

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO CON
INTERNET DE LAS COSAS PARA LAS PLÁNTULAS DE
CAFÉ EN EL CASERIO MISA CANTORA, SAN JOSÉ DE
LOURDES, SAN IGNACIO, CAJAMARCA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores : Bach. Bairon Elean Jimenez Lopez

Bach. Deywin Jhony Tineo Medina

Asesor : Mg. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado

Línea de investigación: Automatización y Control

JAÉN – PERÚ

2025

Jimenez Lopez Bairon Elean Tineo Medina Deywin ...

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO CON INTERNET DE LAS COSAS PARA LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ EN EL CASERIO ...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3297534892

Fecha de entrega

17 jul 2025, 12:20 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 jul 2025, 12:26 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS-RIEGO_POR_NEBULIZACION_LISTO_OK.pdf

Tamaño de archivo

3.7 MB

73 Páginas

13.691 Palabras

81.287 Caracteres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sánchez Tello

Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

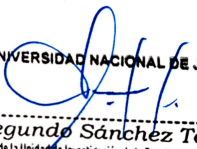
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 24 de julio del 2025, siendo las 17:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Secretario : Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrín Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO CON INTERNET DE LAS COSAS PARA LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ EN EL CASERÍO MISA CANTORA, SAN JOSÉ DE LOURDES, SAN IGNACIO, CAJAMARCA"**.

Presentado por los bachilleres: **Bairon Elean Jimenez Lopez y Deywin Jhony Tineo Medina**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

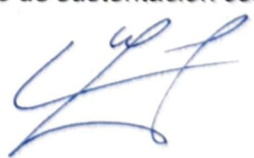
(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

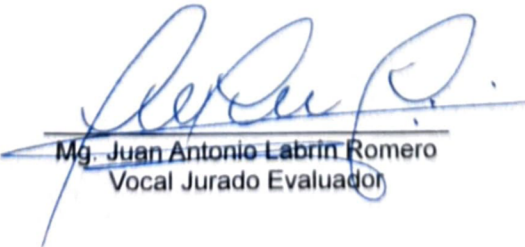
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Presidente Jurado Evaluador


Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrín Romero
Vocal Jurado Evaluador

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **BAIRON ELEAN JIMENEZ LOPEZ**, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 76155277.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO CON INTERNET DE LAS COSAS PARA LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ EN EL CASERIO MISA CANTORA, SAN JOSÉ DE LOURDES, SAN IGNACIO, CAJAMARCA”.

Asesorado por el Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 06, agosto del 2025.



Bairon Elean Jimenez Lopez



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **DEYWIN JHONY TINEO MEDINA**, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 72660453.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO CON INTERNET DE LAS COSAS PARA LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ EN EL CASERIO MISA CANTORA, SAN JOSÉ DE LOURDES, SAN IGNACIO, CAJAMARCA”.

Asesorado por el Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 06, agosto del 2025.



Deywin Jhony Tineo Medina



INDICE

INDICE RESUMEN ABSTARCT	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
III. RESULTADOS	23
IV. DISCUSIÓN	55
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
AGRADECIMIENTO.....	61
DEDICATORIA.....	62
ANEXOS.....	63

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE HUMEDAD	25
TABLA 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE FLUJO.....	26
TABLA 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONVERSOR DE NIVEL LÓGICO	27
TABLA 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DHT22	28
TABLA 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRIVER MOSFET	29
TABLA 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA VÁLVULA SOLENOIDE	30
TABLA 7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL NEBULIZADOR.....	31
TABLA 8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	31
TABLA 9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONVERTIDOR DE VOLTAJE	32
TABLA 10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN 220V	33
TABLA 11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RESISTENCIA	34
TABLA 12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INTERRUPTOR.....	35
TABLA 13. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLACA ESP32	35
TABLA 14. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE USB	37
TABLA 15. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONECTOR RÁPIDO	37
TABLA 16. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE GTP-18.....	38
TABLA 17. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONDUCTOR DE 14 AWG	39
TABLA 18. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MANGUERA DE 16 MM.....	40
TABLA 19. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLÁSTICO SOLAR.....	40
TABLA 20. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA UNIÓN MIXTA.....	41
TABLA 21. EVALUACIÓN TÉCNICA	51
TABLA 22. BENEFICIOS	52
TABLA 23. GASTOS.....	53
TABLA 24. FLUJO DE CAJA.....	53
TABLA 25. FLUJO DE CAJA.....	53
TABLA 26. VALOR ACTUAL NETO	54
TABLA 27. TASA INTERNA DE RETORNO	54
TABLA 28. BENEFICIO/COSTO	54
TABLA 29. PERIODO DE RECUPERO	55
TABLA 30. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	55

