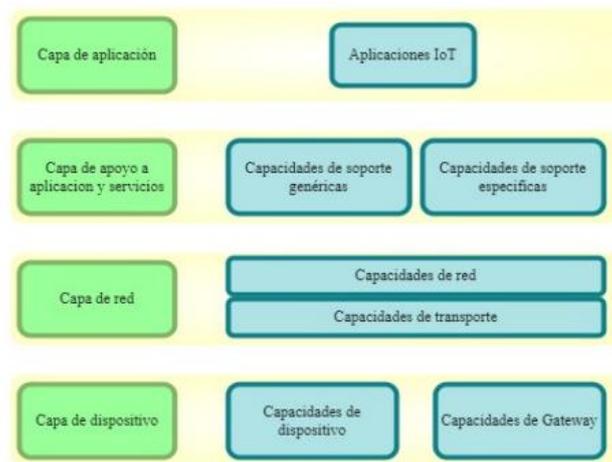
El Internet de las cosas se considera como una infraestructura mundial para la sociedad de la información, que ayuda a la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos del mundo físico y virtual, luego de un proceso de identificación, adquisición y procesamiento de datos; todo el proceso de comunicación se facilita gracias a la

interoperabilidad de tecnologías de la información y comunicación presentes y futuras (ITU, 2012).

IoT involucra un conjunto de tecnologías de red alámbricas e inalámbricas, las cuales permiten el intercambio de información, de esta manera la evolución de IoT hace posible el apareamiento de nuevas soluciones tecnológicas como: dispositivos de hardware, capacidad de conectividad y almacenamiento de datos en plataformas en la nube, ejecutando procesos de manera automática e inteligente, con un bajo consumo de energía. Con el surgimiento de IoT su uso tiene efectos en varios procesos como: sociales, comerciales y de información, generando oportunidades donde las personas pueden interactuar con las máquinas de manera inteligente, para mejorar la eficiencia en el monitoreo de salud, agricultura, ahorro energético, gestión de pedidos, aumento de eficiencia en la educación, entre otros (Sorrietal., 2022).

Modelo de referencia IoT Las aplicaciones IoT como todo sistema, se fundamenta sobre una arquitectura, la misma que define la estructura lógica y física de los componentes que forman parte y como estos interactúan entre sí para lograr la funcionalidad de un sistema.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2012), define una arquitectura IoT sobre cuatro capas; capa aplicación, capa de apoyo a servicios y aplicaciones, capa de red y capa de dispositivos, tal como se muestra en la Figura 6.



*Figura 6: Modelo de referencia IoT*

Fuente: (J. Rueda & Talavera, 2017)

El Internet de las cosas tiene sus raíces en el trabajo realizado por Mark Weiser para Xerox PARC en la década de 1990, donde no estudió el futuro de las redes que conectan las redes entre sí, sino lo que pasaría cuando la tecnología fuese tan barata que sería incorporada a los

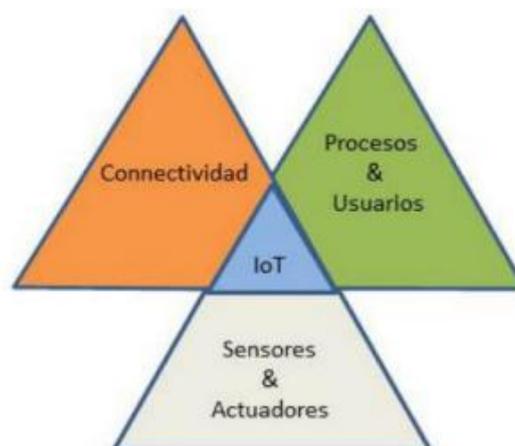
objetos del día a día. (E. Hernández 2019) El término “Internet de las cosas” (en inglés, Internet of Things, abreviado IoT) hace referencia a cualquier dispositivo u objeto cotidiano que cuenta con la capacidad de estar conectado a internet y tener cierto tipo de inteligencia. La figura 7 hace una ilustración de este tipo de tecnología.



*Figura 7: Internet of things*

Fuente: (Crockett, 2023)

La tecnología IoT puede ser considerada como una combinación de sensores y actuadores los cuales cuentan con la capacidad de proporcionar y recibir información digital y colocarla en redes bidireccionales que son capaces de transmitir dicha información para que pueda ser procesada, analizada y utilizada por diferentes servicios y usuarios finales. La figura 8 representa los conceptos por los que está formada la tecnología IoT.



*Figura 8: Concepto de IoT*

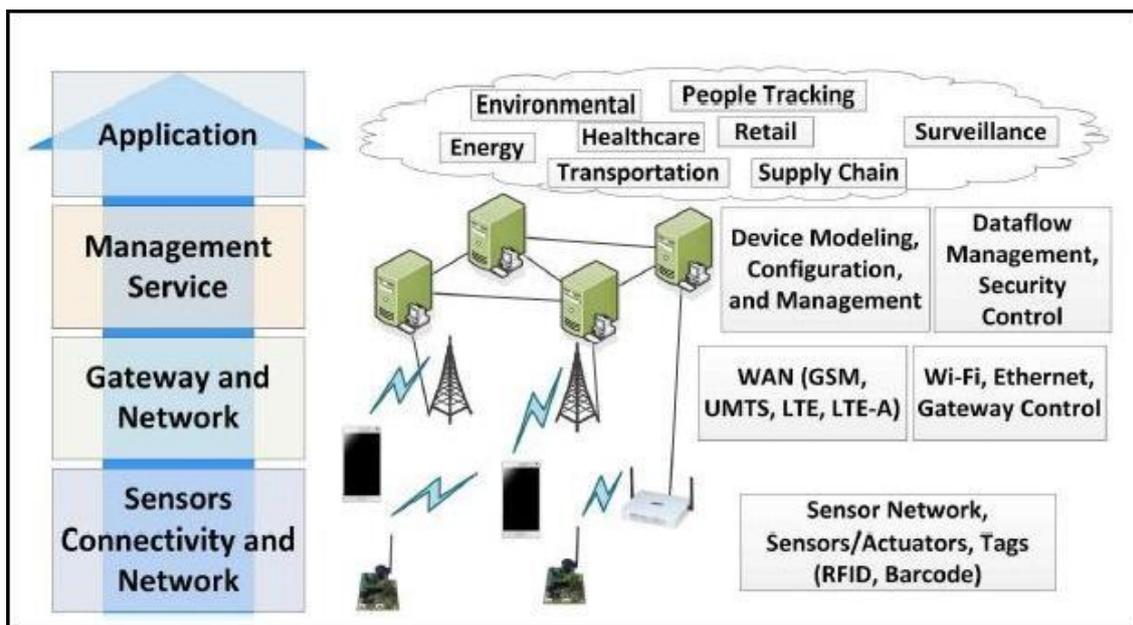
Fuente: (S. S. Jordi Salazar 2017)

### 2.3.8 ARQUITECTURA IoT

Un requisito fundamental de la tecnología IoT consiste en que los objetos de la red deben estar conectados entre sí, ya que dicha tecnología realiza el trabajo de conectar el mundo físico con el mundo virtual. La arquitectura de la tecnología IoT debe contar con un diseño el cual tenga en cuenta la escalabilidad, la extensibilidad y la operatividad entre dispositivos.

Debido a que las cosas se pueden mover la arquitectura debe ser adaptable para que los dispositivos interactúen entre ellos de forma dinámica y admitan una comunicación adecuada en tiempo real. (O. B. S. B. Pradyumna Gokhale 2018)

En la figura 9 se puede observar que la arquitectura de la tecnología IoT está formada por cuatro capas, la capa sensórica, la capa de conectividad, la capa de análisis y procesado y por último la capa de aplicación. (Jecrespom, 2018)



*Figura 9: Capas IoT*

Fuente: (Jecrespom, 2018)

La función que realiza cada capa es la siguiente:

Capa sensórica: Consiste en la capa que reúne a todos los dispositivos del sistema los cuales son capaces de realizar medidas de ciertas magnitudes físicas o parámetros. Estos dispositivos también conocidos como sensores son capaces de detectar automáticamente el entorno e intercambiar datos entre dispositivos, Cada 1 de los objetos o sensores posee una identidad

digital propia y puede ser rastreado de forma fácil y rápida (O. B. S. B. Pradyumna Gokhale 2018).

Capa de conectividad: la función de esta capa consiste en recibir la información útil en forma de señales digitales desde la capa sensorica y transmitirla hacia la capa de análisis y procesamiento haciendo uso de medios de transmisión como WiFi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT, WiMax, Zigbee, GSM, 3G, entre otros, utilizando protocolos como MQTT, IPv4, IPv6, DDS, entre otros. (M. W. S. M. A. K. T. K. M.U. Farooq 2015)

Capa de análisis y procesamiento: esta capa se encarga del procesamiento de la información adquirida en la capa sensorica, se encarga de filtrar los datos no deseados e integrar la información principal en conocimiento que pueda ser útil para los servicios que se desean realizar y para los usuarios finales. (S. S. Jordi Salazar 2017)

Capa de aplicación o Interfaz de usuario: esta capa conecta los dispositivos con los usuarios habilitando su administración, permitiendo integrar, monitorear, organizar y gestionar de manera remota los dispositivos, además de ofrecer características específicas para mantener la conectividad, el estado y la seguridad del sistema durante su etapa de trabajo. (I. I. Connexions 2022)

### **2.3.9 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN IOT**

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha transformado significativamente nuestra forma de interactuar con el entorno. En el núcleo de esta innovación se encuentran los protocolos de comunicación, esenciales para que los dispositivos IoT puedan intercambiar datos de manera eficiente. Comprender cómo funcionan estos protocolos resulta clave para quienes deseen especializarse en este ámbito.

Los protocolos de comunicación en IoT establecen las reglas y normas que rigen la conexión, interacción y transferencia de información entre dispositivos en una red. Estos se integran en la arquitectura IoT y operan en distintos niveles, desde el hardware hasta las aplicaciones de software. En términos generales, son imprescindibles para asegurar la interoperabilidad y el buen desempeño de los dispositivos IoT. Entre los más utilizados se destacan:

El Internet de las Cosas (IoT) se basa en diversos protocolos de comunicación que permiten la transmisión eficiente de datos entre dispositivos. A continuación, se presentan algunos de los más relevantes:

- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Este protocolo destaca por su ligereza, lo que lo convierte en una opción ideal para redes con limitaciones de ancho de banda, como en aplicaciones industriales o remotas (Hunkeler et al., 2008).
- **HTTP/HTTPS:** Basado en tecnologías web ampliamente conocidas, su facilidad de implementación y compatibilidad lo hacen una opción popular para aplicaciones IoT que requieren comunicación directa con servidores web (Fielding & Reschke, 2014).
- **CoAP (Constrained Application Protocol):** Diseñado específicamente para dispositivos IoT con recursos limitados, este protocolo optimiza el uso de ancho de banda y energía, siendo ideal para redes de sensores (Shelby et al., 2014).
- **LoRaWAN (Long Range Wide Area Network):** Es una tecnología que permite comunicaciones de largo alcance con un consumo energético muy bajo, ideal para aplicaciones como agricultura inteligente y monitoreo ambiental (Centenaro et al., 2016).
- **Bluetooth Low Energy (BLE):** Optimizado para comunicaciones de corta distancia y bajo consumo de energía, BLE es ampliamente utilizado en dispositivos portátiles y de salud conectados.

Al seleccionar el protocolo más adecuado para un proyecto IoT, suelen considerarse los siguientes criterios:

1. **Consumo energético:** Para dispositivos alimentados por baterías de larga duración, los protocolos de bajo consumo son los más convenientes.
2. **Alcance:** La capacidad de transmitir información a largas distancias puede requerir protocolos como LoRaWAN.
3. **Velocidad de transmisión:** Si se prioriza una baja latencia y rapidez en la transferencia de datos, MQTT es una opción ideal.
4. **Seguridad:** Protocolos como HTTPS destacan por ofrecer altos niveles de protección para la información transmitida.

5. **Compatibilidad:** Es fundamental garantizar que el protocolo elegido sea compatible con los dispositivos, redes y sistemas utilizados en el proyecto.

(Canle Fernández, 2024).

### 2.3.10 REDES LPWAN

De acuerdo con C. Goursaud y J. Gorce, las redes de comunicación inalámbricas actuales, como las WAN – GSM, UMTS, WIFI, entre otras, no cumplen adecuadamente con los requisitos fundamentales del Internet de las Cosas (IoT) por varias razones. Estas incluyen el alcance limitado de las conexiones, el alto costo de los dispositivos y la incapacidad para soportar un número extremadamente grande de dispositivos conectados simultáneamente. Además, las redes locales de bajo consumo, aunque útiles en ciertos casos, no son ideales debido a su alcance reducido (menos de 1 km). Aunque este problema puede mitigarse utilizando topologías tipo malla, la necesidad de retransmitir el tráfico de otros dispositivos aumenta el consumo energético, lo que limita la duración de la batería de los dispositivos a un máximo de un año (U. Raza, P. Kulkerni, M. Sooriyabandara 2017).

Para abordar los desafíos tecnológicos del IoT, es esencial el desarrollo de nuevas redes de conexión, conocidas como Low-Power Wide Area Network (LPWAN). Aunque existen varias redes LPWAN que cumplen con los requisitos iniciales del IoT, actualmente solo tres ofrecen soluciones completas en el mercado: SigFox, Ingenu y LoRa. Estas redes cuentan con instalaciones extensas que conectan una gran cantidad de dispositivos a Internet.

Sin embargo, hay una diferencia significativa en el modelo de negocio adoptado por estas redes. SigFox e Ingenu operan bajo un esquema completamente propietario, proporcionando todos los servicios relacionados con IoT, desde la venta de dispositivos hasta la red de conexión y los servicios asociados. Por otro lado, la red LoRa, desarrollada por Semtech, tiene un enfoque diferente. Semtech únicamente controla la capa física de la tecnología, mientras que la capa de acceso al medio es gestionada de manera abierta por la LoRa Alliance, una organización sin fines de lucro. Esto permite que cualquier empresa tecnológica pueda implementar su propia red LPWAN basada en LoRa, ofreciendo servicios e infraestructura a sus clientes. Este modelo abierto hace que LoRa sea una opción más atractiva desde una perspectiva empresarial y, por ello, cuenta con el respaldo de grandes compañías de TI.

Es importante mencionar que el avance del IoT no solo depende del desarrollo de dispositivos y redes, sino también de una nueva arquitectura de servicios. Esta arquitectura puede dividirse en tres elementos principales:

- **Hardware:** Incluye el diseño y adaptación de componentes físicos, especialmente dispositivos de comunicación.
- **Middleware:** Los datos generados por millones de dispositivos conectados deben ser almacenados y procesados en sistemas capaces de manejar múltiples orígenes y de identificar adecuadamente cada dispositivo y su información asociada.
- **Visualización:** Se enfoca en presentar la información recopilada de manera accesible y funcional para el usuario final, proporcionando una interfaz eficiente.

Ordóñez Monfort, I. (2017).

### 2.3.11 LoRa

LoRa, cuyo acrónimo proviene de *Long Range*, es una tecnología inalámbrica diseñada para la capa física que permite establecer comunicaciones a largas distancias. Esta tecnología fue desarrollada y registrada por la empresa Semtech, utilizando una técnica de modulación conocida como espectro ensanchado por desplazamiento de frecuencia (*Frequency Shifting Keying*, FSK) y una variante denominada espectro extendido chirp (*chirp spread spectrum*, CSS). Este enfoque combina las ventajas del bajo consumo energético propio de la modulación FSK con un alcance de comunicación ampliado. Además, incorpora una corrección de errores integrada (*Forward Error Correction*, FEC), lo que mejora la confiabilidad de las transmisiones (Semtech, 2023).

LoRa permite manejar una velocidad de transmisión de datos (*data rate*) adaptable mediante factores de dispersión (*spreading factor*, SF) ortogonales, lo que otorga flexibilidad al diseñador del sistema para ajustar el equilibrio entre velocidad de datos, alcance y consumo de energía. Esto optimiza el desempeño de la red dentro de un ancho de banda constante. Opera en bandas ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*), como 915 MHz en Estados Unidos y 433 MHz o 868 MHz en Europa, según lo ilustrado en la Figura 1. Su diseño de banda ancha mejora la relación señal-ruido (SNR), permitiendo la demodulación de señales incluso cuando estas están hasta 19,5 dB por debajo del nivel de ruido.

Con un solo gateway o estación base, LoRa puede cubrir áreas extensas que abarcan desde cientos de kilómetros cuadrados hasta ciudades enteras. No obstante, el alcance efectivo depende significativamente del entorno y de los obstáculos presentes en el área de operación.

### 2.3.12 LoRaWAN

Mientras que la capa física LoRa se encarga de permitir la comunicación de largo alcance, LoRaWAN define tanto el protocolo de comunicación como la arquitectura de la red. Estos elementos son clave para aspectos como la duración de la batería de los nodos (LoRa-Thing), la capacidad de la red, la calidad del servicio (QoS), la seguridad y la diversidad de aplicaciones que la red puede soportar (Moya Quimbita, M. A. 2018).

LoRaWAN ofrece velocidades de transmisión de datos que van desde 0,3 kbps hasta 50 kbps, un rango adecuado para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), comunicaciones Máquina a Máquina (M2M), ciudades inteligentes y usos industriales, especialmente en el envío de datos de sensores en tiempo real. No obstante, la transmisión de datos que requiere un alto ancho de banda, como imágenes en tiempo real, no es ideal para redes LoRa. La baja tasa de transferencia de datos es fundamental para garantizar el bajo consumo energético de los dispositivos finales, permitiendo que funcionen con baterías que pueden durar varios años. Este diseño hace que LoRa/LoRaWAN sea especialmente adecuado para sensores y aplicaciones que necesitan transmitir pequeñas cantidades de datos a grandes distancias de forma periódica y desde diferentes entornos (Moya Quimbita, M. A. 2018).

La red LoRaWAN se caracteriza por su topología en estrella, donde los diferentes componentes trabajan de manera coordinada para garantizar la transmisión eficiente de datos. Su arquitectura incluye elementos clave como las pasarelas (*Gateways*), los nodos finales (*LoRa Things*), un servidor de red y un servidor de aplicaciones, como se ilustra en la figura 11. Una de las ventajas de esta red es que los nodos no están vinculados a una pasarela específica. Esto permite que los datos enviados por un nodo puedan ser recibidos simultáneamente por múltiples pasarelas. A su vez, cada pasarela retransmite los paquetes captados desde los nodos finales al servidor de red mediante una red de respaldo (*Backhaul*), que puede utilizar tecnologías como redes celulares, Ethernet, satelital o Wi-Fi (Moya Quimbita, 2018).

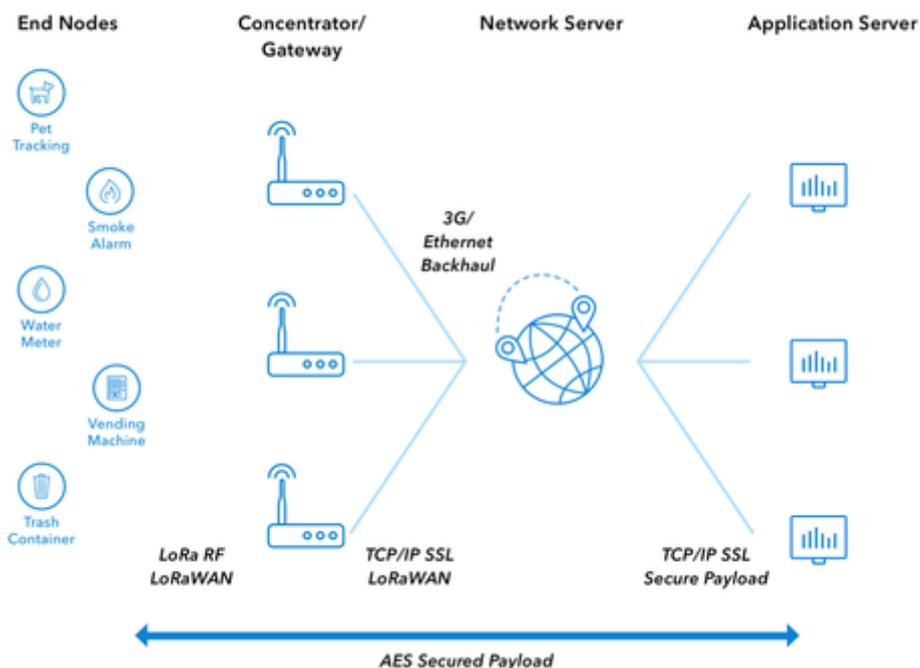


Figura 10: Arquitectura LoRaWAN

Fuente: (Ohms & Ohms, 2024)

### 2.3.13 CAFÉ EN EL ECUADOR

A lo largo de las últimas seis décadas, este producto básico ha atravesado sucesivos ciclos de auge y crisis, caracterizados por una creciente volatilidad, con variaciones abruptas en periodos cortos. Entre 2000 y 2004, el mercado del café enfrentó su peor crisis, mientras que en el período 2009-2010 alcanzó precios récord, llegando a cerca de 300 dólares por quintal. Para 2012, el precio promedio estimado fue de 172,56 dólares, según informes de la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE, 2015).

Ecuador es reconocido por la producción de dos importantes variedades de café: arábica y robusta. Sin embargo, su industria cafetera enfrenta múltiples desafíos que afectan la producción nacional. Entre los principales factores destacan la disminución de los precios en el mercado global, los efectos adversos de fenómenos naturales como "El Niño", la reducción de las áreas destinadas al cultivo y el envejecimiento de los cafetales. Estas problemáticas no solo influyen en la productividad, sino que también tienen un impacto significativo en las condiciones de vida de los agricultores dedicados a este cultivo (Vásquez et al., 2020).

### 2.3.14 CULTIVO DE CAFÉ

En la producción de café en Ecuador, predomina el enfoque tradicional para el manejo de los cultivos. Aproximadamente el 85% de los cafetales son gestionados de forma inadecuada, lo que resulta en rendimientos muy bajos, alrededor de 5,18 quintales de café oro por hectárea. En contraste, solo el 15% de la superficie de café es manejada con métodos semi-tecnificados, lo que logra un rendimiento promedio estimado de 16 quintales de café oro por hectárea (Lalangui, M. 2015).

En particular, el cultivo de café de Manabí se encuentra en una crisis económica desde hace varios años debido a la baja productividad de las plantaciones de café y la mala calidad del grano. Con base en el diagnóstico de COFENAC, se están realizando planes para reestructurar las plantaciones de café para mejorar la productividad y el rendimiento (Pincay, 2017). En Manabí, se están ejecutando obras en los cantones de Jipijapa, Paján, Jama, Pedernales, Santa Ana y Pichincha, para recuperar el lugar que tenía la provincia como productora de café (Pincay, 2017).

### 2.3.15 TIPOS DE CAFÉ

Los tipos de café arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*) representan las dos principales especies de café cultivadas en el mundo, cada una con características distintivas que influyen en su sabor, contenido de cafeína, condiciones de cultivo y aplicaciones en la industria.