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO	12
FIGURA 2. UBICACIÓN DEL CASERÍO MISA CANTORA Y PARCELA EL NARANJO	13
FIGURA 3. PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA ARDUINO	19
FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	21
FIGURA 5. DISEÑO DEL INVERNADERO	24
FIGURA 6. SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO CAPACITIVO V1.2.....	24
FIGURA 7. SENSOR DE FLUJO DE AGUA 1/2" YF-S201	25
FIGURA 8. CONVERTOR DE NIVEL LÓGICO	26
FIGURA 9. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	27
FIGURA 10. DRIVER MOSFET	28
FIGURA 11. VÁLVULA SOLENOIDE.....	29
FIGURA 12. NEBULIZADOR FOGGER.....	30
FIGURA 13. FUENTE DE ALIMENTACIÓN	31
FIGURA 14. CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005.....	32
FIGURA 15. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 220 V	33
FIGURA 16. RESISTENCIA 1/4W 4.7k OHM	34
FIGURA 17. INTERRUPTOR ON/OFF.....	34
FIGURA 18. ESP32-DevKitC V4 - 38-PIN ESP32 WIFI MICRO-USB.....	35
FIGURA 19. CABLE USB-A A MICRO-USB 180CM.....	36
FIGURA 20. WAGO 222-413D CONECTOR RÁPIDO	37
FIGURA 21. CABLE GPT-18 AWG	38
FIGURA 22. CONDUCTOR CALIBRE 14 AWG	39
FIGURA 23. MANGUERA.....	39
FIGURA 24. PLÁSTICO SOLAR	40
FIGURA 25. UNIÓN MIXTA	41
FIGURA 26. DISEÑO DE LA PLACA EN KICAD.....	42
FIGURA 27. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE RIEGO	42
FIGURA 28. CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO	43
FIGURA 29. PLACA IMPRESA.....	43
FIGURA 30. INSTALACIÓN DE LAS MANGUERAS Y NEBULIZADORES	44
FIGURA 31. SISTEMA DE CONTROL.....	44
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE HUMEDAD	45
FIGURA 33. UBICACIÓN DEL SENSOR DHT22	45
FIGURA 34. CONEXIÓN DE LA VÁLVULA SOLENOIDE	46
FIGURA 35. CONEXIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AGUA	46

FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE LAS SEMILLAS DE CAFÉ.....	47
FIGURA 37. RECUBRIMIENTO DE LAS SEMILLAS.....	47
FIGURA 38. PLÁNTULAS DE CAFÉ DESPUES DE 70 DIAS.....	47
FIGURA 39. DATOS DE LA HUMEDAD 1 DEL SUELO	48
FIGURA 40. DATOS DE HUMEDAD 2 DEL SUELO	48
FIGURA 41. DATOS DE HUMEDAD 3 DEL SUELO	49
FIGURA 42. DATOS DE LA HUMEDAD AMBIENTAL.....	49
FIGURA 43. DATOS DE TEMPERATURA AMBIENTAL.....	49
FIGURA 44. DATOS DEL CAUDAL EN LITROS.....	50
FIGURA 45. DATOS DEL NÚMERO DE CICLOS DE RIEGO	50

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PRESUPUESTO PARA LA INVESTIGACIÓN	63
ANEXO 2. CÓDIGO DE LA PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA ARDUINO.....	64
ANEXO 3. FICHA TÉCNICA DEL NEBULIZADOR.....	69
ANEXO 4. VISTA FRONTAL DEL INVERNADERO	70
ANEXO 5. VISTA SUPERIOR DEL INVERNADERO	70
ANEXO 6. VISTA LATERAL DEL INVERNADERO	71

RESUMEN

La presente tesis aborda el problema del riego ineficiente durante la germinación de plántulas de café en el caserío Misa Cantora, donde el uso excesivo de agua y la falta de control afectan su desarrollo. Con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar el manejo agronómico, se implementó un sistema de riego automatizado mediante tecnología del Internet de las Cosas (IoT), eligiéndose el riego por nebulización por su capacidad de suministrar agua en microgotas, ideal para esta etapa del cultivo. El sistema diseñado incluye sensores de humedad, temperatura y flujo, una válvula solenoide, un microcontrolador ESP32 y la plataforma ThingSpeak, permitiendo el monitoreo y control en tiempo real. Los resultados mostraron un riego más preciso, ahorro de agua y un desarrollo uniforme de las plántulas. Además, el análisis técnico y económico confirmó la viabilidad del sistema, con un VAN de 849.96 y una TIR del 12.3 %, superior a la tasa de interés anual del 3.5 %, lo que demuestra su rentabilidad. En conclusión, el sistema de riego por nebulización con IoT fue eficaz, eficiente, escalable y sostenible, beneficiando tanto a la tasa de crecimiento de las plántulas como la gestión del agua.

Palabras clave: nebulización, riego, automatización

ABSTARCT

This thesis addresses the problem of inefficient irrigation in the germination stage of coffee seedlings in the Misa Cantora farm, where excessive water use and lack of control affect the development of the crop, therefore the objective was to optimize the use of water resources and improve agronomic management; In addition, an automated irrigation system was implemented using Internet of Things (IoT) technology, and mist irrigation was chosen because of its capacity to supply water in the form of microdroplets, ideal for coffee seedlings. Likewise, a system composed of humidity, temperature and water flow sensors, a solenoid valve, an ESP32 microcontroller and the ThingSpeak platform for real-time monitoring was designed and implemented. Consequently, the results showed a significant improvement in irrigation control, water savings and uniform seedling development; finally, the technical and economic evaluation showed that the system is viable and scalable since the NPV is greater than zero and the IRR is 12.3%, which is higher than the annual interest rate of 3.5%.

Key words: fogging, irrigation, automation

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la falta de agua representa un desafío crítico para la agricultura, y la ineficiencia en su uso agrava aún más esta problemática. Los sistemas de riego convencionales son menos efectivos y pueden resultar en un desperdicio considerable de agua. Por lo tanto, para mejorar la utilización de este recurso tan importante, es fundamental implementar tecnologías avanzadas (Narvaez y Gutierrez 2022).

En Perú, la gestión del agua es un asunto vital, especialmente en las áreas agrícolas. La distribución desigual de los recursos hídricos, donde algunas zonas sufren de sequías mientras que otras tienen abundancia de agua, presenta desafíos importantes. Por ello, es esencial utilizar el agua de manera eficiente para asegurar la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria, asimismo, la adopción de sistemas de riego inteligentes puede contribuir a optimizar el uso del agua y aumentar la productividad (Acero 2019).

En el caserío Misa Cantora, el riego manual sigue siendo la práctica predominante para el cultivo de plántulas de café. Este método no es eficiente en cuanto al uso del agua y exige una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo por parte de los agricultores. La falta de sistemas de riego automatizados y tecnología avanzada limita la capacidad de los agricultores para mejorar la eficiencia del riego y la productividad.

El proyecto tiene como finalidad abordar problemas fundamentales vinculados al uso ineficiente del agua y la gestión del riego, dado que un riego inapropiado puede ocasionar el desperdicio de este recurso. Esto es especialmente preocupante en ciertos meses del año donde se experimenta escasez de agua, lo que resulta en mayores costos y condiciones desfavorables para el desarrollo de las plántulas de café. Al adoptar un sistema de nebulización con IoT, se espera mejorar la eficiencia del riego, además, capacitar a la comunidad agrícola en el uso de tecnologías avanzadas, contribuyendo a un desarrollo agrícola más sostenible y productivo.

Se ha propuesto la implementación de un sistema de nebulización con IoT para el riego de plántulas de café en la parcela "El Naranjo" en el caserío Misa Cantora. El objetivo es llevar un control eficiente del agua entregada a las plántulas de café. El germinador tendrá una dimensión de 3x2 metros de base y 2.5 metros de altura, con una capacidad de producción de 6000 plántulas de café Parainema. Este sistema beneficiará a los pobladores del caserío y funcionará durante 2 meses.

El sistema de riego por nebulización estará construido con materiales como madera y un recubrimiento de plástico solar. Los equipos incluyen sensores de temperatura, humedad ambiental y del suelo (tipo capacitivo), nebulizadores, electroválvula, un microcontrolador Arduino ESP32, un sensor de flujo de agua, conectores y un cajón de madera de 2x1 metros donde se colocarán las plántulas de café. Además, se utilizará la plataforma ThingSpeak para monitorear y analizar los datos

Cervantes (2016) destaca que el agua es un recurso muy importante para la vida humana, vegetal, animal y para la industria. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas globales, el manejo y disponibilidad de este recurso, generan causas de disputas en diversos ámbitos, desde lo local hasta lo internacional.

Larico (2019) indica que el uso inadecuado del agua, carece de un sistema de monitoreo constante de las variables climáticas dentro del invernadero, como la temperatura y humedad. Adicionalmente, una mala programación en el momento del riego dificulta el mantenimiento de la temperatura ideal para el cultivo, al no conocer las necesidades de agua o la frecuencia de riego. Aunque los invernaderos administrados manualmente por los profesionales encargados, ofrecen una protección a los cultivos contra fenómenos climáticos y les brinda un microclima sustentable, sus ventajas y eficiencias son limitadas en comparación con los invernaderos automatizados.

En el Caserío Misa Cantora, San José de Lourdes, San Ignacio, Cajamarca, se estima una producción de 700 quintales de café por 30 hectáreas aproximadamente donde se siembra una gran variedad de café (Caturra, Catimor, Gran Colombia, Costa Rica, Parainema etc.), el clima en esta área es adecuada para el cultivo de café ya que oscila entre 18 a 24 °C. La implementación de esta investigación es una estrategia que va ayudar a mejorar la producción de café de manera significativa ya que es el principal sustento para las familias.