- **Café Arábica** El café arábica es la variedad más antigua y consumida a nivel mundial, representando entre el 60% y el 70% de la producción global (ICO, 2021). Originario de Etiopía, esta especie prospera en altitudes elevadas, entre los 600 y los 2,000 metros sobre el nivel del mar, y en climas frescos con temperaturas que oscilan entre los 15°C y los 24°C (SCA, 2020). Su sabor es suave y complejo, con notas afrutadas y florales, además de una acidez pronunciada, características que lo convierten en la opción preferida para cafés de especialidad (NCA, 2019). Los granos de arábica tienen una forma ovalada y contienen un porcentaje menor de cafeína (0.8% - 1.5%) en comparación con la variedad robusta (Semedo & Vieira, 2017). No obstante, su cultivo

es más costoso debido a los estrictos requisitos de producción y su vulnerabilidad a plagas y enfermedades, como la roya del café (FAO, 2018).

- **Café Robusta** El robusta representa el 30-40% de la producción global y es originario de África occidental y central (ICO, 2021). Se cultiva principalmente en altitudes más bajas, por debajo de los 600 metros, y tolera temperaturas más altas, entre 24°C y 30°C, siendo más resistente a plagas y condiciones adversas (SCA, 2020). Este tipo de café se caracteriza por su sabor fuerte, amargo y terroso, con un contenido de cafeína más alto (2%-4%), lo que le otorga mayor resistencia natural contra plagas (NCA, 2019). Los granos de robusta son pequeños y redondeados, con una línea central recta. Gracias a su mayor resistencia y menores requisitos de cultivo, es más económico producirlo (Smith, 2016).

### Comparación y Aplicaciones

El arábica se utiliza principalmente en cafés de especialidad por su calidad y perfil sensorial complejo, mientras que el robusta es ideal para café instantáneo y mezclas para espresso, gracias a su cuerpo denso y contenido elevado de cafeína (ANECAFE, 2015). Además, muchas marcas combinan ambas variedades para equilibrar costo, sabor y características físicas.

#### 2.3.16 HÍBRIDOS DE CAFÉ

El desarrollo de híbridos de café ha sido una estrategia clave para abordar los desafíos en la caficultura global, como la roya, el cambio climático y la necesidad de variedades más productivas. Estos híbridos, como el Híbrido de Timor, Catimor y Sarchimor, son el resultado de décadas de investigación y cruzamientos genéticos diseñados para combinar resistencia, adaptabilidad y calidad en la taza. Según diversos estudios, el Híbrido de Timor, descubierto en la década de 1920, se ha convertido en la base genética para muchas variedades resistentes a enfermedades (CATIE, 2015; IAC, 2018).

Programas como los del CATIE en Costa Rica y el Instituto de Investigación en Café de Brasil han liderado la innovación, desarrollando variedades como el Sarchimor, que combina la resistencia del *Timor* con el perfil sensorial superior de *Villa Sarchí* (Gómez et al., 2017). Además, los híbridos F1, como *Centroamericano* y *Milenio*, representan una nueva generación que promete mantener altos niveles de productividad y calidad, aunque requieren un manejo técnico más especializado (ICO, 2020).

En Ecuador, iniciativas locales han generado variedades como el Híbrido Manabí 01, específicamente diseñado para adaptarse a las condiciones de la región de Manabí, demostrando el impacto positivo de los programas nacionales en el desarrollo sostenible de la caficultura (ANECAFE, 2021).

#### **2.3.16.1 HÍBRIDO SARCHIMOR C-4260**

En 1985, las variedades Sarchimor C-1669 y Sarchimor C-4260 se introdujeron en Ecuador tras haber sido desarrolladas en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Campinas (Brasil). Los híbridos Sarchimor nacen del cruce entre los cultivares Villa Sarchí CIFC 971/10 y 17 Timor CIFC 832/2, un proyecto llevado a cabo en el Centro de Investigación de la Roya del Café en Oeiras, Portugal (Lucas, 2018). Estas variedades se destacan por su baja altura y coloración, que puede ser verde, bronce o ambos, dependiendo de la línea genética. Son plantas vigorosas, de alto rendimiento, ideales para zonas de baja a media altitud, con una copa bien formada. Su estructura cónica compacta y su tamaño mediano se complementan con ramas que forman un ángulo de 50 a 55 grados respecto al eje central. Estas ramas tienen una longitud de entre 0,90 y 1,20 metros, con entrenudos cortos (Zamora, 2019). En Ecuador, líneas como el Sarchimor IAC 1669 y el Sarchimor IAC 4260 han demostrado excelentes cualidades agronómicas, productivas y resistencia a la roya (Zamora, 2019).

#### **2.3.16.2 HÍBRIDO SARCHIMOR C-1669**

El híbrido Sarchimor C-1669 muestra una gran capacidad de adaptación, especialmente en las zonas áridas de Manabí, El Oro y Loja. Se caracteriza por su bajo porte, brotes jóvenes de color bronceado, alta productividad, menor proporción de frutos perdidos y resistencia a la roya anaranjada. En las condiciones locales, esta variedad es resistente a la roya del café y ofrece rendimientos comparables a la variedad Caturra rojo. Las plantas suelen ser más pequeñas que las de esta última variedad y presentan un crecimiento compacto con brotes oscuros (Zamora, 2019).

#### **2.3.16.3 HÍBRIDO MANABÍ 01**

Este híbrido ha sido evaluado en la región sur de Manabí, específicamente en el cantón Jipijapa, como parte de investigaciones realizadas por la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Los estudios se llevaron a cabo en la Granja Experimental Andil y dieron lugar a un material con

adaptabilidad y tolerancia confirmadas frente a la roya del café. Su origen está vinculado al híbrido Cavimor, un cruce entre Catuai y genotipos de Timor. El nombre "Manabí 01" fue asignado debido a que sus duplicados se encuentran en esta región (Zamora, 2019). Como característica principal se pudo observar que las plantas presentaban una frondosidad en todas las plantas además de su porte bajo.

## **2.4 CONCLUSIONES DEL MARCO TEÓRICO**

El análisis del marco teórico resalta la importancia de incorporar tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y las redes de sensores inalámbricos (WSN) en la agricultura de precisión, especialmente en un entorno particular como la Finca Experimental Lodana. Estas herramientas no solo representan una evolución en la gestión agrícola, sino que también ofrecen soluciones innovadoras para abordar los desafíos específicos que enfrenta la caficultura en la provincia de Manabí. Entre estos desafíos se encuentran el cambio climático, la variabilidad en la calidad del suelo, la limitada disponibilidad de recursos hídricos y la creciente exigencia de cumplir con altos estándares de calidad en la producción de café. Ante este panorama, las soluciones tecnológicas integradas se posicionan como una oportunidad para mejorar tanto la productividad como la sostenibilidad.

La implementación de un sistema agrícola basado en IoT y WSN tiene el potencial de revolucionar la gestión de los cultivos de café al proporcionar datos en tiempo real que permiten tomar decisiones más informadas y efectivas. Este enfoque no solo favorece el uso eficiente de recursos como el agua y los fertilizantes, sino que también contribuye a reducir costos operativos y a mitigar los impactos ambientales. Desde el punto de vista académico, este proyecto refuerza el papel de la Finca Experimental Lodana como un centro de investigación de vanguardia, generador de conocimiento aplicable tanto a nivel local como nacional.

Asimismo, el marco teórico establece una sólida base conceptual en torno a la agricultura de precisión, el IoT y las redes de sensores inalámbricos, posicionando a la finca como un modelo replicable en otras regiones del Ecuador donde la caficultura enfrenta desafíos similares. Este enfoque no solo destaca la relevancia de integrar tecnologías avanzadas, sino también la necesidad de comprender profundamente las dinámicas agrícolas locales para garantizar su éxito.

Un aspecto clave del proyecto es la interacción entre la teoría y la práctica. La colaboración entre la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y el sector productivo local refuerza su impacto, promoviendo el desarrollo agrícola y fortaleciendo la economía regional. Este modelo de trabajo conjunto tiene el potencial de convertirse en un precedente para futuras alianzas entre la academia y el sector productivo, impulsando un enfoque innovador y sostenible.

En conclusión, el marco teórico subraya la necesidad de adoptar estrategias integrales que combinen avances tecnológicos, investigación aplicada y un compromiso con la sostenibilidad. Solo mediante este enfoque se garantizará el éxito del proyecto en la Finca Experimental Lodana, extendiendo sus beneficios a otras regiones del país y promoviendo un desarrollo agrícola más resiliente e innovador.

# CAPÍTULO III

### **3. MARCO INVESTIGATIVO (DISEÑO METODOLÓGICO)**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta el diseño metodológico que se empleará para llevar a cabo la investigación titulada: "Implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos para la gestión integral de cultivos de café en la finca experimental Lodana de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí". Este proyecto busca integrar tecnologías innovadoras en la agricultura de precisión, con el objetivo de optimizar los procesos de cultivo, mejorar la sostenibilidad y aumentar la productividad de los cultivos de café. El objetivo principal es describir los pasos metodológicos utilizados para la recopilación, análisis y presentación de los datos que permitirán validar la propuesta. La complejidad del proyecto, que combina tecnología avanzada y prácticas agrícolas, requiere un enfoque metodológico flexible y eficiente.

Para ello, se utilizará la metodología Scrum, una estructura iterativa e incremental ampliamente utilizada en el desarrollo de proyectos tecnológicos, que permite gestionar de manera ágil y eficaz las tareas y recursos disponibles. Scrum facilitará la implementación del sistema de agricultura de precisión mediante la división del trabajo en sprints, que son periodos cortos y definidos de tiempo destinados a completar tareas específicas. Esta metodología promueve una planificación rigurosa al inicio de cada sprint, la ejecución sistemática de actividades durante el mismo y una evaluación detallada al final para ajustar el proceso según los resultados obtenidos y los nuevos requerimientos que puedan surgir. Cada sprint culminará con una evaluación y retroalimentación, asegurando que el desarrollo del sistema se mantenga alineado con las necesidades de los cultivos y las expectativas de los agricultores, expertos técnicos y demás actores involucrados. Además, Scrum fomenta la colaboración continua y efectiva entre los miembros del equipo de investigación, agricultores, ingenieros agrónomos y expertos en tecnología IoT. Esta colaboración es fundamental para garantizar que las soluciones propuestas no solo sean tecnológicamente viables, sino también prácticas y adaptadas a las condiciones específicas de la finca experimental Lodana.

La adaptabilidad de Scrum también permitirá responder rápidamente a cambios o descubrimientos que puedan surgir durante la implementación del proyecto, asegurando así una mejora continua y un resultado final de alta calidad.

Por último, el presente documento detalla cómo se empleará Scrum en cada fase de la investigación, desde la definición inicial de los requisitos y objetivos, hasta la validación final del sistema propuesto. También se describen las herramientas y estrategias utilizadas para garantizar una implementación exitosa, incluyendo la integración de sensores inalámbricos, el análisis de datos en tiempo real y la evaluación de los resultados obtenidos en los cultivos de café. Este enfoque metodológico permitirá una transición efectiva hacia un modelo de agricultura de precisión sostenible y replicable en otras regiones cafetaleras.

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se clasifica como una investigación aplicada, ya que busca resolver un problema específico mediante la implementación de tecnologías avanzadas en el ámbito agrícola. Además, se desarrolla utilizando dos tipos principales de investigación: la descriptiva y la experimental, lo que permite abordar el problema desde diferentes perspectivas y generar resultados relevantes para la comunidad académica y el sector agrícola.

- **Investigación descriptiva:** Este enfoque se centra en caracterizar el estado actual de la gestión de los cultivos de café y las necesidades tecnológicas de los agricultores. A través de encuestas y revisión de literatura, se recopilará información detallada sobre las prácticas agrícolas existentes, los factores que afectan el rendimiento de los cultivos y las expectativas de los usuarios finales del sistema. Esta metodología permite identificar patrones, determinar áreas de oportunidad y establecer una base de conocimiento que oriente el diseño y desarrollo del sistema propuesto. La información recolectada también será clave para establecer indicadores de éxito y medir el impacto del sistema implementado.
- **Investigación experimental:** Una vez definido el contexto y los requisitos mediante la investigación descriptiva, se procederá a desarrollar y probar el sistema de agricultura de precisión en un entorno controlado como la finca experimental Lodana. Este enfoque

experimental incluye la instalación y configuración de sensores IoT y redes de sensores inalámbricos, el diseño de herramientas para el monitoreo en tiempo real y la evaluación continua del impacto del sistema en los cultivos de café. Los experimentos estarán estructurados en sprints de Scrum, lo que permitirá realizar iteraciones rápidas y ajustes basados en los datos recolectados, asegurando la mejora continua de la tecnología. Además, se llevará a cabo un análisis comparativo entre las prácticas tradicionales y el uso del sistema de agricultura de precisión, con el fin de validar su efectividad y sostenibilidad.

La combinación de ambos enfoques asegura una visión integral del problema y una solución tecnológica adaptada a las necesidades reales de los agricultores. La metodología descriptiva proporciona el contexto necesario para entender el escenario actual, mientras que la metodología experimental permite validar el impacto de las soluciones tecnológicas propuestas. Además, la metodología Scrum proporciona un marco ágil y flexible para integrar los hallazgos de ambas investigaciones, optimizando los recursos y asegurando resultados confiables. Este enfoque dual e iterativo no solo contribuye al éxito del proyecto, sino también establece un precedente para la aplicación de tecnologías emergentes en el sector cafetalero y otros campos de la agricultura sostenible.

### **3.3. MÉTODO(S) DE INVESTIGACIÓN**

El método de investigación seleccionado para abordar la implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos en los cultivos de café de la Finca Experimental Lodana se fundamentará en un enfoque mixto. Este enfoque combinará métodos cuantitativos y cualitativos para proporcionar una comprensión integral de los procesos y efectos asociados a la gestión optimizada del cultivo.

En el aspecto cuantitativo, se aplicará un diseño experimental que permitirá la manipulación controlada de variables como la frecuencia y cantidad de riego. Se establecerán grupos de prueba, donde se implementarán estrategias de riego basadas en datos recopilados por sensores de humedad del suelo y tecnologías de monitoreo en tiempo real, y grupos de control que seguirán prácticas tradicionales. Los datos cuantitativos recopilados incluirán métricas relacionadas con el rendimiento del cultivo, la calidad del grano y la eficiencia en el uso del agua. Los análisis estadísticos, como pruebas de hipótesis, se emplearán para evaluar la

significancia de las diferencias entre los grupos y validar la efectividad de las estrategias implementadas.

En el ámbito cualitativo, se realizan encuestas con agricultores y expertos en el manejo de cultivos de café. Esto permitirá recoger percepciones, experiencias y sugerencias relacionadas con las prácticas actuales y las expectativas frente a las nuevas tecnologías. La información cualitativa ofrecerá un contexto valioso que complementará los hallazgos cuantitativos, proporcionando un panorama más completo de la problemática y sus posibles soluciones.

La integración de ambos enfoques permitirá abordar de manera integral la complejidad del tema. Este diseño investigativo garantizará una comprensión profunda y contextualizada, respaldando de manera sólida las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

### **3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN DE DATOS**

A continuación, se describen las herramientas utilizadas durante el proceso de recolección de datos.

#### **3.4.1 ENCUESTA**

En octubre de 2023, se llevó a cabo una encuesta exhaustiva en la Finca Experimental Lodana con el objetivo de evaluar la implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en tecnologías de monitoreo remoto y sensores inalámbricos para la gestión integral de los cultivos de café. Este estudio contó con la participación activa de agricultores locales y expertos en tecnología agrícola, quienes aportaron información valiosa sobre la percepción, aceptación y desafíos asociados a estas innovaciones tecnológicas.

La encuesta se diseñó para abordar aspectos clave relacionados con la eficacia de los sensores de humedad del suelo, la precisión de los datos proporcionados por los sistemas de monitoreo en tiempo real y los beneficios observados en términos de optimización del uso del agua y mejora de la productividad de los cultivos. También se indagó sobre las dificultades encontradas durante la implementación, como la necesidad de formación técnica, los costos iniciales y la integración de estas tecnologías en las prácticas agrícolas tradicionales.

Los datos obtenidos durante esta etapa serán analizados minuciosamente en las siguientes fases de la investigación. Este análisis permitirá identificar patrones, evaluar la eficacia de las estrategias implementadas y desarrollar recomendaciones específicas para optimizar aún más el uso de estas herramientas tecnológicas en el manejo de los cultivos de café.

La participación de los agricultores y expertos ha sido fundamental para enriquecer el estudio con perspectivas prácticas y contextuales. Este esfuerzo colaborativo representa un paso significativo hacia la adopción de prácticas agrícolas más eficientes, sostenibles y adaptadas a las necesidades locales en la Finca Experimental Lodana. Agradecemos profundamente el compromiso y el valioso aporte de todos los involucrados en esta importante investigación.

### **3.4.2 OBSERVACIÓN**

En el contexto de la Finca Experimental Lodana, la implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en tecnologías IoT y sensores inalámbricos para la gestión de cultivos de café ha generado observaciones esenciales que guían la optimización del proceso. Una de las principales conclusiones es la aceptación heterogénea de estas innovaciones entre los agricultores, lo que pone de manifiesto la necesidad de diseñar estrategias de comunicación más eficaces y personalizadas para facilitar la adopción tecnológica.

A pesar de los desafíos logísticos identificados, como el acceso inicial a equipos y la integración con prácticas tradicionales, se evidencian mejoras significativas en la eficiencia del uso del agua para riego. Estas observaciones respaldan la viabilidad técnica de las soluciones implementadas, destacando su potencial para transformar las prácticas agrícolas de manera sostenible y productiva.

Un aspecto crucial identificado es la importancia de los programas de capacitación continua. Los agricultores que han recibido formación específica sobre el uso de sensores y tecnologías de monitoreo muestran una mayor disposición y confianza hacia la adopción de estas herramientas, en comparación con aquellos que no han tenido acceso a dichas oportunidades de aprendizaje. Esto subraya la necesidad de invertir en iniciativas educativas como un componente esencial del proceso de implementación tecnológica.

Además, se hace evidente la importancia de realizar evaluaciones constantes de los sistemas implementados. Un enfoque adaptativo, que permita ajustar y optimizar las soluciones

tecnológicas en función de las necesidades cambiantes del cultivo y las condiciones ambientales, se presenta como un camino necesario para maximizar los beneficios a largo plazo.

Estas observaciones destacan el gran potencial para lograr una gestión sostenible y eficiente del agua en los cultivos de café de la finca. Integrar estos aprendizajes en futuras estrategias de implementación permitirá abordar los desafíos identificados y promover mejoras continuas, estableciendo una base sólida para el desarrollo agrícola en la Finca Experimental Lodana.

### **3.5. FUENTES DE INFORMACIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1 FUENTES PRIMARIAS:**

El grupo de usuarios y participantes involucrados en esta investigación incluye a los agricultores locales, técnicos especializados y expertos en tecnología agrícola, quienes han sido seleccionados para proporcionar datos clave sobre la adopción y funcionamiento de las tecnologías implementadas en los cultivos de café. Los datos provienen directamente de estos participantes o de una muestra representativa de los mismos, lo que permite obtener información detallada sobre la efectividad y los desafíos del sistema de riego optimizado basado en IoT y sensores inalámbricos

#### **Información obtenida de trabajos previos:**

La información obtenida de otros trabajos hechos antes constituye una fuente fundamental para el desarrollo de esta investigación, ya que permite aprovechar los hallazgos previos en el ámbito de la agricultura de precisión, el uso de tecnologías IoT y su aplicación en cultivos de café. A través de la revisión exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos, tesis y estudios de caso, se recopilará información relevante sobre:

- **Sistemas de agricultura de precisión existentes:** Diseño, implementación y resultados obtenidos en contextos similares.
- **Tecnologías IoT aplicadas a la agricultura:** Tipos de sensores, protocolos de comunicación y plataformas de análisis de datos empleados en otros proyectos.
- **Desafíos y lecciones aprendidas:** Problemas identificados en la adopción de tecnologías avanzadas por parte de los agricultores, así como estrategias efectivas para superar estas barreras.

- **Impacto de estas tecnologías en cultivos de café:** Cambios en productividad, sostenibilidad y gestión agrícola derivados de la aplicación de estas soluciones.

Este análisis crítico de la literatura previa permitirá identificar vacíos de conocimiento, establecer referencias para comparar los resultados de esta investigación y garantizar que el sistema propuesto esté alineado con las mejores prácticas y tendencias actuales en el campo. Además, servirá como base para justificar la elección de tecnologías y enfoques metodológicos, optimizando los recursos y aumentando las probabilidades de éxito del proyecto.

### **Observaciones de Campo en la Finca Experimental Lodana:**

La presencia física en la finca permitirá realizar observaciones directas sobre el funcionamiento de la infraestructura de riego y el estado general de las plantaciones de café. Se registran detalles sobre la distribución del agua en el terreno, la salud y el crecimiento de los cultivos, así como la interacción entre los sensores de humedad y otros dispositivos tecnológicos implementados. Estas observaciones serán cruciales para identificar posibles áreas de mejora en la aplicación de las tecnologías de riego y para validar los resultados obtenidos de otras fuentes de datos.

### **Datos Recopilados de Sensores y Equipos de Monitoreo:**

El análisis de los datos provenientes de los sensores de humedad del suelo y otros dispositivos de monitoreo instalados en la finca será una fuente esencial de información cuantitativa. Estos dispositivos proporcionarán datos en tiempo real sobre variables clave, como la humedad del suelo, los niveles de agua disponibles y los patrones de riego, lo cual permitirá evaluar la efectividad de las tecnologías implementadas. El análisis de estos datos será vital para determinar la eficiencia en el uso del agua y la calidad del riego aplicado, facilitando la toma de decisiones informadas para la optimización de los sistemas de riego en la Finca Experimental Lodana.

Este enfoque integral de recopilación de datos, que combina testimonios directos con datos cuantitativos y observaciones en campo, permitirá obtener una visión completa y detallada sobre el impacto y la efectividad de las tecnologías de agricultura de precisión en la gestión de los cultivos de café.

### **3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS:**

Las fuentes secundarias se caracterizan por presentar información que ha sido previamente elaborada, sintetizada y reorganizada, con el propósito de facilitar y optimizar el acceso a los datos originales provenientes de fuentes primarias. Estas fuentes parten de datos ya procesados, como los que se encuentran en anuarios estadísticos, plataformas de Internet, medios de comunicación, bases de datos diseñadas para otros fines, así como artículos, libros, tesis, informes oficiales y documentos relacionados con diversos temas, como enfermedades específicas (Ponce, 2022).

En el contexto de la investigación sobre la implementación de un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos para la gestión integral de cultivos de café en la Finca Experimental Lodana, las fuentes secundarias serán fundamentales para contextualizar y enriquecer el estudio.

#### **Investigaciones Científicas y Técnicas Relevantes sobre Riego y Agricultura de Precisión:**

La revisión de investigaciones científicas y técnicas previas sobre la optimización de riego en cultivos de café proporcionará una base sólida de conocimientos teóricos y prácticos. Estos estudios permitirán contextualizar los resultados obtenidos en la Finca Experimental Lodana y comparar las prácticas locales con las mejores prácticas a nivel internacional.