A raíz de esta problemática se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo implementar un sistema de riego con Internet de las Cosas para las plántulas de café en el caserío Misa Cantora, San José de Lourdes, San Ignacio, Cajamarca?

Acero (2019) realizó la “Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna, 2018”. En su tesis de pregrado, indica que el dispositivo Damla y la aplicación web se comunicaran por medio de una aplicación servidor que permitirá observar a través de los sensores el nivel de humedad del

suelo y del aire, así como también la temperatura ambiente, el estado de válvulas y de motores, además, se visualiza el nivel de radiación UV para que la persona encargada del riego utilice los datos y así poder decidir el mejor riego para el cultivo de olivos. Para este sistema de riego se utilizó un reservorio con una capacidad de 600000 L, filtros para la purificación, una bomba centrífuga de caudal de 5 HP para la impulsión del agua, tuberías de 2 pulg para el recorrido del agua. Además, se utilizó el sistema IoT para recolectar la información del tiempo de riego y el ahorro del agua, asimismo, indica que los datos obtenidos con este software han arrojado resultados favorables en términos de una mejora en la eficiencia del uso del agua durante el riego de los cultivos, pero podría ser más eficiente en invernaderos, ya que se podría aprovechar de manera más efectiva los sensores de temperatura y humedad.

En ese sentido, influye mucho este trabajo de investigación porque utilizan la tecnología de Internet de las Cosas (IoT), que permite ver cómo está funcionando el sistema y con ello abordar problemas relacionados con la agricultura y la gestión del agua en un invernadero.

Cohen et al. (2020) en su artículo científico “Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas”, en su implementación de este sistema de control se utilizó una estación meteorológica, se realizó el modelamiento en el software Matlab para conectarse al Arduino y posteriormente se conecta una electroválvula para abrir y cerrar el paso del agua, llegando así al cultivo de ahuyama y mediante los sensores de humedad y temperatura se transporta los datos al controlador PID y al sistema de datos conectado a la nube de IoT en tiempo real. Luego, del procesamiento de datos se obtuvieron como resultado menos del 2% de valores en las variaciones de los parámetros en tiempo real, además, se demostró que este sistema de control permite la optimización del uso de agua, mayor rendimiento energético y alta precisión de riego.

Este artículo es de suma importancia para esta tesis porque se centran en el monitoreo y control de parámetros como temperatura, humedad y otros sensores relevantes para optimizar el uso del agua y mejorar el rendimiento de los cultivos.

Pinedo (2019) elaboró el “Diseño de un sistema de riego automatizado para un vivero de palma aceitera en el distrito Neshuya – Región Ucayali”. En su proyecto de pregrado, se evalúa el estudio y caracterización del terreno, las necesidades hídricas de los plantones, la distribución de agua requerida y el fertirriego, asimismo, se analiza el comportamiento del programador de riego de 1000 L, programador de grifo conectado a una red local de Wifi y concentrador para el monitoreo del riego por goteo automatizado. El software estadístico Excel

fue utilizado para realizar el análisis de datos, de donde se obtuvo que, para este riego automatizado se requirió para 1000 plántones 2 obreros. En conclusión, se obtuvo una alta eficiencia y productividad en el crecimiento de los plántones, uniformes y nutridos, además se obtuvo un control de agua del 98% en su totalidad, con respecto al riego convencional.

Esta investigación nos ayuda porque se evalúa el comportamiento de un programador de riego conectado a una red local de Wifi y un concentrador para el monitoreo del riego automatizado.

Jain (2023) con su título “Rendimiento experimental de un sistema de riego por goteo inteligente habilitado para IoT que se utiliza y controla mediante aplicaciones basadas en web”, en su artículo de investigación se emplearon sensores de temperatura (DHT22) y humedad del suelo (FC-28), los cuales se integraron al sistema de riego y transmitieron datos al microcontrolador Arduino Yun, estos datos se almacenaron en la nube de ThingSpeak. Además, la automatización de la bomba asegura la correcta cantidad de agua y es posible supervisar su estado desde cualquier ubicación mediante un teléfono móvil con acceso a internet. Se obtuvo como resultado que, en este sistema de riego por goteo, utilizando herramientas como IoT, que ha demostrado ser una tecnología emergente en la agricultura de precisión

El artículo es relevante porque propone soluciones de supervisión remota y automatización para optimizar el riego y mejorar el crecimiento vegetal. Además, evidencia la eficacia del IoT como herramienta aplicada a la agricultura de precisión.