#### **Informes Oficiales y Documentos Gubernamentales Relacionados con la Agricultura:**

La exploración de informes gubernamentales locales y nacionales relacionados con la agricultura en la región de Manabí permitirá comprender las políticas y estrategias del gobierno en relación con la gestión del agua y la adopción de tecnologías agrícolas. Estos informes también pueden proporcionar datos estadísticos relevantes que enriquecerán el análisis de la investigación.

#### **Datos Climáticos y Geospaciales de la Región de Manabí:**

El acceso a datos climáticos y geospaciales de la región proporcionará información sobre las condiciones meteorológicas, variaciones estacionales y otros factores climáticos que pueden influir en la gestión del riego. Esta información es esencial para adaptar las prácticas de riego a las condiciones específicas del entorno y garantizar la sostenibilidad de los cultivos de café.

#### **Evolución Histórica de las Prácticas Agrícolas en la Finca Experimental Lodana:**

La exploración de archivos históricos de la Finca Experimental Lodana permitirá trazar la evolución de las prácticas agrícolas, cambios en la gestión del agua y el desarrollo de la

infraestructura agrícola a lo largo del tiempo. Esta perspectiva histórica contextualiza las prácticas actuales y proporcionará una comprensión más profunda de los desafíos y logros alcanzados en la finca. La combinación de estas fuentes secundarias garantizará un enfoque integral en la investigación, proporcionando una base sólida para la comprensión detallada de la implementación de tecnologías de optimización de riego en la Finca Experimental Lodana y su entorno en Santa Ana, Manabí, Ecuador.

### **3.6. MECANISMOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.6.1 SEGMENTACIÓN**

Esta estructura se centra en proporcionar una comprensión integral de la implementación de tecnologías agrícolas innovadoras en la Finca Experimental Lodana. Desde un análisis geográfico detallado que abarca las diversas zonas de la finca, hasta una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales y socioeconómicos, cada aspecto se aborda con el fin de ofrecer una visión completa de cómo las tecnologías de optimización de riego están mejorando la eficiencia en el uso del agua, la productividad de los cultivos y la sostenibilidad en la región. La investigación se basa en fuentes primarias, como observaciones de campo, y fuentes secundarias que ayudan a contextualizar las prácticas locales dentro de los marcos científico y gubernamental. La segmentación temporal y la consideración de diferentes grupos de participantes permitirán capturar la evolución de las prácticas agrícolas a lo largo del tiempo y comprender las percepciones y desafíos de los actores clave, como los agricultores y los expertos en tecnología agrícola. Este enfoque integral proporcionará una visión detallada que no solo destacará los beneficios y retos asociados con la implementación de estas tecnologías, sino que también ofrecerá recomendaciones prácticas y estrategias para mejorar de manera continua la gestión del riego en la Finca Experimental Lodana.

#### **3.6.2 TÉCNICA DE MUESTREO**

##### **Muestreo no probabilístico**

- **Muestreo por Conveniencia** En este tipo de muestreo, la selección de las áreas y participantes en la Finca Experimental Lodana se realizará de acuerdo con la accesibilidad y conveniencia del investigador. Esto permitirá identificar de manera

rápida y práctica los puntos iniciales para la implementación del sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos.

- **Muestreo Intencional** La selección de participantes y áreas específicas será guiada por expertos en agricultura de precisión, quienes establecerán criterios basados en la relevancia y el impacto potencial en los cultivos de café. Esto permitirá concentrar los esfuerzos en zonas clave de la finca y en actores estratégicos, facilitando un análisis detallado de los casos más significativos.
- **Selección por Cuotas** Se buscará dividir la población en subgrupos representativos que reflejen las características generales de la finca, como su diversidad geográfica y las condiciones específicas de los cultivos. Esto garantizará que cada segmento relevante esté adecuadamente representado en el estudio.

(Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen, (González, 2020).

En el contexto de esta investigación, se aplicará una estrategia de muestreo cuidadosamente diseñada que combine de manera estratégica el muestreo aleatorio y el intencional. El muestreo aleatorio garantizará una representación equitativa de las diferentes áreas de la Finca Experimental Lodana, evitando sesgos y asegurando una visión objetiva de la implementación del sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos. Por su parte, el muestreo intencional se enfocará en identificar y analizar zonas específicas y participantes clave, considerados esenciales para el desarrollo del estudio, permitiendo un examen detallado de casos relevantes.

Además, se empleará el muestreo por estratos como una técnica fundamental, dada la diversidad geográfica de la finca. Esta metodología segmentará la finca en categorías basadas en características significativas, como la ubicación, el tipo de tecnología aplicada y las condiciones climáticas, asegurando que cada segmento esté representado en la muestra final. Paralelamente, se integrará un muestreo temporal que permitirá captar las variaciones estacionales en la gestión de los cultivos de café y los resultados obtenidos a lo largo del año.

Esta estrategia integral de muestreo no solo garantizará la recopilación de datos sólidos y representativos, sino que también permitirá un análisis exhaustivo del impacto y la optimización de las tecnologías implementadas. La participación activa de agricultores y expertos locales será promovida, enriqueciendo la investigación con sus conocimientos prácticos y experiencias directas, y fortaleciendo así la relevancia y aplicabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.6.3 POBLACIÓN**

La población objeto de estudio estará conformada por las diferentes áreas de cultivo de café en la Finca Experimental Lodana. La muestra incluirá específicamente las parcelas donde se implementen tecnologías de agricultura de precisión basadas en IoT y redes de sensores inalámbricos, abarcando un periodo de evaluación de los últimos tres años.

Se garantizará la participación de agricultores con distintos niveles de experiencia y ubicados en diversas áreas geográficas dentro de la finca, asegurando así una representación heterogénea.

Asimismo, se involucrará a expertos locales en agricultura y tecnología, quienes aportarán conocimientos especializados sobre la implementación y efectividad de las tecnologías aplicadas para la gestión integral del riego.

La selección de esta población será estratégica, considerando la diversidad de experiencias y perspectivas. Este enfoque permitirá obtener una visión completa y detallada sobre el impacto de las tecnologías de precisión en la optimización del manejo de los cultivos de café en este entorno agrícola particular.

### **3.6.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA**

Según Hernández Sampieri et al. (2018), una muestra se define como “un subconjunto de elementos que pertenecen a un grupo definido (población), seleccionados para participar en un estudio de investigación”.

Con el objetivo de capturar una representación completa y enriquecedora de las experiencias agrícolas en la Finca Experimental Lodana, se seleccionaron cuidadosamente 8 agricultores para participar en una encuesta.

Esta selección se basó en criterios como la ubicación geográfica dentro de la finca, el nivel de experiencia con tecnologías de riego y la diversidad de cultivos gestionados.

Los 8 agricultores seleccionados representan diversas áreas geográficas y diferentes niveles de familiaridad con las tecnologías de optimización de riego, asegurando una muestra heterogénea que refleje las variadas perspectivas presentes en la finca.

Esto permitirá generar datos cuantitativos significativos sobre las percepciones y patrones de implementación de estas tecnologías. La combinación de métodos de recolección de datos, a través de encuestas e investigaciones, ofrecerá una visión global y detallada de la implementación de tecnologías de optimización de riego en la Finca Experimental Lodana. Este enfoque contribuirá a una comprensión integral y contextualizada de este aspecto crucial de la gestión agrícola en la región de Santa Ana, Manabí, Ecuador.

### **3.6.5 ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La integración de encuestas estructuradas nos proporciona una perspectiva integral, permitiéndonos captar la diversidad de experiencias en la implementación de tecnologías agrícolas. Su participación, ya sea como agricultor, experto en tecnología agrícola o miembro del equipo de gestión, resulta fundamental para recoger la riqueza de conocimientos y prácticas que fortalecerán nuestro análisis.

### **3.6.6 TRABAJOS PREVIOS**

#### **Objetivos del Análisis de Trabajos Previos**

*Tabla 2: Objetivos del Analisis*

Número	Objetivo
1	Identificar las razones principales que impulsaron la adopción de tecnologías de precisión basadas en IoT y sensores inalámbricos en la gestión de los cultivos de café.
2	Analizar los resultados documentados en experiencias previas sobre herramientas de monitoreo remoto y sensores aplicados al manejo agrícola.
3	Detectar los principales obstáculos encontrados en la implementación de estas tecnologías y las soluciones propuestas en los estudios.
4	Evaluar las metodologías utilizadas en trabajos similares para optimizar la aplicación en este proyecto.
5	Determinar los beneficios reportados en términos de eficiencia en riego, manejo agrícola y sostenibilidad tras la implementación de estas soluciones tecnológicas.

## **Conclusiones del Análisis de Trabajos Previos**

El análisis de investigaciones previas reveló información clave sobre las ventajas y desafíos en la aplicación de tecnologías IoT en la agricultura de precisión. Los hallazgos indican que la motivación principal para la adopción de estas tecnologías es la mejora en la eficiencia del uso de recursos como el agua y los insumos agrícolas. Asimismo, se destacó la necesidad de formación continua para el personal agrícola y la importancia de adaptar las tecnologías a las condiciones locales. Los resultados obtenidos servirán como referencia para garantizar que el sistema desarrollado en esta investigación sea funcional y relevante para las necesidades específicas de la Finca Experimental Lodana.

### **3.6.7 ENCUESTAS**

La combinación de entrevistas detalladas y encuestas estructuradas nos proporciona una visión integral de las experiencias y percepciones sobre la implementación de tecnologías de precisión en la Finca Experimental Lodana. La participación de agricultores, expertos en tecnología agrícola y personal de gestión es fundamental para capturar la diversidad de perspectivas que enriquecerán nuestro análisis. Agradecemos profundamente su colaboración en este proceso hacia prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles en la finca.

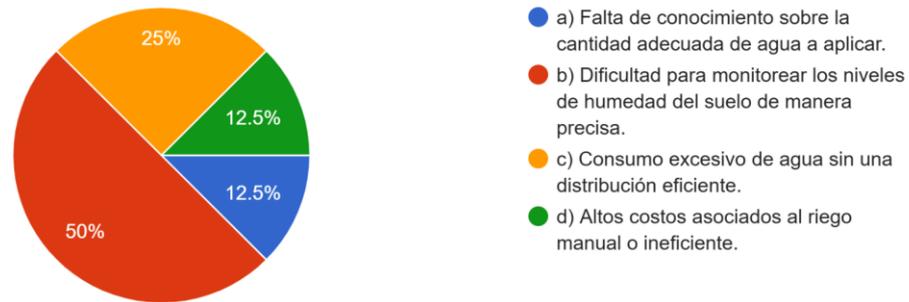
El cuestionario fue administrado en las áreas circundantes a la Finca Experimental Lodana, situada en Santa Ana, Manabí. Se seleccionaron 8 agricultores locales de estas zonas cercanas para participar en la encuesta. Esta elección tiene como objetivo obtener una visión más precisa de las perspectivas de la comunidad agrícola local, lo que permitirá comprender mejor las dinámicas y los desafíos asociados con la implementación de tecnologías de optimización de riego en este entorno particular.

El cuestionario consta de 6 preguntas, estructuradas de manera progresiva, comenzando con temas generales y avanzando hacia aspectos más específicos relacionados con la tecnología aplicada en la finca. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las respuestas proporcionadas durante la encuesta.

**Pregunta 1:** Antes de la implementación de tecnologías de optimización de riego, ¿Cuáles consideraba usted como los principales desafíos en la gestión del riego en sus cultivos?

Antes de la implementación de tecnologías de optimización de riego, ¿Cuáles consideraba usted como los principales desafíos en la gestión del riego en sus cultivos?

8 respuestas



*Figura 11: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta*

Fuente propia

Esta pregunta busca entender el punto de partida de los agricultores antes de la implementación de las tecnologías de riego. Proporcionará una visión sobre el nivel de conciencia y la disposición para adoptar nuevas prácticas, permitiendo así una evaluación inicial del contexto en el que se introdujeron las tecnologías y cómo influyó en la percepción y aceptación por parte de los agricultores.

**Conclusión** La distribución de respuestas revela que el principal desafío percibido por los agricultores en la gestión del riego era la "dificultad para monitorear los niveles de humedad del suelo de manera precisa", con el 50% de los encuestados mencionando este problema. Este resultado sugiere que los agricultores reconocían la importancia de un control preciso de la humedad para una gestión eficiente del riego, pero enfrentaban limitaciones para lograrlo.

Este panorama inicial proporciona una base para comprender cómo la implementación de tecnologías de optimización de riego podría haber abordado estos desafíos específicos, especialmente en lo que respecta a la medición precisa de la humedad y la distribución eficiente del agua. Además, refleja una disposición de los agricultores a mejorar la eficiencia del riego, lo cual es clave para evaluar la aceptación y efectividad de las tecnologías adoptadas en la Finca Experimental Lodana.

**Pregunta 2:** ¿Considera que el uso de tecnologías de precisión puede mejorar la gestión integral de los cultivos de café?

¿Considera que el uso de tecnologías de precisión puede mejorar la gestión integral de los cultivos de café?

8 respuestas

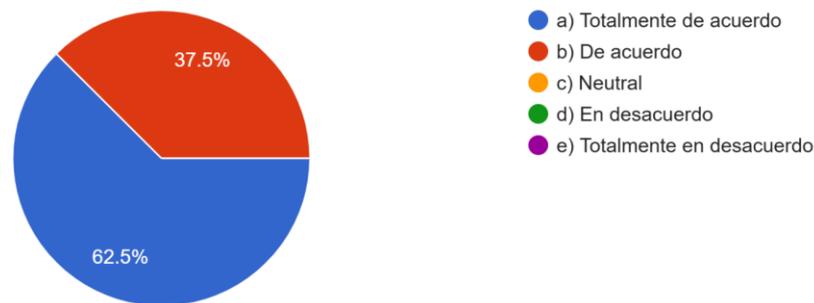


Figura 12: Resultados de la pregunta 2 de la encuesta

Fuente propia

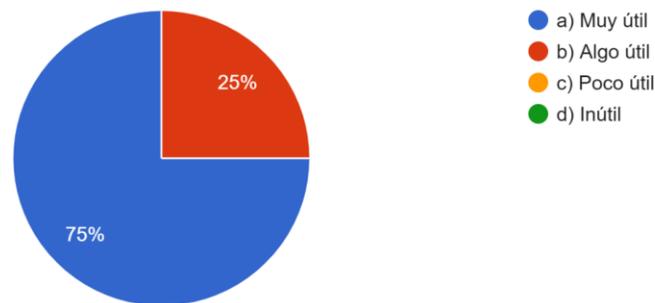
Esta pregunta busca evaluar la percepción de los agricultores sobre el impacto potencial de las tecnologías de precisión en la mejora de la gestión integral de los cultivos de café. Las respuestas reflejan el nivel de confianza y expectativas que los agricultores tienen respecto a estas tecnologías, proporcionando una perspectiva sobre su disposición a adoptarlas y su valoración de sus beneficios potenciales en el contexto agrícola específico de la Finca Experimental Lodana.

**Conclusión:** Los resultados muestran que el 37.5% de los encuestados está "de acuerdo" y el 62.5% está "totalmente de acuerdo" con que el uso de tecnologías de precisión puede mejorar la gestión integral de los cultivos de café. Esta distribución indica un alto nivel de aceptación y optimismo entre los agricultores respecto al impacto positivo de estas tecnologías. La mayoría de los participantes no solo reconoce su potencial, sino que lo considera como una herramienta clave para optimizar las prácticas agrícolas. Este consenso positivo refleja una apertura significativa hacia la innovación tecnológica en el manejo de cultivos de café, lo que sugiere que los agricultores están dispuestos a adoptar estas soluciones para enfrentar los desafíos actuales en la gestión agrícola. Este nivel de aceptación es crucial para garantizar el éxito de la implementación de tecnologías de precisión en la finca, ya que facilita la integración de estas herramientas en las prácticas cotidianas y fomenta una mayor sostenibilidad en la producción agrícola.

**Pregunta 3:** ¿Qué tan útil cree que sería el monitoreo continuo del clima, humedad del suelo y otros parámetros a través de sensores inalámbricos?

¿Qué tan útil cree que sería el monitoreo continuo del clima, humedad del suelo y otros parámetros a través de sensores inalámbricos?

8 respuestas



*Figura 13: Resultados de la pregunta 3 de la encuesta*

Fuente propia

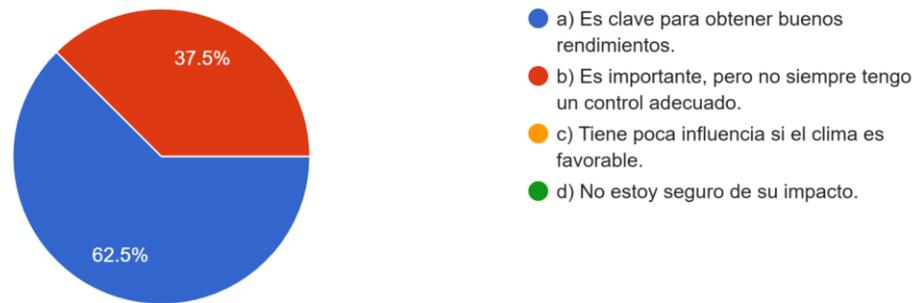
Esta pregunta busca captar la percepción de los agricultores sobre la utilidad del monitoreo continuo de parámetros clave como el clima y la humedad del suelo mediante sensores inalámbricos. Las respuestas reflejan el nivel de interés y valoración que los agricultores otorgan a estas tecnologías, lo que es fundamental para entender su disposición hacia la adopción de herramientas avanzadas de monitoreo en sus prácticas agrícolas.

**Conclusión:** Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados, con 6 respuestas, considera que el monitoreo continuo de parámetros a través de sensores inalámbricos sería "muy útil", mientras que 2 respuestas indican que sería "algo útil". Esta distribución destaca una valoración altamente positiva hacia estas tecnologías, con una clara inclinación hacia su potencial para mejorar la gestión agrícola.

La percepción de utilidad predominante sugiere que los agricultores reconocen el valor del acceso a datos en tiempo real para optimizar la toma de decisiones en el manejo de los cultivos. Este resultado es indicativo de un interés generalizado en adoptar herramientas tecnológicas que puedan facilitar un control más preciso y eficiente, especialmente en aspectos críticos como el riego y la respuesta a condiciones climáticas. La aceptación mayoritaria de esta utilidad es un factor clave que respalda la implementación de sensores inalámbricos en la Finca Experimental Lodana, promoviendo una gestión agrícola más informada y sostenible.

**Pregunta 4:** Desde su experiencia, ¿Cómo influye el riego en la productividad de sus cultivos de café?

Desde su experiencia, ¿Cómo influye el riego en la productividad de sus cultivos de café?  
 8 respuestas



*Figura 14: Resultados de la pregunta 4 de la encuesta*

Fuente propia

Esta pregunta tiene como objetivo comprender la percepción de los agricultores sobre la relación entre el riego y la productividad de los cultivos de café. Las respuestas permiten evaluar la importancia que los agricultores asignan al manejo del riego y su impacto en los rendimientos agrícolas, proporcionando una base para analizar cómo la optimización del riego puede influir en la mejora de los resultados productivos.

**Conclusión:** Los resultados indican que el 62.5% de los encuestados considera que el riego es "clave para obtener buenos rendimientos", mientras que el 37.5% lo ve como "importante, pero no siempre tengo un control". Esta distribución refleja un consenso general sobre la relevancia del riego en la productividad de los cultivos, con una mayoría que lo identifica como un factor esencial para alcanzar altos rendimientos.

Sin embargo, la proporción significativa de agricultores que menciona la falta de control sugiere que existen limitaciones prácticas en la gestión del riego. Este hallazgo resalta la necesidad de implementar tecnologías que permitan un monitoreo más preciso y una distribución eficiente del agua. Al mismo tiempo, la percepción predominante de la importancia del riego refuerza el potencial impacto positivo de las tecnologías de optimización de riego en la Finca Experimental Lodana, tanto en términos de productividad como de sostenibilidad.

**Pregunta 5:** ¿Qué beneficios espera obtener de un sistema de riego basado en tecnologías de precisión?

¿Qué beneficios espera obtener de un sistema de riego basado en tecnologías de precisión?  
 8 respuestas



*Figura 15: Resultados de la pregunta 5 de la encuesta*

Fuente propia.

Esta pregunta busca identificar las expectativas de los agricultores respecto a los beneficios percibidos de implementar un sistema de riego basado en tecnologías de precisión. Las respuestas reflejan las prioridades y necesidades principales de los agricultores en relación con la productividad, los costos operativos y la sostenibilidad de los recursos.

**Conclusión:** Los resultados muestran que el 75% de los encuestados espera que el principal beneficio de un sistema de riego basado en tecnologías de precisión sea "aumentar la productividad del cultivo". Un 12.5% valora la posibilidad de "reducir costos de operación", y otro 12.5% menciona "ahorrar agua y recursos" como un beneficio clave.

La predominancia de la expectativa de aumentar la productividad indica que los agricultores están altamente enfocados en maximizar el rendimiento de sus cultivos como el objetivo principal. Sin embargo, la presencia de respuestas relacionadas con la reducción de costos y el ahorro de recursos refleja una conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad económica y ambiental. Estos hallazgos subrayan la relevancia de un sistema de riego que no solo incremente la productividad, sino que también ofrezca soluciones eficientes y sostenibles. La implementación de tecnologías de precisión en la Finca Experimental Lodana tiene el potencial de satisfacer estas expectativas.

**Pregunta 6:** ¿Cuáles cree usted que son los principales obstáculos para implementar estas tecnologías en sus cultivos?

¿Cuáles cree usted que son los principales obstáculos para implementar estas tecnologías en sus cultivos?  
 8 respuestas



*Figura 16: Resultados de la pregunta 6 de la encuesta*

Fuente propia

Esta pregunta busca identificar los principales desafíos percibidos por los agricultores para adoptar tecnologías de precisión en sus cultivos. Las respuestas permiten comprender las barreras técnicas, económicas y logísticas que pueden limitar la implementación de estas innovaciones, proporcionando información clave para diseñar estrategias que aborden estas limitaciones.

**Conclusión:** Los resultados revelan que el 37.5% de los encuestados considera que la "falta de conocimiento o capacitación" es el principal obstáculo para implementar tecnologías de precisión. El 25% menciona los "altos costos de implementación" y la "dificultad para mantener y reparar los equipos", mientras que el 12.5% identifica la "infraestructura limitada en la finca" como una barrera significativa. Estos hallazgos destacan la importancia de brindar programas de capacitación específicos que permitan a los agricultores comprender y manejar las tecnologías de precisión de manera efectiva. Además, los costos iniciales de implementación y los desafíos de mantenimiento técnico subrayan la necesidad de soluciones accesibles y sostenibles que reduzcan las barreras económicas y técnicas. Finalmente, la infraestructura limitada, aunque menos mencionada, sigue siendo un factor relevante, especialmente en áreas rurales como la Finca Experimental Lodana. Abordar estos obstáculos de manera integral será crucial para garantizar una adopción exitosa de las tecnologías de precisión en la gestión de los cultivos de café.

# CAPÍTULO IV

## **4. MARCO PROPOSITIVO (ELABORACION DE LA PROPUESTA)**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En el marco de la Finca Experimental Lodana, este proyecto para implementar un sistema de agricultura de precisión basado en IoT y redes de sensores inalámbricos para el manejo integral de cultivos de café representa un gran avance en la integración de prácticas agrícolas tradicionales con tecnologías de punta. La propuesta pretende transformar la gestión del agua y optimizar la producción mediante la aplicación estratégica de sensores avanzados y tecnologías de monitoreo remoto, combinando eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

El diseño incluye la implementación de una red LoRaWAN, que proporciona comunicación eficiente y de largo alcance, permitiendo la transmisión en tiempo real de datos clave desde sensores estratégicamente distribuidos en áreas en crecimiento a una plataforma central de IoT. Esta arquitectura no solo garantiza la recopilación precisa de datos como la humedad del suelo, la temperatura y las condiciones climáticas, sino que también facilita la toma de decisiones basada en datos, mejorando así la gestión y la productividad del riego.

La meticulosa selección de sensores, como Heltec WiFi LoRa, YL-69 y HD-38, se centra en capturar variables fundamentales para la salud y el rendimiento del cultivo de café. Los datos obtenidos en tiempo real permitirán ajustar dinámicamente las prácticas de riego y gestión agrícola a las necesidades específicas de cada zona de cultivo, maximizando el uso eficiente del agua y asegurando una producción sostenible.

Además, el desarrollo de una aplicación web dedicada ofrece una interfaz accesible e intuitiva para agricultores y administradores. Esta herramienta no sólo permitirá monitorizar el sistema de agricultura de precisión en tiempo real desde cualquier lugar, sino que también facilitará la toma de decisiones estratégicas, optimizando la gestión de los recursos.

En conclusión, este proyecto pretende no sólo modernizar las prácticas agrícolas de la Finca Experimental Lodana, sino también establecer un modelo de referencia en agricultura de precisión para el cultivo de café. Al integrar el conocimiento agrícola tradicional con tecnologías innovadoras, su objetivo es crear un enfoque más eficiente y sostenible que se adapte a los desafíos y oportunidades únicos de este entorno agrícola.

## 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta actual tiene como objetivo abordar la implementación de un sistema innovador de agricultura de precisión en la Finca Experimental Lodana ubicada en Santa Ana, Manabí, Ecuador. El proyecto nació de la necesidad de optimizar el manejo del cultivo de café mediante el uso de tecnología IoT y redes de sensores inalámbricos, garantizando así una producción sostenible y eficiente en medio de una creciente presión sobre el agua y los recursos productivos.

La Finca Experimental Lodana es un entorno ideal para explorar las aplicaciones y beneficios de las tecnologías avanzadas de agricultura de precisión. El proyecto integrará monitoreo en tiempo real, recopilación y análisis de datos de sensores para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental en el manejo de cultivos de café.

### Objetivo general

Evaluar el impacto de implementar un sistema de monitoreo y gestión agrícola basado en IoT y redes de sensores inalámbricos para recopilar y analizar datos en tiempo real sobre las condiciones climáticas, humedad del suelo y otros parámetros relevantes en los cultivos de café.

### Objetivos específicos

- **Implementar y evaluar prototipos tecnológicos** que integren sensores, dispositivos IoT y software especializado para optimizar el uso de recursos como agua, fertilizantes y energía en la Finca Experimental Lodana.
- **Analizar la influencia del sistema en la productividad y sostenibilidad** de los cultivos de café, considerando indicadores como la reducción de costos operativos, el incremento en la calidad del café y el impacto ambiental.
- **Capacitar a estudiantes, investigadores y agricultores locales** en el uso y mantenimiento del sistema de agricultura de precisión, promoviendo la transferencia de conocimientos tecnológicos hacia el sector productivo.

### **Alcance de la investigación**

El alcance del proyecto cubre varias dimensiones clave:

- **Percepciones de los agricultores:** Analice cómo los agricultores perciben la tecnología de IoT antes, durante y después de su implementación.
- **Monitoreo y eficiencia:** Evaluar mejoras en la productividad agrícola y el uso del agua a través de datos obtenidos de sensores y plataformas IoT.
- **Factores ambientales:** Considerar variables climáticas locales para adaptar el sistema a las necesidades específicas del cultivo.
- **Impacto a largo plazo:** Sentar las bases para replicar el modelo en otros cultivos o regiones agrícolas.

### **Beneficios**

- **Optimizar el uso del agua:** identificar y reducir el desperdicio y promover la gestión sostenible del agua.
- **Incrementar la productividad:** Mejorar la producción de café con prácticas basadas en datos en tiempo real.
- **Conocimiento agrícola avanzado:** Generar datos que respalden el conocimiento científico y la toma de decisiones informadas en agricultura de precisión.
- **Sostenibilidad ambiental:** Establecer un modelo de gestión agrícola que equilibre la producción y la protección de los recursos naturales.

### **Impacto esperado**

El proyecto no sólo apunta a modernizar las prácticas agrícolas en la Finca Experimental Lodana, sino que también sienta un precedente para el uso de tecnologías avanzadas en cultivos de café en Ecuador. La combinación de herramientas tecnológicas y estrategias sostenibles creará vínculos entre la innovación y las tradiciones agrícolas, beneficiando a los agricultores locales y los avances científicos en el manejo de cultivos.

### 4.3. DETERMINACIÓN DE RECURSOS

#### 4.3.1 RECURSOS HUMANOS

**Especialistas en Infraestructura LoRa:** Serán responsables de diseñar, implementar y mantener la red de comunicación basada en LoRaWAN, asegurando una conectividad estable y el funcionamiento eficiente del sistema en toda la finca.

**Técnicos en Instalación y Calibración de Sensores:** Realizarán la configuración, instalación y ajuste de los sensores conectados al sistema IoT, además de supervisar el monitoreo constante para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recopilados.

**Gestor de Datos:** Tendrá a su cargo la organización, almacenamiento y análisis de la información generada por los sensores y dispositivos conectados, permitiendo la interpretación de los resultados para la toma de decisiones informadas.

**Agricultores Colaboradores:** Participarán activamente en el proceso de instalación de los sensores en las áreas de cultivo seleccionadas, además de aportar su experiencia y conocimientos sobre las condiciones locales para enriquecer los resultados de la investigación.

#### 4.3.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

*Tabla 3: Recursos tecnológicos*

<b>Sensores LoRa para Medición de Humedad:</b>	Incorporación de sensores avanzados diseñados para registrar con alta precisión los niveles de humedad en el suelo, optimizando la gestión hídrica.
<b>Sistemas de Monitoreo a Distancia con Tecnología LoRa:</b>	Implementación de equipos que faciliten la supervisión remota de sectores específicos dentro de la finca, mejorando la eficiencia del control en tiempo real.
<b>Centro de Gestión de Datos:</b>	Creación de una unidad centralizada para recopilar, almacenar y procesar la información transmitida a través de la red LoRa.
<b>Infraestructura Informática:</b>	Provisión de equipos computacionales, incluyendo servidores y ordenadores, destinados al análisis detallado y la gestión integral de los datos recopilados.

Dispositivos tecnológicos fuente propia.

#### 4.3.3 RECURSOS ECONÓMICOS (PRESUPUESTO).

**Inversión en Tecnología de Redes LoRa:** Asignación de recursos para adquirir sensores especializados, equipos de monitoreo remoto y demás dispositivos necesarios para la implementación del sistema IoT en la gestión de cultivos de café.

**Costos de Instalación:** Financiamiento destinado al despliegue y configuración de la infraestructura LoRa en la Finca Experimental Lodana, garantizando su funcionamiento óptimo.

**Formación del Equipo Técnico:** Presupuesto para capacitar a los técnicos responsables de la instalación, operación y mantenimiento de los sensores y dispositivos tecnológicos utilizados en la red LoRa.

**Desplazamientos y Logística:** Recursos asignados para cubrir los costos de viajes al sitio de la finca y a otras ubicaciones necesarias para la ejecución del proyecto.

**Fondo para Contingencias:** Reserva económica para afrontar posibles imprevistos, ajustes técnicos o necesidades adicionales que puedan surgir durante la implementación y desarrollo del proyecto.

*Tabla 4: Presupuesto de las tecnologías LoRa.*

#### PRESUPUESTO APROXIMADO PARA TECNOLOGÍAS LORA:

	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
<b>Sensores LoRa de Humedad del Suelo</b>	5	\$40	\$200
<b>Dispositivos de Monitoreo Remoto LoRa</b>	1	\$200	\$200
<b>Estación Central de Recolección de Datos</b>	1	\$500	\$500
<b>Equipos Informáticos</b>	1	\$500	\$500
<b>Adquisición de Tecnología LoRa</b>	1	\$1400	\$1400
<b>TOTAL</b>			<b>\$2800</b>

*Tabla 5: Costos de implementación*

#### COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN:

<b>Instalación de Infraestructura LoRa en la Finca.</b>	\$500	
<b>Capacitación del Personal.</b>	\$300	
<b>Presupuesto para desplazamientos a la finca y otras ubicaciones relacionadas.</b>	\$200	
<b>Fondo destinado para cubrir posibles imprevistos o ajustes necesarios durante la implementación de la tecnología LoRa.</b>	\$500	
<b>TOTAL</b>		<b>\$1500</b>

### **Presupuesto Total Aproximado: \$4300**

Este presupuesto ofrece una estimación aproximada de los costos relacionados con la integración de la tecnología LoRa en la investigación sobre la optimización de la agricultura de precisión en la Finca Experimental Lodana. Los costos exactos estarán sujetos a los proveedores elegidos, la cantidad de equipos requeridos y otros aspectos específicos del proyecto.

## **4.4 ETAPAS DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA (SOFTWARE)**

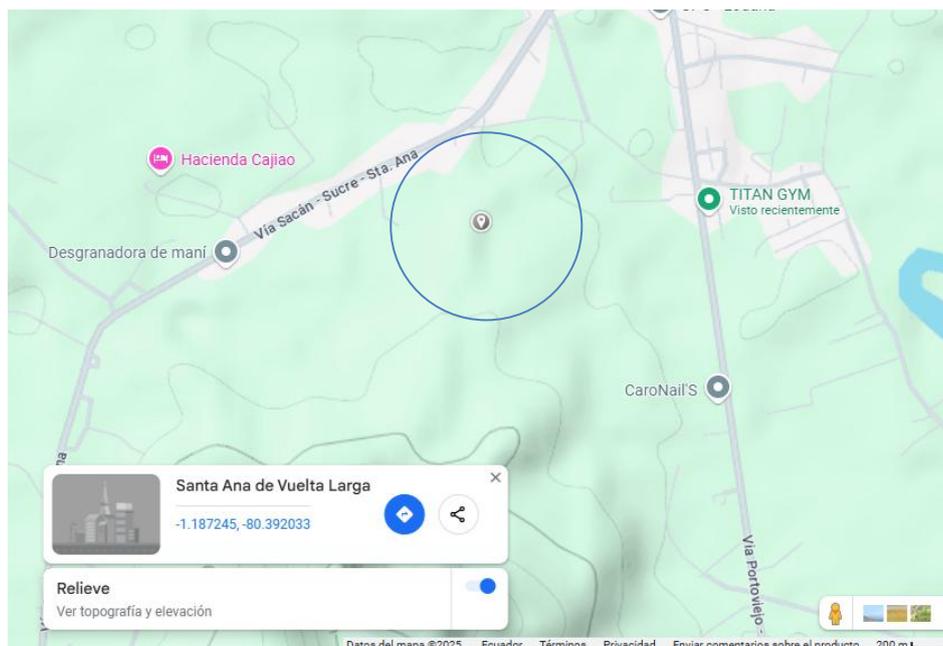
### **4.4.1 FASE 1- PLANIFICACIÓN:**

#### **4.4.1.1 Evaluación Inicial:**

- **Topografía irregular:** La variabilidad del terreno presenta desafíos para la planificación y construcción de infraestructuras. Es necesario implementar soluciones adaptadas, como la creación de terrazas o el uso de cimentaciones especializadas, que se ajusten a estas condiciones.
- **Características del suelo:** Aunque se reconoce la presencia de suelo en la finca, resulta crucial realizar un análisis detallado para conocer su composición, nivel de fertilidad y propiedades físicas. Esto permitirá desarrollar estrategias agrícolas más eficaces y asegurar el éxito en la producción de café.
- **Ausencia de suministro eléctrico:** La falta de acceso a la red eléctrica representa una limitación importante. Para superarla, se estudiará la viabilidad de opciones alternativas, como la instalación de sistemas de energía renovable (paneles solares o turbinas eólicas) o la conexión directa a la red eléctrica cercana.
- **Dificultades de acceso durante la temporada de lluvias:** El camino desde la carretera principal al terreno se torna complicado en épocas de lluvias, lo que afecta la logística y el transporte. Para solucionar este problema, se podrían realizar mejoras en el acceso, como reforzar la superficie del camino o construir infraestructuras que reduzcan el impacto de las lluvias.

- **Delimitación del terreno:** La finca está rodeada por un cerco perimetral de alambre con puertas de madera, que brinda una seguridad básica. Se recomienda inspeccionar su estado actual y realizar los ajustes necesarios para garantizar una protección adecuada del área.
- **Sistema de riego existente:** El sistema de riego por goteo de la finca, alimentado por gravedad desde una cisterna, se ajusta a las características topográficas del lugar. Sin embargo, es indispensable realizar un mantenimiento continuo para asegurar su funcionalidad, además de considerar mejoras o integrar estas estructuras con las tecnologías IoT propuestas.

Estas particularidades del terreno, aunque plantean ciertos retos, también ofrecen oportunidades para el desarrollo del proyecto. Abordarlas con una planificación estratégica y un enfoque técnico permitirá maximizar el aprovechamiento de las 13 hectáreas disponibles en la Finca Experimental Lodana.



*Figura 17: Topografía Finca Experimental Lodana*

Fuente: Google Maps

### **Sprint 1:**

**Objetivo del Sprint:** Establecer la infraestructura básica del sistema de monitoreo de agricultura de precisión, integrar de manera preliminar la tecnología LoRa con los sensores de humedad del suelo, desarrollar una interfaz inicial para visualizar los datos y configurar el entorno de monitoreo en la Finca Experimental Lodana.

**Duración del Sprint:** Dos semanas.

**Backlog Seleccionado para el Sprint:**

Tabla 6: Backlog seleccionada para sprint

ID	Elemento del Backlog	Prioridad	Puntos de Historia
1	Desarrollar la infraestructura básica del sistema de monitoreo de agricultura de precisión.	Alta	8
2	Integrar la tecnología LoRa con los sensores de humedad del suelo en la finca.	Alta	5
3	Crear la interfaz inicial para visualizar los datos de agricultura de precisión.	Media	10
4	Configurar el entorno de monitoreo y recolección de datos en la Finca Experimental Lodana.	Baja	3

Fuente propia

**Tareas Asignadas para el Sprint:**

Tabla 7: Tareas asignadas para Sprint.

Elemento del Backlog	Tareas	Asignado a
Desarrollar infraestructura del software de monitoreo	Configurar el repositorio del sistema y organizar la estructura de carpetas para el desarrollo.	Solórzano P. Alisson
Integrar la tecnología LoRa con los sensores y el sistema	Realizar la configuración inicial y probar la comunicación entre los sensores y la red LoRa.	Solórzano P. Alisson
Diseñar la interfaz inicial de la plataforma de monitoreo	Crear bocetos (mockups) y desarrollar las funcionalidades básicas de la interfaz web.	Solórzano P. Alisson
Configurar el entorno técnico del proyecto	Instalar y ajustar las herramientas de desarrollo necesarias para el sistema.	Solórzano P. Alisson

Fuente propia

**Reunión de Planificación del Sprint (Día 1):**

- Establecer los objetivos de los sprint basados en los avances necesarios para la implementación del sistema de agricultura de precisión inteligente.
- Seleccionar las tareas del backlog relacionadas con el desarrollo e integración del sistema LoRa.

- Asignar responsabilidades y estimar el tiempo necesario para completar cada tarea.
- Definir claramente las metas específicas del sprint.

#### **Reuniones Diarias (Días 2-9):**

- Breves actualizaciones diarias sobre el progreso de cada integrante del equipo.
- Identificación de posibles obstáculos que puedan afectar el avance.
- Coordinación de esfuerzos para resolver problemas técnicos o de planificación.

#### **Revisión del Sprint (Día 10):**

- Presentación de los avances realizados, como el desarrollo de la interfaz inicial y la integración básica de sensores.
- Evaluación del backlog completado y los puntos abordados.
- Recopilación de retroalimentación para refinar las funcionalidades desarrolladas.

#### **Retrospectiva del Sprint (Día 10):**

- Análisis de los aspectos positivos del sprint, identificando lo que funcionó de manera efectiva.
- Discusión de áreas de mejora para optimizar las tareas en los próximos sprints.
- Planteamiento de ajustes necesarios para el proceso de desarrollo.

#### **Resultados Esperados al Final del Sprint**

- Estructura inicial del software para monitoreo y gestión de cultivo de café creada.
- Configuración de la comunicación básica con dispositivos LoRa finalizada.
- Diseño y desarrollo de la interfaz de usuario básica completados.
- Configuración del entorno de trabajo para el equipo de desarrollo establecida.

Este primer sprint sienta las bases para el progreso del proyecto, asegurando que el sistema tenga una infraestructura sólida y funcional para continuar con el desarrollo iterativo.

### **Sprint 2**

**Objetivo del Sprint:** Desarrollar funcionalidades clave del sistema, realizar pruebas iniciales con los sensores y ajustar el software según la retroalimentación del primer sprint.

**Duración del Sprint:** Dos semanas.

#### **Backlog Seleccionado para el Sprint:**

- Implementación avanzada de monitoreo de humedad del suelo.
- Integración completa de la red LoRa con la plataforma de datos.
- Mejoras en la interfaz de usuario basada en la retroalimentación inicial.
- Ejecución de pruebas preliminares en campo con el sistema prototipo.

Tabla 8: Backlog seleccionado para cada sprint.

ID	Elemento del Backlog	Prioridad	Puntos de Historia
5	Desarrollar la lógica para procesar datos de sensores	Alta	8
6	Ejecutar pruebas iniciales de funcionalidad en el sistema	Alta	5
7	Ajustar la interfaz del sistema según observaciones	Media	8
8	Optimizar la integración entre los sensores LoRa y la plataforma central de datos	Media	6

Fuente propia.

### Tareas Asignadas para el Sprint:

Tabla 9: Tareas asignadas para el sprint

Elemento del Backlog	Tareas	Asignado a
Desarrollar la lógica para procesar los datos obtenidos.	Implementar la lógica central del sistema para procesar la información recolectada.	Solórzano P. Alisson
Ejecutar pruebas iniciales del sistema	Realizar pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema	Solórzano P. Alisson
Ajustar la interfaz de usuario según retroalimentación obtenida	Modificar la interfaz de usuario en base a las sugerencias recibidas durante el primer sprint, con el fin de mejorar la accesibilidad.	Solórzano P. Alisson
Optimizar la integración con los dispositivos LoRa	Realizar ajustes técnicos para mejorar la comunicación entre los dispositivos LoRa y la plataforma central de gestión de datos.	Solórzano P. Alisson

Fuente propia.

### Reuniones del Sprint:

#### Reunión de Planificación del Sprint (Día 1):

- Revisión y definición de los objetivos del sprint, con especial enfoque en la selección de las tareas a desarrollar.
- Asignación de responsabilidades entre el equipo, con estimación de los tiempos necesarios para completar cada tarea.
- Establecimiento de metas claras para el sprint, en función de los avances previos y las necesidades inmediatas.

### **Reuniones Diarias (Días 2-9):**

- Sesiones diarias donde cada miembro del equipo presenta actualizaciones sobre el progreso y los desafíos encontrados.
- Discusión de obstáculos y soluciones para garantizar que el proyecto continúe avanzando conforme a lo planeado.

### **Revisión del Sprint (Día 10):**

- Presentación de los elementos completados del backlog, mostrando las funcionalidades desarrolladas y ajustadas.
- Revisión de los puntos de historia cumplidos y análisis del trabajo realizado.
- Recolección de retroalimentación y evaluación de posibles ajustes para los siguientes sprints.

### **Retrospectiva del Sprint (Día 10):**

- Reflexión sobre el sprint, identificación de los aspectos que funcionaron bien y aquellos que necesitan mejoras.
- Discusión sobre los cambios que se pueden implementar para optimizar el proceso de desarrollo en los sprints venideros.

### **Resultados Esperados al Final del Sprint:**

- Lógica de procesamiento de datos implementada correctamente, optimizando la recopilación y análisis de información de los sensores LoRa.
- Pruebas iniciales de funcionalidad realizadas, con validación de los primeros resultados del sistema.
- Interfaz de usuario ajustada y mejorada de acuerdo con la retroalimentación obtenida de los usuarios iniciales.
- Mejora de la integración entre los sensores LoRa y el software de gestión, con una transmisión de datos más eficiente y sin fallos.

Este segundo sprint se centra en fortalecer los avances logrados en el primero, optimizando la lógica del software, realizando las primeras pruebas funcionales y ajustando la interfaz de usuario conforme a la retroalimentación. Además, se busca mejorar la integración con la tecnología LoRa, lo cual es fundamental para asegurar una comunicación más fluida entre los dispositivos y la plataforma central.

### Sprint 3:

**Objetivo del Sprint:** Optimizar el software, llevar a cabo pruebas exhaustivas y preparar el prototipo para su implementación en un entorno piloto.

**Duración del Sprint:** Dos semanas.

### Backlog Seleccionado para el Sprint:

Tabla 10: Backlog seleccionado para el sprint 3.

ID	Elemento del Backlog	Prioridad	Puntos de Historia
9	Mejorar la eficiencia y desempeño del sistema	Alta	8
10	Ejecutar pruebas exhaustivas de funcionalidad y fiabilidad	Alta	6
11	Elaborar documentación técnica sobre el sistema de agricultura de precisión	Media	5
12	Implementar el prototipo del sistema en la Finca Experimental Lodana	Media	7

Fuente propia.

### Tareas Asignadas para el Sprint:

Tabla 11: Tareas asignadas para el sprint 3.

Elemento del Backlog	Tareas	Asignado a
Mejorar la eficiencia del sistema de agricultura de precisión	Detectar y solucionar posibles limitaciones en el rendimiento del sistema de agricultura de precisión.	Solórzano P. Alisson
Realizar pruebas extensivas de rendimiento y estabilidad	Ejecutar pruebas de carga y estrés para evaluar la estabilidad y eficiencia del sistema en diferentes condiciones operativas.	Solórzano P. Alisson
Elaborar la documentación técnica	Desarrollar manuales y guías detalladas para los usuarios y desarrolladores.	Solórzano P. Alisson
Implementar el prototipo en la Finca Experimental Lodana	Configurar y poner en funcionamiento el sistema de agricultura de precisión en un entorno real de prueba.	Solórzano P. Alisson

Fuente propia.