Obaideen et al. (2022) en el artículo de investigación "Descripción general de los sistemas de riego inteligentes de IoT". Indican que en el sistema de riego SMART se adquieren datos a través de sensores meteorológicos mediante una comunicación inalámbrica con el IoT, permitiendo a los agricultores tener el control y monitoreo en tiempo real de sus cultivos de fresa. Con ello, se obtienen resultados positivos, que conducen a un desarrollo más sostenible a través de una mayor irrigación, lo que aumentará las ganancias y el rendimiento de los cultivos. En conclusión, el Internet de las Cosas ahora se ocupa de automatizar los procesos agrícolas, reduciendo así el impacto en el medio ambiente a través del uso eficiente de los recursos.

El trabajo de investigación mencionado nos brinda alternativas porque permite la automatización de procesos en la agricultura con el uso de sistemas IoT, reduciendo el impacto ambiental a través del uso eficiente de los recursos, así como el aumento de las ganancias.

Goap et al. (2018) en su artículo de investigación “Un sistema de gestión de riego inteligente basado en IoT que utiliza aprendizaje automático y tecnologías de código abierto”, propuso una arquitectura basada en IoT con el fin de obtener los datos de humedad, temperatura y radiación de los cultivos, además, se recopila la información meteorológica y se desarrolla un algoritmo de predicción de la humedad del suelo, también se incluye un servicio web para controlar el motor hidráulico y una interfase responsiva basada en web para monitoreo en tiempo real, conectando todo esto a una red Wi-fi o datos móviles para ser controlado por el Raspberry Pi con Arduino Uno e interruptor de relé, garantizando una buena gestión del riego inteligente. Obteniendo como resultado las diferencias de humedad del suelo basado en datos de sensores y la predicción del algoritmo mediante la regresión de vectores de soporte, con un error cuadrático medio de 0,160337 y un coeficiente de correlación de 0,313454.

Este artículo de investigación proporciona información que nos ayuda con el análisis de las mediciones que se obtienen con los sensores instalados, y de acuerdo a ello se puede llegar a resultados esperados en la eficiencia del riego.

Narvaez y Gutierrez (2022) realizaron un “Sistema de internet de las cosas para mejorar el proceso de riego en la comunidad de matará”. En su tesis de pregrado, se propone mejorar el sistema de riego de esta comunidad mediante el uso de un prototipo de aplicación móvil de IoT llamado Login app y una cuenta en Ubidots. Además, se utilizó el Arduino Ide 1.8.9 y se añadió la tarjeta Generic ESP8266 para compilar el código en la placa NodeMCU ESP8266. Se programaron los sensores en Arduino, se leyeron los datos de los sensores conectados al NodeMCU ESP8266 y se enviaron a Ubidots. En esta parte del código, se envió la variable de distancia recibida por el sensor ultrasónico a la variable principal que recibirá Ubidots. Luego, se configuró el widget Tanque utilizando la variable Principal y se estableció un rango de 0 a 1000. También se realizaron pruebas con el sensor DHT11 para visualizar los datos de temperatura y humedad. Finalmente, se configuró el inicio de sesión de la aplicación con la plataforma Ubidots para que pueda comunicarse con el proveedor de agua y solicitar la cantidad deseada. Se obtuvo como resultado una reducción del 26.05% en el volumen utilizado para el riego. Esto se basa en los datos de preprueba, donde se usó un volumen de 38 m³, y los datos de posprueba, donde se usó un volumen de 28.1 m³.

La tesis aporta de forma significativa al integrar IoT, automatización y control remoto, logrando una reducción comprobada en el uso de agua. Además, presenta un modelo escalable

con enfoque educativo, promoviendo una adopción sostenible que favorece tanto a los agricultores como al medio ambiente.

A partir de lo mencionado, resulta esencial desarrollar investigaciones que contribuyan a la preservación del agua. En este contexto, el objetivo general de esta investigación es Implementar un sistema de riego con internet de las cosas para plántulas de café en el Caserío Misa Cantora, San José de Lourdes, San Ignacio, Cajamarca y como objetivos específicos, seleccionar un tipo de riego para las plántulas de café, diseñar el sistema de nebulización con Internet de las Cosas, implementar el diseño del sistema de nebulización con Internet de las Cosas y realizar la evaluación técnica – económica de escalabilidad del proyecto.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

2.1.1. Ubicación geográfica

El proyecto se realizó en la parcela El Naranjo, ubicado en el caserío Misa Cantora, distrito San José de Lourdes, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca.

Figura 1.