### **Reuniones del Sprint:**

#### **Reunión de Planificación del Sprint (Día 1):**

- Revisión de los objetivos del sprint y selección de los elementos del backlog. Asignación de tareas y estimación de tiempos. Definición clara de la meta del sprint.

#### **Reuniones Diarias (Días 2-9):**

- Reuniones breves para actualizaciones diarias sobre el progreso y obstáculos encontrados. Cada miembro del equipo proporciona un informe rápido sobre el estado de sus tareas.

#### **Reunión de Revisión del Sprint (Día 10):**

- Presentación de los elementos del backlog completados durante el sprint. Revisión de los puntos de historia alcanzados y discusión de los resultados obtenidos. Retroalimentación del equipo para posibles ajustes en el proceso.

#### **Reunión Retrospectiva del Sprint (Día 10):**

- Reflexión sobre el sprint. Identificación de aspectos que funcionaron bien y áreas de mejora. Planeación de ajustes para el próximo sprint.

#### **Resultados Esperados al Final del Sprint:**

- Optimización del rendimiento del software.
- Realización de pruebas exhaustivas de rendimiento y estabilidad.
- Elaboración de la documentación técnica.
- Despliegue exitoso del prototipo en un entorno piloto.

Este tercer sprint se centra en asegurar que el sistema de agricultura de precisión funcione de manera eficiente y estable. A través de la optimización del rendimiento y la realización de pruebas exhaustivas, se busca preparar el prototipo para su implementación en un entorno real, mientras que la documentación técnica será una herramienta esencial tanto para usuarios como para desarrolladores.

#### **4.4.1.2 Definición de Alcance**

El objetivo principal es establecer los parámetros específicos y los límites del proyecto de desarrollo del software para la gestión integral de cultivos de café en la Finca Experimental Lodana. Este proyecto tiene como fin mejorar la gestión del riego mediante el uso de tecnología avanzada, ajustándose a los recursos disponibles y a las necesidades del entorno agrícola.

### Incluye:

- **Desarrollo del Módulo de Optimización:** Se implementarán algoritmos de optimización para garantizar una gestión eficiente del riego, integrando sensores de humedad del suelo que permitirán recopilar datos en tiempo real.
- **Interfaz de Usuario Intuitiva:** Diseño y desarrollo de una interfaz fácil de usar que permita a los agricultores configurar y monitorear el sistema de riego de manera efectiva.
- **Integración con Tecnología LoRa:** Se desarrollará la capacidad para que el sistema se comunique de forma efectiva con dispositivos LoRa, facilitando la recepción de datos de los sensores y el control de actuadores a través de la red LoRa.
- **Pruebas Exhaustivas:** Se llevarán a cabo pruebas unitarias, de integración y de sistema para asegurar la confiabilidad del software. Además, se realizarán pruebas de rendimiento para evaluar su eficiencia en diversas condiciones.
- **Optimización y Despliegue en Entorno Piloto:** Se identificarán y abordarán posibles mejoras en el rendimiento del software, preparando el prototipo para su despliegue y evaluación en un entorno piloto.

### Excluye:

- **Desarrollo de Hardware:** El diseño y fabricación de hardware específico no está incluido. Se asumirá que los sensores y actuadores necesarios ya están disponibles para su integración.
- **Capacitación Específica para Usuarios:** Este proyecto no incluye un plan de capacitación detallada para los agricultores. La interfaz será diseñada para ser lo más intuitiva posible, sin embargo, la capacitación formal no forma parte del alcance.
- **Implementación a Gran Escala:** El despliegue del sistema a gran escala no será parte de este proyecto, que se centrará en la fase piloto, con el fin de evaluar su efectividad y eficiencia en condiciones reales.

### Restricciones:

- **Presupuesto Limitado:** El proyecto debe ajustarse a un presupuesto predefinido. Las decisiones de diseño y desarrollo deberán tomar en cuenta las limitaciones económicas.
- **Marco de Tiempo:** El desarrollo y las pruebas deben completarse dentro de un período específico. El entorno piloto debe estar listo para su implementación dentro del tiempo acordado.

### 1. Entregables Esperados:

- a) **Software de Optimización de Riego:** El código fuente y el ejecutable del software desarrollado que permitirá la optimización del riego.
- b) **Informes de Pruebas:** Documentación detallada que incluye los resultados de las pruebas realizadas, tanto unitarias como de integración y rendimiento.
- c) **Documentación Técnica:** Guías y manuales técnicos que permitirán el uso y mantenimiento del sistema implementado en la finca.

#### 4.4.1.3 Planificación estratégica

La planificación estratégica es un pilar esencial para garantizar el éxito de cualquier proyecto, incluida la incorporación de tecnologías para optimizar el riego en la Finca Experimental Lodana. Este proceso requiere un análisis exhaustivo del contexto de la finca, la definición de objetivos claros y alcanzables, y la elaboración de estrategias efectivas que permitan lograrlos. A continuación, se describen las etapas principales para estructurar la planificación estratégica de este proyecto:

#### Paso 1: Análisis del Entorno

##### Análisis PESTEL

- **Político:**
  - **Oportunidades:** El respaldo gubernamental a iniciativas que promuevan el uso eficiente del agua y la sostenibilidad agrícola.
  - **Amenazas:** Cambios potenciales en políticas públicas que puedan modificar regulaciones o eliminar subvenciones relacionadas con la gestión del agua.
- **Económico:**
  - **Oportunidades:** Disponibilidad de fondos y subvenciones dirigidos a proyectos de agricultura sostenible.
  - **Amenazas:** Variabilidad en los costos de insumos agrícolas y fluctuaciones económicas que dificulten la planificación a largo plazo.
- **Social:**
  - **Oportunidades:** Mayor concienciación sobre prácticas agrícolas responsables y sostenibles.

- **Amenazas:** Resistencia al cambio en sectores tradicionales de la comunidad agrícola, lo que podría ralentizar la adopción de nuevas tecnologías.
- **Tecnológico:**
  - **Oportunidades:** Innovaciones en sensores y sistemas de monitoreo remoto que permiten soluciones más eficientes y precisas.
  - **Amenazas:** La velocidad de los avances tecnológicos podría volver obsoletas algunas de las herramientas adoptadas.
- **Ambiental:**
  - **Oportunidades:** Contribuir al ahorro de agua y a la sostenibilidad ambiental mediante la implementación de tecnologías modernas.
  - **Amenazas:** Fenómenos climáticos impredecibles que podrían comprometer la eficacia de las estrategias de riego.
- **Legal:**
  - **Oportunidades:** Cumplir con normativas ambientales y estándares de sostenibilidad que favorezcan la viabilidad del proyecto.
  - **Amenazas:** Regulaciones restrictivas que podrían limitar la aplicación de nuevas tecnologías en el sector agrícola.

#### **Análisis FODA**

- **Fortalezas:**
  - Experiencia consolidada en proyectos experimentales de agricultura.
  - Disponibilidad de recursos y terrenos adecuados para la implementación de nuevas tecnologías.
  - Enfoque en la innovación y la investigación para mejorar prácticas agrícolas.
- **Oportunidades:**
  - Acceso a financiamiento específico para proyectos sostenibles.
  - Posibilidad de colaborar con instituciones de investigación para enriquecer el alcance del proyecto.
  - Potencial para posicionar la finca como referente en agricultura avanzada.
- **Debilidades:**
  - Resistencia inicial al cambio por parte del personal, dificultando la integración de nuevas tecnologías.

- Restricciones financieras que pueden limitar la adquisición de equipos avanzados.
- Falta de experiencia previa en el uso de tecnologías de monitoreo remoto para optimizar el riego.
- **Amenazas:**
  - Condiciones climáticas variables que afecten la eficacia del sistema de riego.
  - Preferencia de algunos agricultores por métodos tradicionales frente a soluciones tecnológicas.
  - Incertidumbre en los ámbitos político y económico, que podría influir en la inversión y las regulaciones aplicables.

Este análisis proporciona una base integral para tomar decisiones informadas en cada etapa del proyecto. Identificar oportunidades y anticiparse a posibles obstáculos permitirá diseñar estrategias que garanticen la implementación exitosa de tecnologías de riego optimizado en la Finca Experimental Lodana.

## **Paso 2: Definición de Misión, Visión y Valores**

### **Misión:**

*Fomentar la innovación, la investigación y la aplicación de tecnologías avanzadas para el manejo integral de cultivos de café, utilizando un Sistema de Agricultura de Precisión basado en IoT y Redes de Sensores Inalámbricos. La Finca Experimental Lodana busca optimizar el uso de recursos, incrementar la productividad y promover la sostenibilidad ambiental, económica y social, posicionándose como un modelo de desarrollo agrícola para Manabí y todo el Ecuador.*

### **Visión:**

*Convertirse en un modelo destacado a nivel nacional e internacional en el uso de tecnologías innovadoras para una agricultura sostenible. La Finca Experimental Lodana aspira a consolidarse como un centro de referencia en investigación y aplicación de sistemas inteligentes enfocados en el manejo de cultivos de café. Su objetivo es ser un espacio de aprendizaje práctico e inspiración para agricultores, estudiantes e investigadores, promoviendo la adopción de tecnologías de precisión que permitan afrontar los retos del sector agrícola con eficiencia y sostenibilidad.*

**Innovación y Desarrollo:** Nos dedicamos a buscar e implementar soluciones tecnológicas que impulsen la eficiencia en la gestión del riego y promuevan prácticas agrícolas sostenibles, adaptadas a las necesidades de la Finca Experimental Lodana.

**Sostenibilidad Ambiental:** Priorizamos el cuidado del medio ambiente mediante la adopción de estrategias agrícolas que minimicen el impacto ambiental, preservando los recursos naturales para el bienestar de las generaciones futuras.

**Colaboración Estratégica:** Fomentamos el trabajo conjunto con instituciones académicas, productores y demás actores clave para compartir conocimientos, experiencias y ampliar el alcance de nuestras iniciativas en agricultura sostenible.

**Eficiencia Operativa:** Nos esforzamos por maximizar el aprovechamiento de recursos y la integración de nuevas tecnologías en todos los procesos, asegurando soluciones sostenibles y resultados efectivos.

**Vinculación con la Comunidad:** Mantenemos un compromiso activo con la comunidad agrícola, compartiendo saberes y promoviendo la adopción de prácticas responsables e innovadoras que beneficien a todos los involucrados.

### **Paso 3: Objetivos Estratégicos Clave**

#### **Objetivo Clave: Uso Eficiente del Agua**

- Disminuir el consumo de agua en un 20% en las parcelas piloto mediante la integración de sistemas inteligentes de monitoreo y control diseñados para las condiciones específicas de los cultivos de café en la finca.

#### **Objetivo Clave: Optimización de Riego**

- Incrementar la eficiencia del riego en un 15% mediante la implementación de sensores de humedad y tecnología automatizada para ajustar los sistemas de riego en tiempo real.

#### **Objetivo Clave: Tecnologías Avanzadas de Monitoreo**

- Instalar un sistema de monitoreo remoto en al menos el 60% de las áreas cultivadas con café, mejorando la capacidad de supervisión y toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

#### **Objetivo Clave: Capacitación y Desarrollo del Equipo**

- Proporcionar capacitación especializada a todo el personal para asegurar su competencia en el manejo, operación y mantenimiento de las tecnologías implementadas, maximizando su efectividad.

### **Objetivo Clave: Evaluación y Optimización Continua**

- Implementar un proceso de evaluación constante, identificando anualmente al menos tres áreas clave de mejora en la gestión de cultivos y los sistemas de agricultura de precisión.

### **Paso 4: Desarrollo de Estrategias**

- **Estrategia de Implementación Progresiva en Áreas Piloto**  
Comenzar con la implementación de las tecnologías de monitoreo de riego en áreas piloto específicas para evaluar su efectividad y realizar ajustes antes de una expansión más amplia en la finca.
- **Estrategia de Alianzas con Instituciones de Investigación**  
Formar alianzas con instituciones especializadas en investigación agrícola para obtener orientación técnica y acceso a las últimas innovaciones en tecnologías de riego.
- **Estrategia de Capacitación y Desarrollo del Personal**  
Desarrollar un programa integral de capacitación para el personal que cubra desde el uso de los sensores hasta el mantenimiento de los sistemas de monitoreo remoto, garantizando una formación adecuada y continua.
- **Estrategia de Evaluación y Ajuste Continuo**  
Implementar un sistema de evaluación periódica para monitorear el desempeño de los sistemas de riego, identificando áreas de mejora y ajustando las estrategias según sea necesario.
- **Estrategia de Comunicación Interna Eficiente**  
Crear un plan de comunicación interna que asegure que todo el personal esté bien informado y apoye la implementación de las tecnologías, favoreciendo su aceptación y efectividad.
- **Estrategia de Monitoreo Ambiental y Sostenibilidad**  
Incorporar sensores ambientales para evaluar el impacto de las nuevas tecnologías en el medio ambiente y asegurar que las prácticas agrícolas implementadas sean sostenibles a largo plazo.

Estas estrategias están orientadas a garantizar que la implementación de las tecnologías de optimización del riego sea exitosa, eficiente y sostenible, con un enfoque claro en la capacitación del personal y la evaluación del impacto ambiental.

### Paso 5: Plan de Acción

#### Objetivo Clave 1: Mejora en el Uso del Agua

*Tabla 12: Objetivo clave 1*

<b>Acción: Evaluación de Áreas Piloto</b>	<b>Responsable: Equipo de Implementación</b>
<b>Fecha de Inicio: Mes 1</b>	<b>Fecha de Finalización: Mes 2</b>
<b>Descripción:</b> Realizar un análisis preliminar de las áreas piloto para identificar posibles ajustes y validar la viabilidad de la implementación de tecnologías de riego en una escala más amplia.	

<b>Acción: Adquisición e Instalación de Sensores de Humedad del Suelo</b>	<b>Responsable: Equipo de Adquisiciones y Tecnología</b>
<b>Fecha de Inicio: Mes 2</b>	<b>Fecha de Finalización: Mes 3</b>
<b>Descripción:</b> Adquirir y desplegar los sensores de humedad y sistemas de monitoreo remoto en las áreas piloto seleccionadas para comenzar a recolectar datos y ajustar el sistema según las necesidades de riego específicas.	

Fuente propia.

#### Objetivo Clave 2: Optimización de los Procesos de Riego

*Tabla 13: Objetivo clave 2*

<b>Acción: Implementación de Ajustes Automáticos en Sistemas de Riego</b>	<b>Responsable: Equipo de Ingeniería Agrícola</b>
<b>Fecha de Inicio: Mes 3</b>	<b>Fecha de Finalización: Mes 4</b>
<b>Descripción:</b> Integrar un sistema automatizado que ajuste los niveles de riego en función de los datos proporcionados por los sensores, optimizando así el consumo de agua.	

<b>Acción: Monitoreo Continuo de la Eficiencia del Riego</b>	<b>Responsable: Equipo de Monitoreo y Evaluación</b>
--	--

<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 4	<b>Fecha de Finalización:</b> En Curso
<b>Descripción:</b> Establecer un protocolo de monitoreo continuo para evaluar la efectividad de los ajustes en el sistema de riego y realizar las modificaciones necesarias para mantener la eficiencia.	

Fuente propia.

### Objetivo Clave 3: Incorporación de Tecnologías de Monitoreo Avanzado

Tabla 14: Objetivo clave 3

<b>Acción:</b> Ampliación de la Implementación en la Finca	<b>Responsable:</b> Equipo de Implementación
<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 5	<b>Fecha de Finalización:</b> Mes 6
<b>Descripción:</b> Extender la implementación de tecnologías de monitoreo remoto a toda la finca, aplicando las lecciones aprendidas en las áreas piloto.	

<b>Acción:</b> Creación de Protocolos de Seguridad para la Información	<b>Responsable:</b> Equipo de Tecnología y Seguridad
<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 5	<b>Fecha de Finalización:</b> Mes 6
<b>Descripción:</b> Desarrollar protocolos de seguridad para resguardar la integridad y la privacidad de los datos obtenidos, asegurando que se mantenga la confidencialidad.	

Fuente propia.

### Objetivo Clave 4: Capacitación Integral del Personal

Tabla 15: Objetivo clave 4

<b>Acción:</b> Creación del Plan de Formación	<b>Responsable:</b> Departamento de Recursos Humanos y Capacitación
<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 2	<b>Fecha de Finalización:</b> Mes 3
<b>Descripción:</b> Crear un plan de formación eficiente que cubra tanto los aspectos técnicos como prácticos de las nuevas tecnologías implementadas.	

<b>Acción:</b> Implementación de Sesiones de Formación Continuas	<b>Responsable:</b> Equipo de Capacitación
--	--

<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 3	<b>Fecha de Finalización:</b> En Curso
<b>Descripción:</b> Iniciar sesiones de formación continua adaptadas a medida que se incorporan nuevas tecnologías y procedimientos operativos.	

Fuente propia.

## Objetivo Clave 5: Evaluación y Mejora Continua

Tabla 16: Objetivo clave 5

<b>Acción:</b> Formación de Comités de Revisión	<b>Responsable:</b> Equipo de Evaluación y Mejora Continua
<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 6	<b>Fecha de Finalización:</b> En Curso
<b>Descripción:</b> Crear grupos especializados para analizar el rendimiento de las tecnologías y sugerir mejoras permanentes.	

<b>Acción:</b> Implementación de Mejoras Propuestas	<b>Responsable:</b> Equipos Designados según las Mejoras
<b>Fecha de Inicio:</b> Mes 6	<b>Fecha de Finalización:</b> En Curso
<b>Descripción:</b> Poner en práctica las mejoras sugeridas a partir de evaluaciones continuas para perfeccionar la efectividad del sistema.	

Fuente propia.

## Paso 6: Implementación

### 1. Preparación del Entorno de Trabajo:

Tabla 17: Preparación del entorno de trabajo.

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo de Implementación	Mes 1	Mes 2	Adecuar las áreas designadas para garantizar que estén completamente preparadas y listas para el proceso de implementación.

Fuente propia.

### 2. Implementación y Configuración de Tecnologías

Tabla 18: Implementación y Configuración de Tecnologías

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo Técnico	Mes 2	Mes 3	Implementar y configurar las herramientas tecnológicas elegidas, garantizando su operatividad y compatibilidad con el sistema establecido.

Fuente propia.

### 3. Ejecución de Pruebas Iniciales:

Tabla 19: Ejecución de Pruebas Iniciales.

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo de Validación	Mes 3	Mes 4	Llevar a cabo pruebas preliminares para verificar que las tecnologías implementadas funcionan correctamente y cumplen con los criterios establecidos.

Fuente propia.

### 4. Unificación de Sistemas Implementados:

Tabla 20: Unificación de Sistemas Implementados.

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo de Integración	Mes 4	Mes 5	Consolidar los sistemas implementados para asegurar que trabajen de manera coordinada y mantengan una comunicación fluida entre los distintos componentes.

Fuente propia.

### 5. Formación Especializada del Personal:

Tabla 21: Formación Especializada del Personal.

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Departamento de Recursos Humanos	Mes 3	Mes 5	Diseñar y ejecutar programas de formación dirigidos a capacitar al personal en el manejo, mantenimiento y supervisión de las tecnologías recientemente implementadas.

Fuente propia.

## 6. Supervisión Continua del Desempeño:

Tabla 22: Supervisión continua del desempeño

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo de Monitoreo y Evaluación	Mes 5	En Curso	Implementar un sistema de supervisión permanente que permita analizar y medir el rendimiento de las tecnologías instaladas, identificando áreas de mejora y asegurando su efectividad operativa.

## 7. Análisis de Impacto Inicial

Tabla 23: Análisis de Impacto Inicial

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipo de Evaluación y Mejora Continua	Mes 6	Mes 7	Llevar a cabo un análisis preliminar sobre el efecto de las tecnologías implementadas, enfocándose en indicadores clave como la eficiencia del riego, el ahorro de recursos y otros parámetros pertinentes para validar su efectividad.

Fuente propia

## 8. Iteraciones de Mejora:

Tabla 24: Interacciones de mejora

Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización	Descripción
Equipos Específicos según Mejoras	Mes 7	En Curso	Con base en los resultados del análisis de impacto, aplicar modificaciones progresivas que refinan y potencien el sistema, asegurando una mejora constante en el desempeño y los resultados obtenidos.

Fuente propia

## Paso 7: Seguimiento y Evaluación del Proyecto

### Establecimiento de Indicadores de Desempeño:

- Responsable: Equipo de Evaluación
- Fecha de Inicio: Mes 1
- Fecha de Finalización: Mes 2

- Descripción: Identificar y establecer indicadores clave para medir la efectividad y el impacto del sistema de agricultura de precisión implementado en los cultivos de café de la Finca Experimental Lodana.

#### **Desarrollo de Herramientas de Monitoreo:**

- Responsable: Equipo Técnico
- Fecha de Inicio: Mes 2
- Fecha de Finalización: Mes 3
- Descripción: Diseñar e implementar herramientas tecnológicas que permitan la recopilación de datos en tiempo real sobre los indicadores clave definidos previamente.

#### **Recolección Continua de Datos:**

- Responsable: Equipo de Monitoreo y Evaluación
- Fecha de Inicio: Mes 3
- Fecha de Finalización: En Curso
- Descripción: Iniciar la captura constante de datos desde las redes de sensores IoT instaladas, asegurando la integridad y precisión de la información obtenida.

#### **Análisis de Información y Elaboración de Reportes:**

- Responsable: Equipo de Evaluación
- Fecha de Inicio: Mes 4
- Fecha de Finalización: Mes 5
- Descripción: Analizar los datos recolectados para generar reportes periódicos que permitan evaluar los avances y detectar posibles desviaciones.

#### **Verificación del Alcance de los Objetivos:**

- Responsable: Equipo de Evaluación
- Fecha de Inicio: Mes 6
- Fecha de Finalización: Mes 7
- Descripción: Examinar si los objetivos establecidos durante las fases iniciales del proyecto han sido alcanzados de acuerdo con los indicadores definidos.

#### **Detección de Oportunidades de Mejora:**

- Responsable: Equipo de Evaluación y Mejora Continua
- Fecha de Inicio: Mes 7
- Fecha de Finalización: En Curso

- Descripción: Identificar aspectos del sistema que puedan optimizarse para mejorar su eficiencia y efectividad en la gestión integral de los cultivos de café.

#### Generación del Informe Final:

- Responsable: Equipo de Evaluación
- Fecha de Inicio: Mes 8
- Fecha de Finalización: Mes 9
- Descripción: Redactar un informe consolidado que incluya los resultados obtenidos, aprendizajes adquiridos y recomendaciones prácticas para la replicación y escalabilidad del sistema implementado.