Ubicación del lugar de estudio

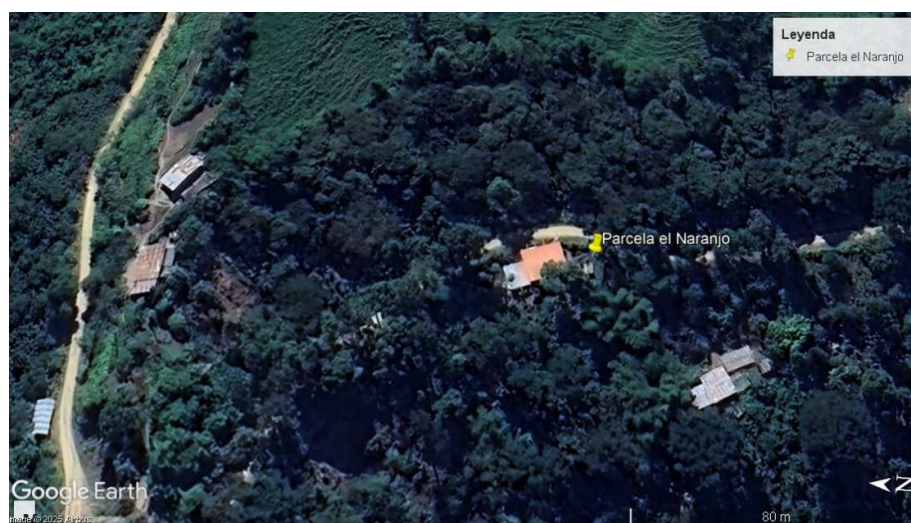
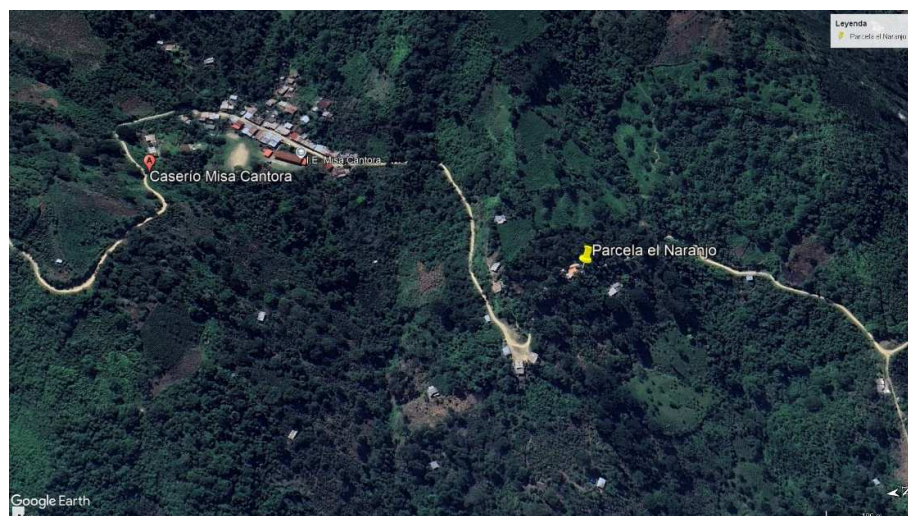


Figura 2.

Ubicación del caserío Misa Cantora y parcela El Naranjo



2.2. Procedimiento

2.2.1. Objetivo 1: Seleccionar un tipo de riego para las plántulas de café.

- **Riego convencional**

Kasten, Landis y Wilkinson (2012), señala que el riego manual es generalmente la opción más adecuada para irrigar pequeños viveros. Este método requiere un equipo sencillo y económico, como una manguera, un par de boquillas distintas y un rociador con lanza para la manguera.

- **Riego por goteo**

Franco (2018) indica que el sistema de riego por goteo se fundamenta en la irrigación directa del suelo a través de puntos de agua específicas distribuidos en el terreno, los cuales se caracterizan por tener una descarga baja, entre 1 y 10 litros por hora. Así, se humedece solo una pequeña porción de la superficie total del suelo y, incluso debajo de esta capa, la distribución del agua en el volumen de suelo húmedo no es homogénea.

- **Riego por aspersión**

Riego por aspersión: Andrade (2018) indica que este método se utiliza en amplias áreas, dispersando un gran volumen de agua de manera equilibrada y uniforme, similar a la lluvia. Normalmente, cubre toda la superficie y es muy adecuado para la automatización del proceso.

- **Riego por nebulización**

Según Torijano (2022), Se trata de un sistema de riego que dispersa agua en forma de una fina neblina a través de emisores situados sobre los cultivos. Además de suministrar agua y fertilizantes, este método contribuye a disminuir la temperatura y a incrementar la humedad relativa dentro de los invernaderos.

Environment (2015), menciona que este sistema permite realizar el riego sin dañar las plantas ni compactar el sustrato, lo que favorece un crecimiento saludable y un adecuado desarrollo de las raíces. También garantiza una distribución uniforme del agua, especialmente en ambientes cerrados. Una de sus principales ventajas es que, gracias al diseño de sus emisores, se evita el impacto directo de las gotas sobre las plantas, lo que reduce tanto la pérdida de cultivos como el uso excesivo de agua. Por estas razones, es altamente recomendado para la producción de plántulas, ya que previene daños mecánicos en las mismas.

Según Heredia (2011), indicó que para cada metro cuadrado se debe aplicar 1 kg de café, el cual se cubre posteriormente con una capa de arena de 1 cm de espesor. Además, la temperatura promedio favorable para el café se ubica entre 17 a 23 °C, en el caso de almácigos de café, se recomienda mantener la humedad relativa del suelo en un rango óptimo del 50% al 80%. Este rango garantiza que las raíces jóvenes tengan acceso continuo al agua, sin riesgos de asfixia radicular o aparición de enfermedades fúngicas asociadas al exceso de humedad.

Por lo tanto, se seleccionó el tipo de riego por nebulización, ya que es el más eficiente en el consumo de agua y permite mantener un suministro constante sin inundar las raíces de las plántulas de café. Además, es perfecto para espacios reducidos y cerrados, donde se puede controlar la temperatura y la humedad.

2.2.2. Objetivo 2: Diseñar el sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

Primero, se analizó y comprendió cómo se realizaba el riego convencional de las plántulas de café, lo que implicó estudiar los métodos y técnicas utilizadas, así como los requisitos de agua y los problemas asociados con este tipo de riego. Luego, se investigó y revisó la bibliografía existente sobre el riego por nebulización automatizado con IoT, lo que incluyó información sobre las mejores prácticas, los beneficios y las limitaciones de este sistema. Posteriormente, se determinaron los parámetros clave para el diseño del sistema, lo que incluyó determinar la cantidad de agua necesaria, la frecuencia de riego y los niveles de humedad deseados. Además, se seleccionaron los componentes electrónicos, sensores y nebulizadores adecuados para este sistema, identificando los sensores necesarios para medir la humedad del suelo y la temperatura, así como los nebulizadores que se utilizaron.

- **Diseño del invernadero**

Según Guzman (2023) indica que el propósito principal de un invernadero es proteger las plantas de las condiciones climáticas externas, creando un ambiente semicerrado que se puede controlar y monitorear con facilidad. Para proyectos de pequeña escala, se sugiere que las dimensiones de los lados sean de entre 2 a 2.5 metros y una altura de 2.5 a 3.5 metros.

Para este proyecto se realizó teniendo una base de 3x2 metros y 2.5 metros de altura.

- **Diseño de placa**

Para la creación del circuito impreso, se utilizaron dos programas especializados. En primer lugar, se empleó KiCad, un software de diseño electrónico de código abierto, para elaborar el esquema eléctrico y el diseño del PCB. Una vez finalizado el diseño, se exportó el proyecto en formato Gerber, que incluye los archivos necesarios para las capas de cobre, el contorno de corte y la perforación, elementos esenciales para la fabricación de la placa.

Luego del diseño descrito en el inciso 3.3.6, se utilizó el software FlatCAM, que permite procesar archivos Gerber y de perforación para su impresión y mecanizado mediante CNC. Este programa fue crucial para generar las trayectorias de la herramienta y preparar el diseño para la producción física del PCB.

- **Selección de las mangueras**

Se eligió una manguera de 1/2" para facilitar su conexión con la red de agua existente, que ya contaba con una manguera de ese mismo diámetro. Además, tanto la válvula solenoide como el sensor de flujo también son de 1/2". La decisión de optar por una manguera de 16 mm se basó en su eficiencia ya que aumenta la presión y se adecua para conectar los nebulizadores, los cuales fueron instalados con una separación de 1 metro entre ellos.

- **Determinación del número de nebulizadores**

Se han empleado nebulizadores fogger del modelo cruz, ya que son ideales para invernaderos debido a que producen gotas extrafinas, lo que resulta beneficioso para las plántulas. Este modelo incluye un tubo estabilizador y una válvula antidrenante, lo que facilita su instalación y está diseñado para mangueras de polietileno de 16 mm. (Nanndanjain, s.f.).

El nebulizador fogger, cuenta con cuatro salidas operando a una presión de 4 bar. De acuerdo con su ficha técnica, este dispositivo tiene un área de nebulización de 1 m². Por lo tanto, para cubrir completamente la superficie del invernadero de 2 m², se utilizaron 2 nebulizadores.

- **Selección de los sensores de humedad**

Se seleccionó el sensor de humedad de suelo capacitivo v1.2 que se encargó de medir la humedad del suelo utilizando el principio de capacitancia entre electrodos en lugar de resistencia, lo que aumentó considerablemente la vida útil del sensor. Además, el electrodo cuenta con una capa de protección anticorrosión, lo que le otorgaba una mayor durabilidad, ya que no se oxidaba como los sensores resistivos.

Según (Naylamp Mechatronics s/f) "los sensores de humedad de suelo capacitivos ofrecen mayor durabilidad, precisión y resistencia a

condiciones adversas, lo que garantiza un control eficiente y confiable del riego automático”.

Según Okasha et al. (2021) “el sensor capacitivo de humedad del suelo es un dispositivo confiable y resistente, empleado para medir y supervisar el nivel de humedad del sustrato. Se utilizó para registrar las variaciones en las condiciones ambientales dentro del invernadero”.