#### 4.4.2 FASE 2 - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

##### 4.4.2.1 Diseño de la arquitectura del software:

En el corazón de la estrategia de gestión de cultivos de café en la Finca Experimental Lodana, se despliega una avanzada arquitectura IoT, diseñada específicamente para mejorar la eficiencia en el uso de recursos hídricos y optimizar las prácticas agrícolas. Este sistema integral está compuesto por cuatro componentes esenciales: los sensores de humedad y otros parámetros ambientales, la red de comunicación LoRaWAN, la plataforma IoT para el procesamiento de datos y la aplicación web que facilita la visualización y el control remoto.



Figura 18: Arquitectura LoRa para aplicativo web

Fuente propia

Los sensores especializados, ubicados estratégicamente en la finca, desempeñan un papel esencial en el sistema al recopilar datos precisos sobre la humedad del suelo y las condiciones climáticas.

Estos datos, fundamentales para una toma de decisiones basada en información confiable, se transmiten de manera eficiente a través de la red de comunicación LoRaWAN. Este sistema, con su capacidad de largo alcance y bajo consumo energético, conecta los sensores con una plataforma IoT. Dicha plataforma procesa y analiza los datos utilizando algoritmos avanzados, proporcionando una visión integral de las condiciones del suelo y el clima.

La interfaz web, accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet, se convierte en una herramienta interactiva que permite a los agricultores y administradores monitorear en tiempo real, realizar ajustes remotos en los parámetros de riego y consultar análisis detallados. Esta plataforma intuitiva pone el control directamente en manos de quienes toman decisiones operativas y estratégicas en la finca.

La arquitectura diseñada para optimizar el riego combina de manera armónica diversos componentes tecnológicos, con Firebase como eje central. Cada elemento del sistema contribuye a transformar la gestión del riego, mejorando la eficiencia operativa y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.

### **Componentes del sistema:**

1. **Sensores especializados:** Equipados con tecnología LoRaWAN, estos dispositivos recopilan datos críticos sobre la humedad del suelo y las condiciones meteorológicas en tiempo real. Estos datos son enviados a Firebase para su almacenamiento y procesamiento.
2. **Red de comunicación LoRaWAN:** Este sistema conecta los sensores con la plataforma IoT de manera eficiente, garantizando la transmisión de datos incluso en áreas extensas de la finca. Su bajo consumo energético y su amplio alcance aseguran una comunicación constante y sin interrupciones.
3. **Plataforma IoT (Firebase):** Firebase actúa como el núcleo del sistema, procesando y analizando los datos recopilados. Los algoritmos avanzados integrados en esta plataforma convierten los datos en información útil para la toma de decisiones estratégicas en la gestión del riego.
4. **Aplicación web:** Este componente proporciona una interfaz de usuario accesible y funcional, que permite a los responsables de la finca visualizar datos, monitorear el sistema en tiempo real y realizar ajustes remotos en los parámetros de riego.

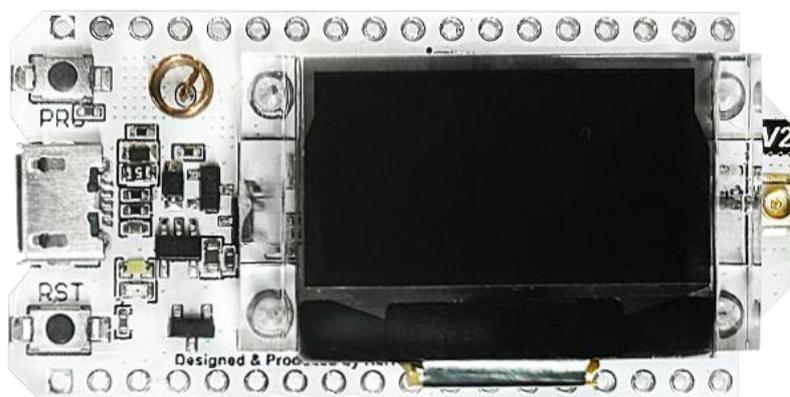
En conjunto, estos elementos redefinen la gestión del riego en la Finca Experimental Lodana, estableciendo un nuevo estándar de eficiencia y sostenibilidad en la agricultura. La integración de sensores, la red LoRaWAN, Firebase y la aplicación web demuestra cómo la tecnología puede transformar las prácticas agrícolas, maximizando los recursos y mejorando la productividad.

#### 4.4.2.2 Sensores

En la Finca Experimental Lodana, la integración de tecnologías avanzadas de sensores marca un hito en la gestión del riego, transformando la forma en que se toman decisiones para optimizar los recursos hídricos en los cultivos de café. Estos dispositivos, incluyendo la placa de desarrollo HELTEC WIFI LORA 32 V2 y los sensores YL-69 y HD-38, se han seleccionado cuidadosamente para ofrecer datos precisos sobre las condiciones del suelo y el entorno, lo que permite una gestión más eficiente del riego.

**HELTEC WIFI LORA 32 V2:** El módulo HELTEC WIFI LORA 32 V2 es un componente crucial en la infraestructura de comunicación y procesamiento del sistema. Su capacidad para conectar los sensores a una red de comunicación amplia y eficiente lo convierte en un pilar esencial para la gestión de datos en la finca. A continuación, se detallan sus funciones clave:

- **Conectividad LoRa y WiFi:** Este módulo es capaz de conectarse tanto a la red LoRaWAN como a una red WiFi local, lo que le proporciona una alta flexibilidad. La red LoRaWAN permite una transmisión de datos a larga distancia con bajo consumo energético, ideal para la cobertura de grandes áreas de cultivo, mientras que la conexión WiFi facilita el intercambio de información en tiempo real con la plataforma central, mejorando la rapidez de la toma de decisiones.
- **Interfaz con Sensores:** El HELTEC WIFI LORA 32 V2 Figura 18 actúa como puente entre los sensores de humedad del suelo YL-69 y HD-38 y la plataforma de procesamiento. La lectura de los datos obtenidos por estos sensores es gestionada por el módulo, que transmite esta información a la plataforma central para su análisis.



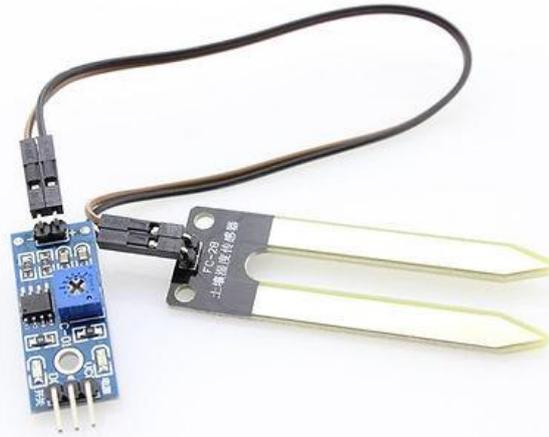
*Figura 19: Wifi LoRa 32 V2*

- **Gestión del Flujo de Datos:** El microcontrolador ESP32 integrado en el módulo HELTEC se encarga de gestionar el flujo de datos entre los sensores y la plataforma central. Su procesamiento eficiente asegura que los datos se transmitan de manera precisa y en tiempo real, garantizando la fiabilidad de la información para la toma de decisiones estratégicas.
- **Transmisión a Firebase:** Gracias a la conexión WiFi, el HELTEC transmite los datos recopilados desde los sensores hacia la plataforma Firebase. Esta integración permite que los datos se actualicen constantemente, brindando acceso en tiempo real a la información relevante sobre las condiciones del riego y facilitando la gestión remota del sistema.
- **SENSOR YL-69:** El sensor YL-69 Figura 19 de humedad del suelo es fundamental en el sistema de gestión del riego, proporcionando datos clave sobre las condiciones del suelo en la Finca Experimental Lodana. A continuación, se explica cómo se conecta e interactúa este componente dentro de la infraestructura:

**Conexión con la Placa HELTEC WIFI LORA 32 V2:** El sensor YL-69 se conecta directamente a la placa HELTEC WIFI LORA 32 V2, lo que permite que el sensor envíe los datos sobre la humedad del suelo, medidos a través de la resistencia eléctrica, a la unidad central para su procesamiento y posterior transmisión.

**Fuente de Alimentación:** El sensor YL-69 recibe energía eléctrica de la placa HELTEC, lo que asegura que el sensor esté en funcionamiento constante y no interrumpa su operación durante su implementación en el campo.

**Transmisión de Datos a Firebase:** Una vez que el sensor YL-69 registra los niveles de humedad, los datos son enviados a la placa HELTEC. A través de la conexión LoRa, la placa transmite esta información a la plataforma Firebase, garantizando que los datos sobre la humedad del suelo sean accesibles en tiempo real para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riego.



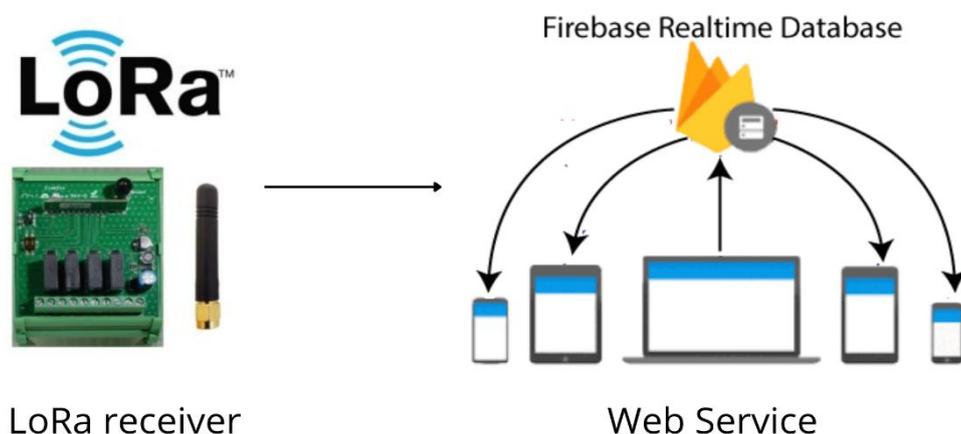
*Figura 20: Sensor YL-69*

- **SENSOR HD-38:** El sensor **HD-38** se encarga de medir las condiciones ambientales, específicamente la temperatura y la humedad. Este sensor también es esencial para optimizar la gestión agrícola. A continuación, se describe cómo se integra en la infraestructura:

**Conexión con la Placa HELTEC WIFI LORA 32 V2:** El sensor HD-38 se conecta a la placa HELTEC WIFI LORA 32 V2, permitiendo que los datos sobre la temperatura y la humedad del ambiente sean transmitidos desde el sensor hasta la unidad central para su procesamiento y envío a la plataforma de gestión.

**Fuente de Alimentación:** Al igual que el sensor YL-69, el HD-38 obtiene su energía directamente de la placa HELTEC. Esta alimentación constante asegura que el sensor funcione de manera continua sin interrupciones.

**Transmisión de Datos a Firebase:** Los datos sobre la temperatura y la humedad recolectados por el sensor HD-38 se envían a la placa HELTEC. A través de la red LoRa, los datos son transmitidos a la plataforma Firebase, proporcionando acceso en tiempo real a la información climática relevante para ajustar el riego y las estrategias de cultivo.



*Figura 21: Topología de dispositivo receptor*

Fuente propia

#### 4.4.2.3 Red de Comunicación

**Ubicación de la Placa HELTEC WIFI LORA 32 V2:** Para asegurar una cobertura óptima en los campos agrícolas, se debe colocar la placa HELTEC en un punto centralizado y elevado. Esto maximiza el alcance de la señal LoRa, mejorando la comunicación con los sensores distribuidos en diferentes áreas de la finca.

**Distribución de Sensores:** Los sensores YL-69 y HD-38 deben ser ubicados de manera estratégica en diversas zonas del campo, lo que permitirá una cobertura completa de las variables críticas, como la humedad del suelo y las condiciones climáticas. Esta disposición garantiza que se recopilen datos representativos de todo el terreno.

**Configuración de la Red LoRaWAN:** Es necesario establecer una red LoRaWAN que interconecte la placa HELTEC con los sensores. Esta red debe ser configurada para asegurar la eficiencia en la transmisión de datos y para ofrecer una conectividad robusta y confiable a lo largo de toda la finca.

**Conexión a la Red WiFi:** La placa HELTEC debe conectarse a la red WiFi local, lo que facilita la transmisión de datos desde los sensores hacia la plataforma Firebase. Es importante verificar que la conexión WiFi sea estable y segura para asegurar una comunicación fluida.

**Ruta de Transmisión de Datos:** Los sensores YL-69 y HD-38 envían sus datos a la placa HELTEC mediante conexiones cableadas. Luego, la placa utiliza la red LoRa para transmitir estos datos a la plataforma Firebase, a través de la red WiFi, permitiendo el acceso a la información en tiempo real.

**Gestión Remota:** La red debe estar configurada para permitir el control remoto de los dispositivos desde la plataforma Firebase. Esto incluye la capacidad de enviar comandos desde la plataforma a la placa HELTEC, y, a través de ella, a los sensores, para ajustes y monitoreo en tiempo real.

#### 4.4.2.4 Plataforma IoT

La plataforma de IoT estará alojada en un servidor web, proporcionando el medio para visualizar los datos recopilados por los sensores de monitoreo del terreno. Para gestionar y almacenar estos datos de manera eficiente, se ha optado por utilizar **Cloud Firestore** de Firebase. Este servicio ofrece una base de datos en tiempo real con capacidad de conexión bidireccional, lo que permite un flujo constante de datos entre los sensores y el sistema IoT.

#### Frontend - Desarrollo con JavaScript:

El desarrollo del frontend de la aplicación web se realizó utilizando **JavaScript**, aprovechando sus capacidades para construir una interfaz de usuario dinámica e interactiva. Se estableció la conexión con el backend a través de los servicios de Firebase, lo que permite realizar consultas a la base de datos de **Cloud Firestore** y asegurar la actualización continua de los datos. La interfaz gráfica fue diseñada para permitir que el usuario acceda y se relacione de manera intuitiva con los datos, presentándolos a través de gráficos y tablas interactivas.

#### Backend - Infraestructura de Firebase:

El backend de Firebase proporciona una infraestructura robusta que facilita la implementación rápida y sencilla de aplicaciones web y móviles. En este proyecto, se ha enfocado en tres componentes principales:

1. **Gestión de Datos:** Los servicios de gestión de datos, como **Cloud Firestore**, permiten almacenar y recuperar los datos de manera segura, escalable y eficiente, asegurando que se manejen grandes volúmenes de información.

2. **Autenticación: Firebase Authentication y Firebase AuthUI** se utilizan para proporcionar un sistema de autenticación seguro y eficiente para los usuarios, garantizando que solo las personas autorizadas accedan a los datos y funcionalidades del sistema.
3. **Alojamiento: Firebase Hosting** permite alojar la aplicación web de manera confiable en la nube, asegurando su disponibilidad y rendimiento constante, con soporte para actualizaciones automáticas y despliegues rápidos.

Este enfoque integrado con Firebase facilita el desarrollo, gestión y escalabilidad de la plataforma, asegurando un acceso eficiente y en tiempo real a los datos de monitoreo para la gestión de los cultivos de café.

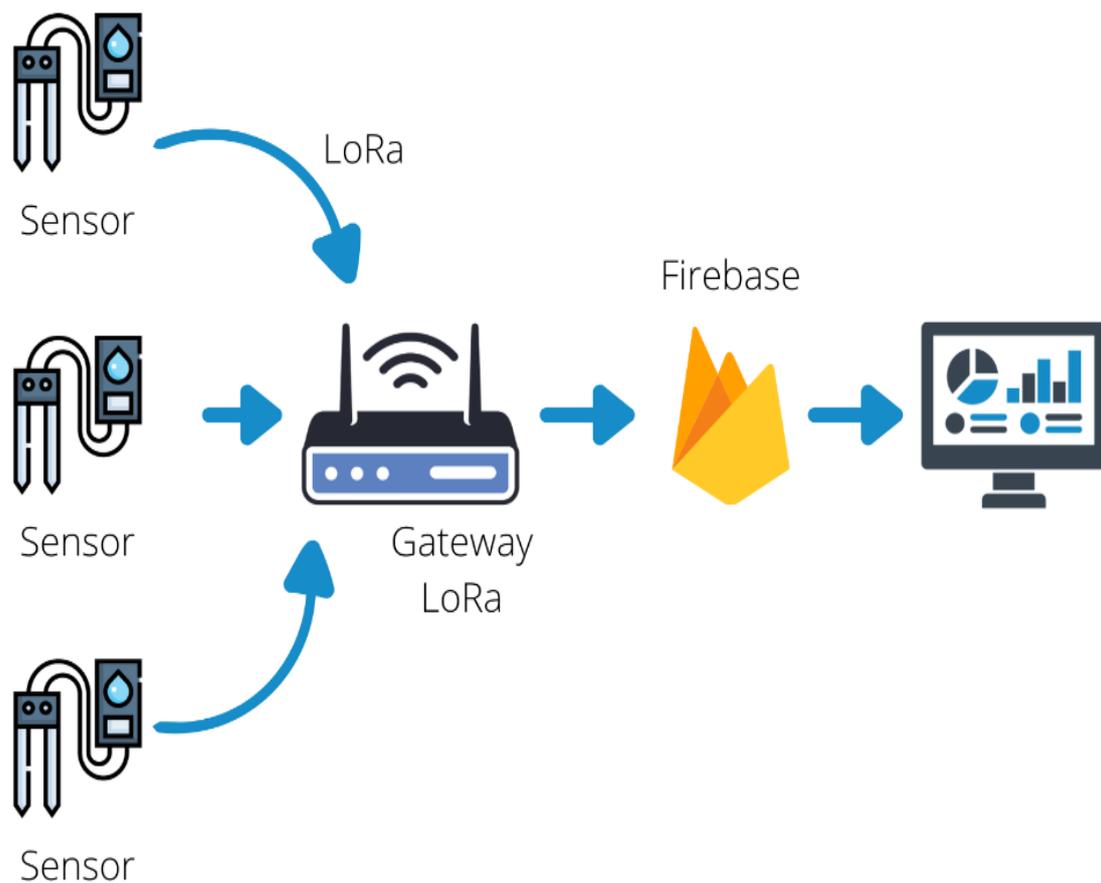


Figura 22: Arquitectura de sistema de sensores

Fuente: Propia

#### 4.4.2.5 Interfaz Web para la Gestión de Cultivos

Esta estará constituida por:

- Pantalla de inicio de sesión: Esta pantalla actúa como la puerta de entrada al sistema, asegurando que solo usuarios autenticados puedan acceder a la gestión de datos del cultivo. Es visualmente atractiva, con un diseño intuitivo que facilita el acceso al sistema.

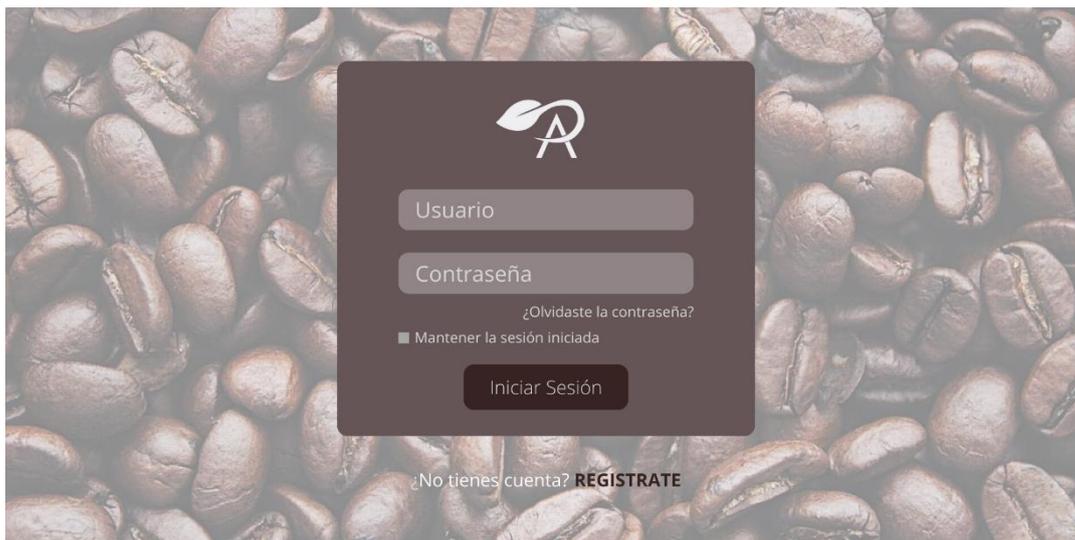


Figura 23: Pantalla de inicio de sesión

- Página principal: La interfaz está diseñada para proporcionar a los usuarios una visión rápida y clara de las condiciones del cultivo, integrando funcionalidad y estética con un enfoque en la gestión eficiente y sostenible.

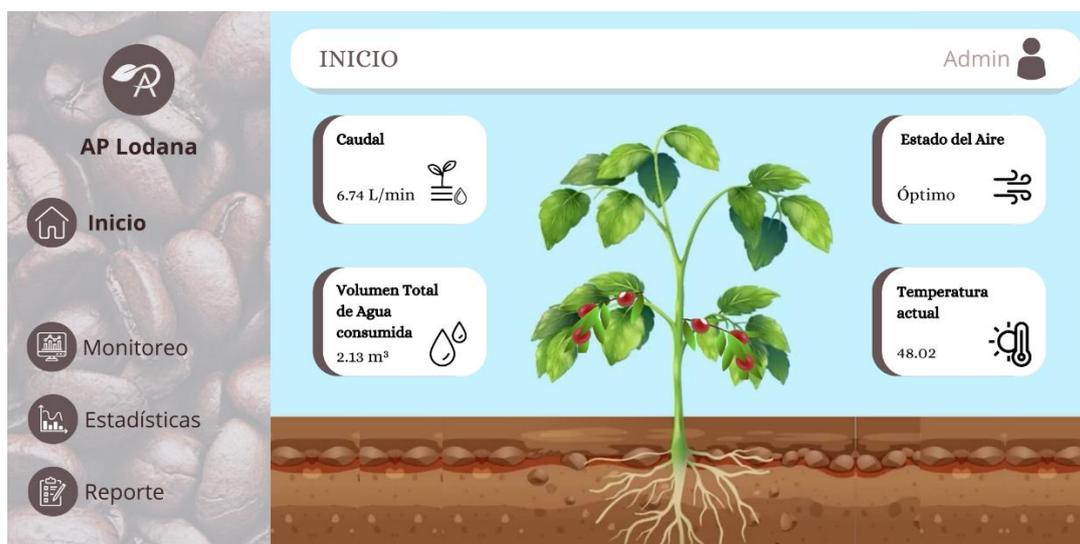


Figura 24: Página principal

- **Página de Monitoreo:** Esta página permite a los usuarios monitorear en tiempo real las condiciones ambientales del cultivo. La presentación en tabla facilita el análisis rápido de los datos y la identificación de patrones, ayudando a los agricultores a tomar decisiones informadas para optimizar el manejo del cultivo.



Figura 25: Página de Monitoreo

- **Página de Estadísticas:** En la pantalla de la interfaz del sistema de agricultura de precisión se muestran **estadísticas** clave para la gestión del cultivo de café en la finca "Lodana". Estas estadísticas incluyen tanto datos gráficos como tabulares, permitiendo una comprensión detallada de las condiciones actuales del cultivo.



Figura 26: Página de Estadísticas

#### **4.4.3 FASE 3 - IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN.**

La etapa de implementación y evaluación es fundamental en el proceso de convertir nuestra visión de la plataforma de monitoreo IoT para la gestión del terreno en una herramienta funcional y operativa.

Tras haber establecido los principios teóricos y planificado con detalle cada componente, llegamos al momento en que transformamos esa visión en una solución real y empezamos a evaluar su efectividad.

Durante la implementación, se lleva a cabo la conversión de las ideas teóricas en aplicaciones prácticas. La interfaz de usuario, pensada para ser flexible e interactiva, se desarrolla sin depender de marcos predefinidos.

La integración con el backend, que se apoya en la robusta infraestructura de Firebase, asegura una comunicación eficiente entre el frontend y la base de datos en Cloud Firestore, garantizando una transmisión fluida de datos desde los sensores IoT hasta la plataforma web.

Con la implementación en curso, avanzamos hacia la fase de evaluación, donde se analiza la efectividad y eficiencia de la solución. Se examinan aspectos como la exactitud en la recopilación y procesamiento de datos, la rapidez de respuesta de la interfaz y la fiabilidad del sistema en distintos entornos y condiciones operativas.

La evaluación no se limita solo a los aspectos técnicos, sino que también abarca la experiencia del usuario. Evaluaremos la facilidad de uso, la claridad en la presentación de los datos a través de gráficos y tablas, y la capacidad de interacción intuitiva para asegurar que la plataforma cumpla con las necesidades y expectativas de los usuarios.

En resumen, la fase de implementación y evaluación es el puente entre la teoría y la práctica, permitiendo ajustar y perfeccionar la plataforma IoT de monitoreo para los cultivos, y asegurando su optimización para una gestión eficiente del riego.

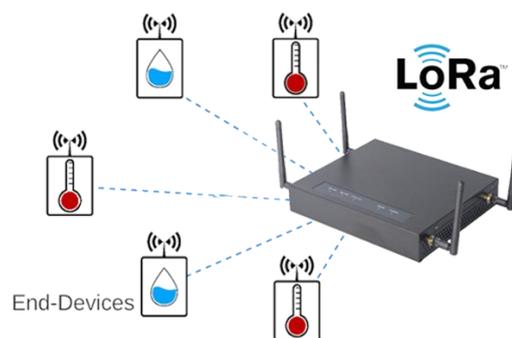
##### **4.4.3.1 Redes de Comunicación**

El desarrollo de la red de comunicaciones para nuestro proyecto se llevará a cabo de manera personalizada y adaptable, tomando en cuenta los requisitos específicos del monitoreo en el

campo. Este enfoque se basa en la flexibilidad y la capacidad de ajuste a medida que las necesidades del proyecto evolucionan.

La estructura lógica de la red se construye en función de los requisitos establecidos, considerando aspectos clave como la cobertura, los estándares de comunicación y la infraestructura requerida. Esta red se divide en dos componentes esenciales: el emisor, responsable de recolectar los datos de los sensores, y el receptor, que recibe estos datos a través de la tecnología LoRa y los transmite de manera eficiente al centro de datos.

Este enfoque flexible y adaptado nos permite diseñar una red de comunicaciones que cubra de manera precisa las necesidades de nuestro proyecto. Además, su capacidad de adaptación garantiza que podamos responder a futuros cambios en los requerimientos del monitoreo en el campo.



*Figura 27: Arquitectura para red emisor*

Fuente (Hyperthings - Building a Connected world with IOT, 2021)

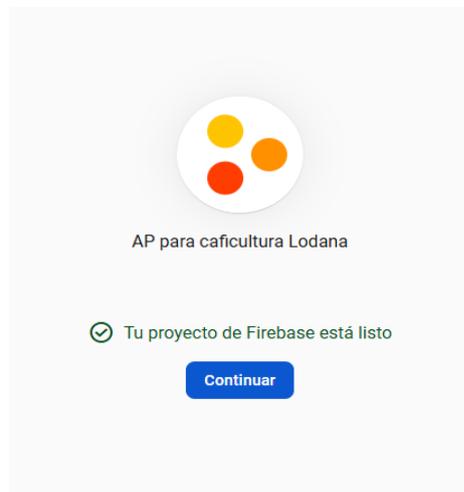
#### 4.4.3.2 Plataforma IoT

La puesta en marcha de la plataforma de IoT se realizará utilizando la completa gama de herramientas disponibles en Firebase. Esta decisión se basa en la solidez y flexibilidad que dicha plataforma ofrece para manejar elementos esenciales de la aplicación. No obstante, para garantizar una integración sin inconvenientes y maximizar su eficiencia, es imprescindible llevar a cabo una configuración minuciosa en diversos puntos clave. A continuación, se describen los pasos principales necesarios para configurar y activar cada servicio de manera eficiente:

##### **PASO 1: CREACIÓN DE PROYECTO.**

- a) Acceder a la Consola de Firebase
  - Ingresar al sitio web de Firebase y acceder a la Consola de Firebase.

- b) Crear un Nuevo Proyecto
  - Haz clic en el botón "Crear proyecto".
  - Escribe un nombre para tu proyecto, por ejemplo, "FincaExperimentalLodana".
  - (Opcional) Puedes cambiar el ID del proyecto si lo prefieres.
  - Selecciona el país o región en la que te encuentras.
  - (Opcional) Si deseas, puedes habilitar Google Analytics para el proyecto.
  - Haz clic en "Continuar".
- c) Configurar Google Analytics (Opcional)
  - Si decidiste activar Google Analytics previamente, sigue las instrucciones para configurarlo. Podrás elegir si deseas compartir datos anónimos de uso con Google.
- d) Habilitar o deshabilitar características adicionales
  - En esta etapa, podrás elegir si activar o desactivar otras funciones de Firebase, como Hosting, Firestore, Authentication, entre otras.
  - Selecciona las que necesites y haz clic en "Guardar" o "Continuar".
- e) Esperar la Creación del Proyecto
  - Firebase llevará a cabo la creación de tu proyecto, lo cual podría tomar unos minutos.
- f) Acceder al Proyecto
  - Cuando el proyecto esté listo, haz clic en "Continuar" y serás redirigido a la página de configuración del proyecto.



*Figura 28: Proyecto Firebase*

Fuente propia

## PASO 2. INTEGRAR FIREBASE CON TU APLICACIÓN

- Abrir el Proyecto en tu Editor de Código
- Agregar Firebase a tu Proyecto con JavaScript Puro:
  - a) Agrega el script de Firebase al HTML de tu aplicación:

```
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.0.2/firebase-app.js"></script>
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.0.2/firebase-auth.js"></script>
<!-- Otros módulos de Firebase según sea necesario (ej. firestore) -->
```

Figura 29: Agregar script de firebase al html

Fuente propia

- Configura Firebase utilizando las credenciales que copiaste anteriormente:

```
var firebaseConfig = {
  apiKey: "TU_API_KEY",
  authDomain: "TU_AUTH_DOMAIN",
  projectId: "TU_PROJECT_ID",
  // ...
};

firebase.initializeApp(firebaseConfig);
```

Figura 30: Configuración de Firebase utilizando las credenciales obtenidas.

Fuente propia.

- b) Importa y ajusta Firebase en tu proyecto.

```
import firebase from 'firebase/app';
import 'firebase/auth';
// Importa otros módulos según sea necesario (ej. firestore)

var firebaseConfig = {
  apiKey: "TU_API_KEY",
  authDomain: "TU_AUTH_DOMAIN",
  projectId: "TU_PROJECT_ID",
  // ...
};

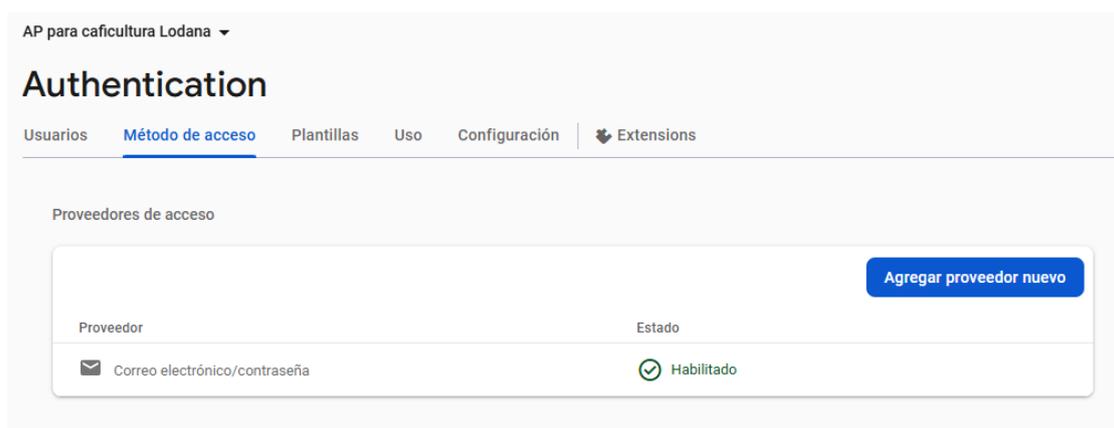
firebase.initializeApp(firebaseConfig);
```

Figura 31: Importación y ajuste de firebase al proyecto

Fuente propia.

### PASO 3. HABILITAR AUTENTICACIÓN.

- 1) Accede a la Consola de Firebase y elige tu proyecto.
- 2) Navega a la opción "Autenticación" ubicada en el menú lateral izquierdo.
- 3) Selecciona el método de autenticación que prefieras (por ejemplo, "Inicio de sesión mediante correo electrónico y contraseña").
- 4) Habilita el proveedor de autenticación elegido y ajusta cualquier configuración adicional requerida.
- 5) Guarda los cambios realizados.



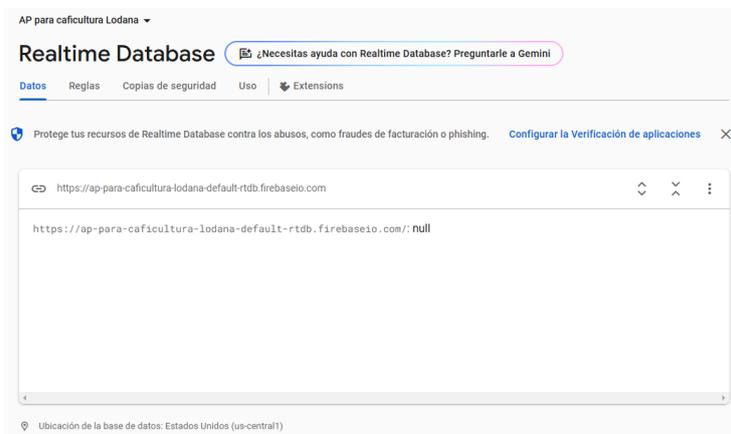
*Figura 32: Autenticación*

Fuente propia

### PASO 4: CONFIGURAR REALTIME DATABASE EN FIREBASE.

- 6) Ingresa a la Consola de Firebase y selecciona el proyecto correspondiente.
- 7) Dirígete a la opción "Base de datos" en el menú lateral izquierdo.
- 8) Haz clic en "Crear base de datos" y elige el modo inicial que prefieras: "Modo de bloqueo" para mayor seguridad o "Modo de prueba" si deseas realizar configuraciones básicas rápidamente.
- 9) Configura las reglas de seguridad de la base de datos según tus necesidades. Por ejemplo, puedes establecer permisos para que los

usuarios autenticados puedan leer y escribir únicamente en sus propios datos.



*Figura 33: Base de datos en tiempo real*

Fuente propia

## **PASO 5: CONFIGURACION DE LA APLICACIÓN WEB CON FIREBASE**

### **CONFIGURACIÓN INICIAL:**

- a) Verifica que hayas configurado correctamente tu proyecto en Firebase, siguiendo los pasos previos indicados.
- b) Asegúrate de que las credenciales de Firebase (como apiKey, authDomain, projectId, entre otras) estén disponibles. Estas credenciales se pueden encontrar en la sección "Configuración del proyecto" dentro de la Consola de Firebase.

### **INICIALIZAR FIREBASE EN TU APLICACIÓN:**

1. En el archivo de inicio de tu aplicación (por ejemplo, index.js o App.js), procede a inicializar Firebase utilizando las credenciales que te han sido proporcionadas.

```
// Importa la biblioteca de Firebase
import firebase from 'firebase/app';

// Importa los servicios específicos que vas a utilizar (por ejemplo,
import 'firebase/auth';
import 'firebase/database';

// Configura tu objeto de configuración de Firebase con las credencial
const firebaseConfig = {
  apiKey: "TU_API_KEY",
  authDomain: "TU_AUTH_DOMAIN",
  projectId: "TU_PROJECT_ID",
  // ... Agrega otros parámetros según sea necesario
};

// Inicializa Firebase con la configuración
firebase.initializeApp(firebaseConfig);
```

Figura 34: Inicialización con las credenciales de firebase.

Fuente propia.

#### 4.5 DISTRIBUCIÓN ESTRATÉGICA DE SENSORES PARA EL MONITOREO DEL AGUA EN LA FINCA EXPERIMENTAL LODANA

Con el fin de garantizar un monitoreo detallado de los niveles de humedad en el suelo a lo largo de toda la Finca Experimental Lodana, se ha diseñado un plan de distribución meticuloso para la red de sensores. Estos dispositivos están ubicados de manera estratégica en tres zonas, cada una correspondiente a áreas específicas dentro de la finca.

- **Zona 1: Sector Norte (4 Hectáreas)**

Esta área, situada en el norte de la finca, abarca una extensión de 4 hectáreas. Los sensores instalados en esta zona tienen la función de registrar con precisión los niveles de humedad en el suelo, proporcionando información relevante sobre las condiciones hídricas en este sector específico.

- **Zona 2: Sector Central (4 Hectáreas)**

La segunda zona, que se ubica en el centro de la finca, también cubre 4 hectáreas. En esta área, los sensores se encargan de medir continuamente los niveles de humedad en el suelo, contribuyendo así a la recopilación integral de datos de toda la finca.

- **Zona 3: Sector Sur (5 Hectáreas)**

El tercer perímetro abarca la zona sur de la finca, con una extensión de 5 hectáreas. Los sensores en esta región están dispuestos para medir los niveles de agua en el suelo, aportando datos valiosos que complementan el monitoreo general del estado hídrico en la finca.

Esta planificación cuidadosa asegura una representación detallada y equitativa de las condiciones hídricas en toda la finca, facilitando la toma de decisiones precisas sobre la gestión del agua y la mejora de las prácticas agrícolas. La ubicación estratégica de los sensores permite maximizar la efectividad del monitoreo, proporcionando datos específicos para cada una de las zonas identificadas.

### **Ubicación del Sensor 1 en la Finca Experimental Lodana (Zona Norte)**

El Sensor 1 ha sido ubicado en la zona norte de la Finca Experimental Lodana, cubriendo una extensión de 4 hectáreas. Esta ubicación ha sido seleccionada con el objetivo de medir de manera precisa los niveles de humedad del suelo. La disposición de este sensor en el sector norte facilita la recolección de datos detallados sobre las condiciones hídricas de esta área en particular. La decisión de colocar el Sensor 1 en la zona norte responde a factores específicos relacionados con las características del terreno y los patrones hídricos observados en esta región. Los datos recopilados por este sensor serán fundamentales para obtener una visión más clara del estado del suelo y ayudarán a tomar decisiones más acertadas sobre la gestión del agua y la implementación de estrategias agrícolas más eficientes.



*Figura 35: Instalación de sensores*

Fuente propia.

### **Ubicación del Sensor 2 en la Finca Experimental Lodana (Zona Central)**

El Sensor 2 ha sido cuidadosamente ubicado en la zona central de la Finca Experimental Lodana, cubriendo un área de 4 hectáreas. Esta elección estratégica tiene como objetivo realizar un monitoreo preciso de los niveles de humedad en el suelo en esta región específica. Gracias a su posición en la Zona Central, el sensor recopilará datos clave sobre las condiciones hídricas particulares de esta parte de la finca.



*Figura 36: Preparación de tierra en Finca Lodana*

Fuente propia

### **Ubicación del Sensor 3 en la Finca Experimental Lodana (Zona Sur)**

El Sensor 3 ha sido colocado de forma estratégica en la zona sur de la Finca Experimental Lodana, abarcando una extensión de 5 hectáreas. La selección de esta área tiene como principal objetivo realizar un monitoreo preciso de los niveles de agua en el suelo, con un enfoque especial en la Zona Sur. Su ubicación en esta región específica permitirá recopilar datos detallados sobre las condiciones hídricas de este sector en particular.



*Figura 37: Sensores de suelo*

Fuente propia.

# CAPÍTULO V

## **5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El análisis de los resultados es una etapa clave en cualquier proyecto tecnológico o de investigación, ya que ofrece una visión completa de su rendimiento y beneficios. En el caso de la implementación de un sistema de agricultura de precisión fundamentado en IoT y redes de sensores inalámbricos para la gestión integral de cultivos de café en la Finca Experimental Lodana, este análisis es particularmente relevante. Su propósito es validar la funcionalidad del sistema y evaluar su impacto en la productividad, sostenibilidad y calidad del café, un producto esencial para la economía y cultura agrícola de Manabí.

La incorporación de tecnología avanzada en el manejo de cultivos enfrenta diversos desafíos, como la adaptación a las condiciones locales, limitaciones presupuestarias y la aceptación por parte de los agricultores. Por ello, la evaluación incluye tanto aspectos técnicos relacionados con el desempeño del sistema como su viabilidad económica y su integración en las prácticas tradicionales.

En esta sección se detallan los procesos de recopilación, análisis e interpretación de datos generados por los sensores y dispositivos instalados, permitiendo un monitoreo integral. Se evalúa también cómo estos resultados apoyan objetivos clave, como el mejoramiento de la calidad del café, la eficiencia en el uso de recursos como agua y fertilizantes, y la reducción del impacto ambiental.

Finalmente, se sigue un enfoque de mejora continua que no solo optimiza el sistema para satisfacer necesidades futuras, sino que también crea un modelo replicable en otras fincas de Ecuador, fomentando el desarrollo agrícola sostenible.

### **5.2. PRESENTACIÓN Y MONITOREO DE RESULTADOS.**

Para evaluar los distintos escenarios posibles tras la implementación del sistema, se realizaron mediciones detalladas de variables fundamentales, como el contenido de humedad, nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, así como otros parámetros relevantes. Estas mediciones son esenciales para las redes de sensores instaladas y la plataforma IoT desarrollada para los cultivos de café.

Nitrógeno del Suelo: El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, ya que está directamente relacionado con procesos fisiológicos clave, como la fotosíntesis y la formación de proteínas. Los niveles de nitrógeno en los suelos agrícolas varían considerablemente según el tipo de suelo, condiciones climáticas y prácticas de manejo. Para el cultivo de café, un rango de nitrógeno entre 10 y 35 ppm es generalmente óptimo, aunque esto puede variar dependiendo de las características específicas del terreno.

*Tabla 25: Niveles de nitrógeno*

<b>Zona de Medición</b>	<b>Niveles de Nitrógeno</b>	<b>Descripción</b>
Zona 1	10 ppm	Bajo – Necesita fertilización
Zona 2	25 ppm	Moderado - Adecuado para el cultivo de café
Zona 3	35 ppm	Alto - Posible exceso de fertilización
Zona 4	15 ppm	Moderado – Equilibrio adecuado para el crecimiento

Fuente propia.

A través de los sensores especializados instalados en la Finca Experimental Lodana, se midieron de forma precisa los niveles de nitrógeno en el suelo en distintas zonas del cultivo. Estos sensores detectaron concentraciones de nitrógeno en partes por millón (ppm), un indicador estándar para medir la disponibilidad de este nutriente.

**Datos recopilados.**

El sistema de agricultura de precisión implementado en la Finca Experimental Lodana generó un conjunto de datos detallados que permitieron evaluar las condiciones de los cultivos de café en tiempo real. Los sensores instalados recopilaron información sobre variables clave, como la humedad del suelo y la temperatura ambiental, proporcionando una visión integral para optimizar la gestión del cultivo.

El monitoreo constante y preciso de estas variables es esencial para:

- **Identificar problemas tempranos:** Detectar condiciones que puedan limitar el desarrollo del cultivo, como falta de agua o estrés térmico.
- **Optimizar recursos:** Permitir una asignación eficiente de agua y fertilizantes, evitando desperdicios.

- **Tomar decisiones informadas:** Proveer información basada en datos para ajustar estrategias de manejo agrícola.

A continuación, se detalla la información recopilada en diferentes zonas del cultivo de café:

Tabla 26: Datos del proceso de monitoreo

Zona de Medición	Tipo de Medición	25 Nov	2 Dic	13 Dic
Zona 1	Humedad del Suelo (YL-69)	18%	22%	20%
	Temperatura Ambiental (HD-38)	25°C	24°C	26°C
Zona 2	Humedad del Suelo (YL-69)	15%	18%	16%
	Temperatura Ambiental (HD-38)	28°C	26°C	30°C
Zona 3	Humedad del Suelo (YL-69)	20%	24%	22%
	Temperatura Ambiental (HD-38)	22°C	21°C	23°C

Fuente propia.

### Interpretación de los Datos

#### Humedad del Suelo:

Zona 1: Presenta niveles de humedad consistentes, reflejando una distribución eficiente del agua. Los valores entre 18% y 22% son óptimos para las etapas iniciales del desarrollo del café.

Zona 2: Niveles más bajos de humedad (15% a 18%) sugieren la necesidad de ajustes en la frecuencia o cantidad de riego para evitar estrés hídrico.

Zona 3: Valores intermedios (20% a 24%) muestran una adaptación efectiva del sistema de monitoreo a las condiciones locales, asegurando la disponibilidad adecuada de agua.

#### Temperatura Ambiental:

Zona 1: Oscilaciones leves en temperatura (24°C a 26°C) indican condiciones estables para el cultivo.

Zona 2: Incrementos significativos (28°C a 30°C) podrían estar asociados a estrés térmico en la planta, requiriendo medidas para mitigar su impacto, como sombreado o manejo del riego.

Zona 3: Temperaturas moderadas (21°C a 23°C) favorecen el desarrollo equilibrado del café.

#### Representación Gráfica de Datos

Los datos recopilados se organizaron en gráficos dinámicos que permiten visualizar tendencias y comparaciones entre las zonas monitoreadas. Por ejemplo:

Gráficas de Humedad del Suelo: Muestran cómo las variaciones en el tiempo afectan el desarrollo del cultivo, ayudando a identificar patrones.

- Gráficas de Temperatura: Reflejan cómo las fluctuaciones térmicas pueden influir en la salud del café.

### **Utilización de los Datos**

El sistema IoT permitió usar los datos recopilados para realizar ajustes estratégicos en tiempo real:

- Monitoreo Personalizado por Zonas: Cada área recibió atención específica, maximizando la eficiencia en el manejo de recursos.
- Ajustes en Riego y Fertilización: Las decisiones se basaron en datos precisos para garantizar que cada zona recibiera lo necesario.
- Alertas Tempranas: El sistema generó notificaciones automáticas ante condiciones críticas, como niveles bajos de humedad o aumentos inusuales de temperatura.

### **Contribuciones a la Gestión Integral**

1. Optimización de Recursos: La recopilación de datos ayudó a minimizar el uso excesivo de agua y fertilizantes, reduciendo costos y el impacto ambiental.
2. Mejora de la Productividad: Los datos garantizaron condiciones óptimas para el cultivo, reflejándose en una mayor calidad y rendimiento del café.
3. Toma de Decisiones Estratégicas: La información histórica almacenada permite planificar y adaptar prácticas agrícolas a futuro.

### **Implicaciones Futuras**

La capacidad de recopilar y analizar datos con alta precisión establece un modelo sostenible que puede ser replicado en otras fincas cafetaleras del Ecuador. Este enfoque no solo mejora la rentabilidad del cultivo, sino que también promueve prácticas agrícolas responsables y sostenibles.

### **Pruebas del sistema**

El sistema de agricultura de precisión implementado en la Finca Experimental Lodana fue sometido a diversas pruebas para evaluar su funcionamiento, precisión y efectividad en la gestión integral del cultivo de café. Estas pruebas fueron esenciales para validar la integración de los componentes tecnológicos y su impacto en la productividad y sostenibilidad del cultivo.

#### **Componentes del Sistema**

El sistema se fundamentó en una arquitectura avanzada que incluye:

1. Sensores Especializados:
  - YL-69: Monitoreo continuo de la humedad del suelo.

- HD-38: Medición precisa de la temperatura ambiental.
- Otros sensores adicionales según las necesidades específicas del cultivo, como sensores de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio).
- 2. Conectividad LoRaWAN:
  - Redes inalámbricas de largo alcance que permiten la transmisión de datos desde los sensores instalados en el campo hasta el gateway central.
- 3. Plataforma IoT Centralizada:
  - Recepción, procesamiento y almacenamiento de datos organizados por zonas específicas del cultivo.
- 4. Aplicativo Web:
  - Interfaz accesible para los usuarios, que ofrece visualización de datos en tiempo real, generación de alertas y control remoto de parámetros clave.

#### **Fases de Pruebas**

1. Pruebas de Instalación de Sensores:
  - **Objetivo:** Verificar la correcta instalación y funcionamiento de los sensores en el campo.
  - **Metodología:** Los sensores se colocaron estratégicamente en distintas zonas del cultivo, asegurando que cubrieran áreas representativas. Se probó la sensibilidad y precisión de cada sensor en condiciones variables, como suelos húmedos y secos, y temperaturas fluctuantes.
2. Pruebas de Conectividad LoRaWAN:
  - **Objetivo:** Evaluar la transmisión de datos desde los sensores al gateway y de este a la plataforma IoT.
  - **Resultados:** El sistema mostró una conectividad estable en un rango de hasta 5 kilómetros en campo abierto. Se realizaron ajustes para mejorar la cobertura en áreas con obstáculos físicos, como colinas o árboles densos.
3. Pruebas de Integración en la Plataforma IoT:
  - **Objetivo:** Validar la correcta recepción, procesamiento y almacenamiento de datos en la plataforma.
  - **Metodología:** Se enviaron datos simulados desde los sensores para comprobar que se procesaran y almacenaran correctamente.

Se verificó la correlación entre los datos recibidos y las condiciones reales observadas en el campo.

#### 4. Pruebas del Aplicativo Web:

- Objetivo: Evaluar la facilidad de uso y funcionalidad de la interfaz para los usuarios.
- Resultados: La interfaz mostró gráficos dinámicos y personalizables que facilitaron la visualización de humedad, temperatura y otros parámetros. Los usuarios pudieron ajustar parámetros de fertilización y riego.

### **Resultados Observados**

#### 1. Eficiencia del Sistema:

- Los sensores registraron datos con un margen de error mínimo, asegurando precisión en la medición de variables críticas como humedad y temperatura.
- El sistema respondió adecuadamente a cambios ambientales, ajustando parámetros automáticamente para mantener condiciones óptimas.

#### 2. Conectividad y Estabilidad:

- La arquitectura LoRaWAN mostró gran estabilidad, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real sin interrupciones significativas.

#### 3. Usabilidad y Accesibilidad:

- El aplicativo web fue bien recibido por los usuarios, quienes destacaron su facilidad de uso y la claridad de la información presentada.

#### 4. Adaptabilidad:

- El sistema se ajustó automáticamente a las variaciones en las condiciones del cultivo, como cambios en las precipitaciones y temperaturas extremas.

### **Impacto de las Pruebas**

#### 1. Optimización de Recursos:

- Se demostró una reducción significativa en el uso de agua y fertilizantes, gracias a la precisión en la aplicación basada en datos.

#### 2. Ahorro Operativo:

- La capacidad de realizar ajustes remotos minimizó la necesidad de intervenciones manuales, reduciendo costos laborales.

#### 3. Reducción del Impacto Ambiental:

- La optimización en el uso de insumos disminuyó el riesgo de contaminación del suelo y fuentes hídricas.

Las pruebas realizadas validaron la efectividad del sistema de agricultura de precisión para mejorar la gestión integral del cultivo de café en la Finca Experimental Lodana. Este sistema no solo optimizó recursos y aumentó la productividad, sino que también estableció un precedente para la replicación de tecnologías sostenibles en otras fincas cafetaleras de Ecuador.

### 5.3. INTERPRETACIÓN OBJETIVA

#### INTERPRETACIÓN OBJETIVA

**Optimización de Recursos:** El sistema implementado permitió un uso eficiente de los recursos clave como agua y fertilizantes, evitando desperdicios y maximizando su efectividad. Esto fue posible gracias a la gestión basada en datos obtenidos en tiempo real, que permitió ajustar los insumos según las necesidades exactas del cultivo.

**Monitoreo Continuo:** La integración de sensores y tecnología IoT ofreció información en tiempo real sobre las condiciones del cultivo. Este monitoreo constante mejoró la capacidad de respuesta ante cambios en el ambiente y permitió tomar decisiones más rápidas y fundamentadas.

**Impacto Ambiental Reducido:** La precisión en el uso de insumos como fertilizantes y agua disminuyó el impacto ambiental asociado a su aplicación excesiva o incorrecta, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

**Calidad del Café Mejorada:** El control óptimo de las variables del entorno (como humedad, temperatura y riego) derivó en condiciones ideales para el crecimiento de los cafetos, resultando en granos de café de mayor calidad, mejorando el valor del producto final.

**Modelo Replicable:** La adaptabilidad del sistema y su éxito en la finca experimental indican que puede implementarse en otras regiones con condiciones similares, lo que lo convierte en un modelo escalable y replicable para otros agricultores interesados en la agricultura de precisión.

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

#### Conclusiones

La comparación de diferentes investigaciones tecnológicas permitió analizar la combinación de hardware y software en sistemas diseñados para la agricultura de precisión. Los resultados indicaron que los diseños más eficaces incluían sensores de alta precisión, conectividad IoT confiable y plataformas de análisis de datos intuitivas. Este sistema logró mejorar la eficiencia en el uso del agua mediante riegos controlados, aplicar fertilizantes de acuerdo con las necesidades específicas de los cultivos y optimizar el consumo energético a través de procesos automatizados. Estos logros no solo contribuyeron a una mayor sostenibilidad, sino que también mostraron que este enfoque puede adaptarse a otros contextos agrícolas.

La integración del sistema generó avances significativos en la productividad de los cultivos. Los datos obtenidos mostraron una disminución en los costos operativos gracias al uso racional de los recursos y la automatización de tareas clave, como el riego y la fertilización. El monitoreo en tiempo real permitió mantener condiciones óptimas para el cultivo, lo que resultó en una mejora en la calidad del café. En términos ambientales, la implementación del sistema redujo el impacto negativo al minimizar el desperdicio de recursos y disminuir las emisiones asociadas con prácticas agrícolas tradicionales. Este modelo combina eficiencia y sostenibilidad, evidenciando el potencial de las tecnologías avanzadas en el sector agrícola.

La implementación de una red de sensores inalámbricos destacó como una solución esencial para recopilar información en tiempo real sobre variables fundamentales como la humedad, la temperatura y el estado del suelo. Esta red mejoró significativamente el monitoreo continuo de los cultivos, permitiendo responder de manera más rápida a cambios ambientales y situaciones adversas. Los datos recopilados permitieron generar patrones de comportamiento del cultivo,

anticipar necesidades futuras y resolver posibles problemas antes de que impactaran negativamente en la producción. Además, la robustez y capacidad de expansión de la red aseguraron su funcionalidad en la Finca Experimental Lodana, sentando las bases para su aplicación en otras fincas con diferentes características climáticas y geográficas. Este enfoque tecnológico fortaleció la gestión eficiente y sostenible de los cultivos de café.

## RECOMENDACIONES

### Recomendaciones

Se recomienda continuar explorando e implementando soluciones tecnológicas basadas en sensores, dispositivos IoT y software especializado para optimizar el uso de recursos en el sector agrícola. Este enfoque no solo incrementa la productividad y sostenibilidad, sino que también mejora la calidad de los cultivos, posicionando a la Finca Experimental Lodana como un referente de innovación.

Es esencial desarrollar programas de formación para los agricultores y el personal técnico, enfocándose en el manejo de herramientas tecnológicas, interpretación de datos y mantenimiento de equipos. Esto garantizará la operatividad del sistema a largo plazo y facilitará su integración en otras fincas.

Para mejorar aún más el monitoreo en tiempo real, se recomienda ampliar la cobertura de la red de sensores y garantizar una conectividad IoT estable y eficiente. Esto permitirá recopilar datos más completos y precisos, favoreciendo la toma de decisiones informadas y oportunas en la gestión del cultivo.

Se sugiere realizar estudios periódicos para evaluar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas implementadas. Esto ayudará a identificar áreas de mejora y a diseñar estrategias para reducir aún más el desperdicio de recursos y las emisiones, contribuyendo a la sostenibilidad del sistema.

Con base en los resultados obtenidos en la Finca Experimental Lodana, se recomienda diseñar un modelo que facilite la replicación de esta tecnología en fincas de diferentes tamaños y condiciones climáticas. Este enfoque permitirá expandir los beneficios del sistema tecnológico a una mayor escala, impactando positivamente en el sector agrícola nacional e internacional.

La integración de tecnologías avanzadas requiere la participación de expertos en agricultura, tecnología y sostenibilidad. Por ello, es importante promover la colaboración entre universidades, empresas tecnológicas y organizaciones agrícolas para continuar mejorando e innovando en la gestión de cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Alarcón L., Á. H., Arias V., Díaz O., C. J., & Sotto V. (2018). Diseño de un sistema automatizado para el control de variables climáticas con el fin de mejorar la productividad de cultivos bajo cubierta. *Ingeniería Solidaria*, 14(24), 1-11. <https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2158>
- ANECAFE. (2015). ASOCIACION NACIONAL DE EXPORTADORES DE CAFE. Obtenido de <http://www.anecafe.org.ec>
- Bramley, R. (2009). Lecciones de investigación y adopción de la agricultura de precisión en los últimos 20 años. *Crop & Pasture Science*, 60(3), 197-217.
- Goursaud, C., & Gorce, J. (2015). Redes dedicadas para IoT: Estado del arte de PHY/MAC y retos futuros. *EAI Endorsed Transactions on the Internet of Things*, 15(1), e3. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01231221/file/eai.26-10-2015.150597.pdf>
- Silva, C., Moraes, M., & Molin, J. (2010). Uso y adopción de tecnologías de agricultura de precisión en la industria azucarera del estado de São Paulo, Brasil. *Precision Agriculture*, 12(1), 67-81.
- Calvo Salcedo, A. F., Bejarano Martínez, A., & Castillo González, A. (2018). Desarrollo de un prototipo de red de sensores inalámbricos. *Visión Electrónica*, 12(1), 43-50. <https://doi.org/10.14483/22484728.13405>
- Cama Pinto, A., Gil Montoya, F., Gómez López, J., García Cruz, A., & Manzano Agugliaro, F. (2013). Sistema de monitoreo inalámbrico para cultivos en invernadero. *Wireless Surveillance System for Greenhouse Crops*, 7.
- Canle Fernández, E. (2024, 12 junio). *Protocolos de comunicación en IoT*. Tokio School. <https://www.tokioschool.com/noticias/iot-protocolos-comunicacion/>

- Cedeño, J., Zambrano, M., & Medina, C. (2014). Innovaciones en sensores eficientes aplicados a la agroindustria.
- Crockett, E. (2023, 1 noviembre). 8 Top Internet of Things (IoT) Certifications. Datamation. <https://www.datamation.com/careers/iot-certifications/>
- E. Hernández, «Desarrollo de un Sistema de monitorización y control de un invernadero aplicando Tecnología IoT,» Universidad de Cantabria, Cantabria, España, 2019.
- Food and Agriculture Organization for the United Nations. (2013). *Anuario Estadístico de la FAO 2013: Alimentación y agricultura mundial*. Roma.
- Gajjar, S., Kothari, D., Upadhyay, M., & Dhingra, V. (2017). FARMNET: Sistema de apoyo agrícola mediante redes inalámbricas de sensores y actuadores. 2017 *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 291-296. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2017.8299765>
- Grisso, R., Alley, M., McClellan, P., Brann, D., & Donohue, S. (2009). Agricultura de precisión: Enfoque integral. *Virginia Cooperative Extension, Publicación 442-500*.
- Hyperthings - Building a Connected world with IOT. (2021, 20 diciembre). *LoRA Gateway - Hyperthings - Building a Connected world with IOT - LoRA Gateway*. Hyperthings - Building A Connected World With IOT -. <https://hyperthings.in/lora-gateway/>
- I. Connexions, «Generalitat Valenciana,» 05 01 2022. [En línea]. Available: <https://www.istecdigital.es/internet-of-things-iot/>.
- Ilchev, S. (2023). Aspectos de diseño e implementación de redes de sensores inalámbricos en educación inteligente. En Z. Kubincová et al. (Eds.), *Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning. Workshops - 13th International Conference (MIS4TEL 2023), Lecture Notes in Networks and Systems*, 769. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-42134-1\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42134-1_18)

- International Coffee Organization (ICO). (2021). *Coffee market report*. Recuperado de <https://www.ico.org>
- Jecrespom. (2018, 11 noviembre). *Modelos de capas IoT – Aprendiendo Arduino*. Aprendiendo Arduino. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/modelos-de-capas-iot/>
- Lalangui, M. CULTIVO DEL CAFÉ.
- Larrea, J. W. H., Bermúdez, M. J. V., Balarezo, L. C. B., & Holguin, J. M. Y. (2023). Monitoreo IOT utilizando una red de sensores inalámbricos para el cultivo de cacao. *Polo del Conocimiento*. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i11.8343>
- López López, E. L., & Yasnó Collo, D. Y. (2022). Agricultura de precisión para optimizar el riego inteligente en cultivos de café usando IoT. Universidad del Cauca.
- López, Á. H. A., Castro, J. A. Q., Perdomo, E. G., & Zambrano, A. M. M. (2022, diciembre). Meta-análisis sobre la aplicación de redes inalámbricas de sensores en agricultura de precisión. En *Actas del Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación* (pp. 245-258).
- López, A. H. A., Vargas, G. A., & Ortiz, C. J. D. (2017). Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA Design of a control and automation system for temperature, ground humidity and relative humidity to optimize crop yield under cover in CORHUILA. 7.
- Lucas, J. (2018). *Avances en híbridos de café: Sarchimor y otras variedades resistentes a la roya*. Centro de Investigación de la Roya del Café, Oeiras, Portugal.
- M. W. S. M. A. K. T. K. M.U. Farooq, «A Review on Internet of Things (IoT),» *International Journal of Computer Applications*, 2015.

- Moya Quimbita, M. A. (2018). Análisis del rendimiento de pasarelas LoRa/LoRaWAN en áreas urbanas.
- National Coffee Association USA (NCA). (2019). *Understanding coffee varieties: Arabica and Robusta*. Recuperado de <https://www.ncausa.org>
- Ohms, & Ohms. (2024, 30 julio). *¿Qué es LoRa y LoRaWAN? - 330ohms*. 330ohms. <https://www.330ohms.com/blogs/blog/que-es-lora-y-lorawan>
- Ordóñez Monfort, I. (2017). Estudio sobre la arquitectura y desarrollo de dispositivos LoRaWAN.
- Orozco, Ó. A., & Ramírez, G. L. (2016). Revisión de sistemas de información basados en agricultura de precisión aplicados a la caña de azúcar. “*Revista Ingenierías Universidad de Medellín*”, 15(28), <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Ortega, R., & Flores, L. (2013). Introducción al manejo sitio-específico en agricultura de precisión. Chillán, Chile.
- Plumb, R. (2000). Tecnologías geoespaciales e informáticas en la gestión de cultivos del siglo XXI. *Pest Management Science*, 56(8), 723.
- Quilca, Q. F. (2023). Sistema para monitoreo de nutrientes en cultivos de manzana mediante sensores inalámbricos LPWAN. Universidad Técnica del Norte.
- R. Chamarajnar and A. Ashok, "Integrity Threat Identification for Distributed IoT in Precision Agriculture," doi: 10.1109/SAHCN.2019.8824841.
- Smedo, E. & Vieira, J.. (2017). *Coffea species: Arabica and Robusta comparison*. *Journal of Coffee Research*, 34(2), 120-136.
- Semtech. (2023). *What is LoRa technology?* Recuperado de <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- Smith, T.. (2016). *Global coffee trade dynamics*. Cambridge University Press.

- Specialty Coffee Association (SCA). (2020). *Arabica vs. Robusta: Key differences*. Recuperado de <https://sca.coffee>
- S. S. Jordi Salazar, «Internet de las cosas,» České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, (2017).
- Torres Galindo, A. K., Gómez Rivera, A. F., & Jiménez López, A. F. (2015). Desarrollo de un sistema multispectral para agricultura de precisión usando dispositivos embebidos. *Sistemas y Telemática*, 13(33), 27-44.  
<https://doi.org/10.18046/syt.v13i33.2079>
- Urbano Molano, F. A. (2013). Redes de sensores inalámbricos aplicadas a la optimización de cultivos de café en Colombia.
- Vásquez, J., Sánchez, P., & Gómez, R. (2020). *Desafíos en la producción cafetera en Ecuador: Análisis de la situación actual y perspectivas futuras*. Revista de Agricultura Tropical, 45(2), 34-45.
- Zamora, F. (2019). *Evaluación agronómica de híbridos de café en Ecuador: Adaptabilidad y resistencia*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

# ANEXOS

**Antes de la implementación de tecnologías de optimización de riego, ¿Cuáles consideraba usted como los principales desafíos en la gestión del riego en sus cultivos?** \*

- a) Falta de conocimiento sobre la cantidad adecuada de agua a aplicar.
- b) Dificultad para monitorear los niveles de humedad del suelo de manera precisa.
- c) Consumo excesivo de agua sin una distribución eficiente.
- d) Altos costos asociados al riego manual o ineficiente.

**¿Considera que el uso de tecnologías de precisión puede mejorar la gestión integral de los cultivos de café?** \*

- a) Totalmente de acuerdo
- b) De acuerdo
- c) Neutral
- d) En desacuerdo
- e) Totalmente en desacuerdo



**¿Qué tan útil cree que sería el monitoreo continuo del clima, humedad del suelo \* y otros parámetros a través de sensores inalámbricos?**

- a) Muy útil
- b) Algo útil
- c) Poco útil
- d) Inútil

**Desde su experiencia, ¿Cómo influye el riego en la productividad de sus cultivos \* de café?**

- a) Es clave para obtener buenos rendimientos.
- b) Es importante, pero no siempre tengo un control adecuado.
- c) Tiene poca influencia si el clima es favorable.
- d) No estoy seguro de su impacto.

**¿Qué beneficios espera obtener de un sistema de riego basado en tecnologías de precisión? \***

- a) Ahorrar agua y recursos.
- b) Aumentar la productividad del cultivo.
- c) Reducir costos de operación.
- d) Tener más control sobre el manejo del cultivo.

**¿Cuáles cree usted que son los principales obstáculos para implementar estas tecnologías en sus cultivos? \***

- a) Altos costos de implementación.
- b) Falta de conocimiento o capacitación.
- c) Dificultad para mantener y reparar los equipos.
- d) Infraestructura limitada en la finca.

## GLOSARIO

**Agricultura de Precisión:** Estrategia de manejo agrícola basada en el uso de tecnología para maximizar la eficiencia de los recursos y mejorar la productividad.

**IoT (Internet of Things):** Red de dispositivos interconectados que recopilan, procesan y comparten datos en tiempo real para optimizar procesos.

**LoRaWAN (Long Range Wide Area Network):** Protocolo de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo de energía, ideal para redes de sensores en áreas agrícolas.

**Redes de Sensores Inalámbricos (WSN):** Sistemas formados por sensores interconectados que recopilan y transmiten datos ambientales de manera inalámbrica.

**Sensores de Humedad del Suelo:** Dispositivos que miden la cantidad de agua en el suelo, esenciales para el riego de precisión.

**Firebase:** Plataforma de desarrollo de aplicaciones en la nube que facilita el almacenamiento, análisis y gestión de datos en tiempo real.

**Node-RED:** Herramienta de programación visual utilizada para integrar flujos de datos entre dispositivos IoT y plataformas en la nube.

**Gateway LoRaWAN:** Dispositivo que conecta redes de sensores LoRa con servidores en la nube para el procesamiento y análisis de datos.

**MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Protocolo de comunicación liviano para la transmisión de datos entre dispositivos IoT.

**Big Data Agrícola:** Análisis avanzado de grandes volúmenes de datos recolectados en sistemas agrícolas para la toma de decisiones informadas.

**Cambio Climático:** Variaciones significativas y persistentes en el clima que impactan las condiciones de cultivo.

**Automatización Agrícola:** Uso de sistemas electrónicos y mecánicos para realizar tareas agrícolas de forma eficiente y autónoma.

**Calidad del Café:** Parámetro evaluado mediante estándares técnicos que incluyen características físicas, químicas y organolépticas.

**Plagas Agrícolas:** Organismos que afectan negativamente la salud de los cultivos y su rendimiento.

**Sistema de Riego Automatizado:** Tecnología que controla la distribución de agua de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo.

**Eficiencia Energética:** Uso óptimo de la energía en sistemas agrícolas, minimizando pérdidas y maximizando resultados.

**Dashboard de Datos:** Interfaz gráfica que presenta información recopilada por sensores y dispositivos IoT en tiempo real.

**API (Application Programming Interface):** Conjunto de protocolos que permite la interacción entre diferentes aplicaciones y servicios, como Firebase e IoT.

**Edge Computing:** Procesamiento de datos cercano a la fuente, reduciendo la latencia y la dependencia de la nube en sistemas agrícolas.

**Sostenibilidad Agrícola:** Implementación de prácticas y tecnologías que minimizan el impacto ambiental y promueven la conservación de recursos.