- **Selección del sensor de temperatura y humedad relativa**

Se seleccionó el sensor digital de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302) de buen rendimiento y bajo costo. Este dispositivo contiene un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y mostraba los datos a través de una señal digital en el pin de datos. Esto permitía conectarlo a la placa ESP32 y enviar la información a la plataforma ThingSpeak.

- **Determinación la válvula solenoide**

Se determinó previamente que se requieren dos nebulizadores fogger. Por lo tanto, se configuró un sistema en una única red en serie, lo que llevó a la decisión de incluir una válvula de paso.

- **Sensor de flujo de agua de 1/2”**

Se utilizó este sensor para medir el caudal de agua en una tubería de D1/2", con el fin de conocer el consumo. La salida del sensor consiste en pulsos digitales generados por cada paso de un factor de volumen. Este dispositivo cuenta con tres cables: uno rojo para la alimentación, uno negro para tierra y uno amarillo para la transmisión de las mediciones.

- **Instalación de la energía eléctrica**

La alimentación eléctrica se llevó a cabo desde la vivienda del propietario de la parcela, utilizando 15 metros de conductor calibre 14 AWG y un tomacorriente.

- **Conexión de los sensores de humedad de suelo capacitivo con la placa ESP32**

Se utilizaron tres sensores de humedad, los cuales se conectaron a los pines 32, 34 y 35 de la placa. Estos pines son de uso general y son

especialmente adecuados para sensores, ya que permiten la lectura de señales analógicas.

- **Conexión del sensor de temperatura y humedad DHT22 con la placa ESP32**

Se utilizó un sensor DHT22 para medir la temperatura y la humedad en el invernadero. Este sensor fue conectado al pin 33 de la placa ESP32, el cual es compatible con la señal analógica que emite el DHT22 y no está reservado para funciones especiales del sistema. Esto garantizó una conexión estable y eficiente, evitando interferencias con otras operaciones críticas del microcontrolador.

- **Conexión de la válvula solenoide con la placa ESP32**

La válvula solenoide se conectó al pin 4 de la placa ESP32, ya que este pin funciona como una salida digital adecuada para controlar la válvula mediante señales de encendido y apagado. Este pin es de entrada/salida de propósito general que puede proporcionar la señal necesaria para activar un relé o un transistor, lo que a su vez controla la apertura o cierre de la válvula.

- **Conexión del sensor de flujo de agua con la placa ESP32**

El sensor de flujo de agua se conectó al pin 27 de la placa ESP32, debido a que los pulsos generados por el sensor son una señal digital, ya que consisten en una serie de pulsos eléctricos que son contados y procesados como números enteros. En este sentido, la salida del sensor es digital, ya que se pudo leer directamente como un valor numérico. Por otro lado, el resultado final de la medición del caudal de agua fue un valor analógico, ya que representa una magnitud física continua (el flujo de agua) que toma cualquier valor dentro de un rango determinado. Por lo tanto, el sensor de flujo de agua utiliza una señal digital (pulsos) para representar una variable analógica (caudal de agua).

- **Plataforma para visualizar datos en la nube**

Se utilizó la plataforma ThingSpeak para el análisis de IoT, la cual permitió agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. Los dispositivos pueden enviar datos a ThingSpeak y crear visualizaciones instantáneas de esos datos. Además, se creó un canal

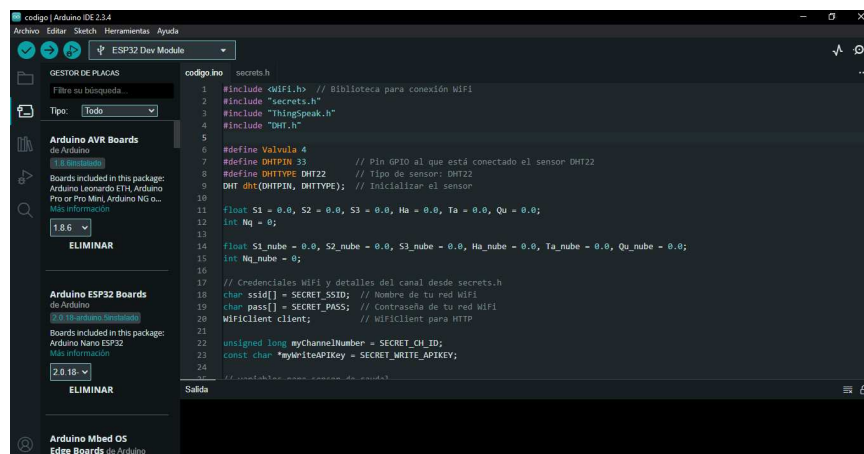
denominado Riego, en el que se añadieron siete campos para registrar las mediciones de los sensores. Finalmente, el ID del canal y la clave API se copiaron en el código del Arduino para facilitar la transferencia de datos y la comunicación entre ambos.

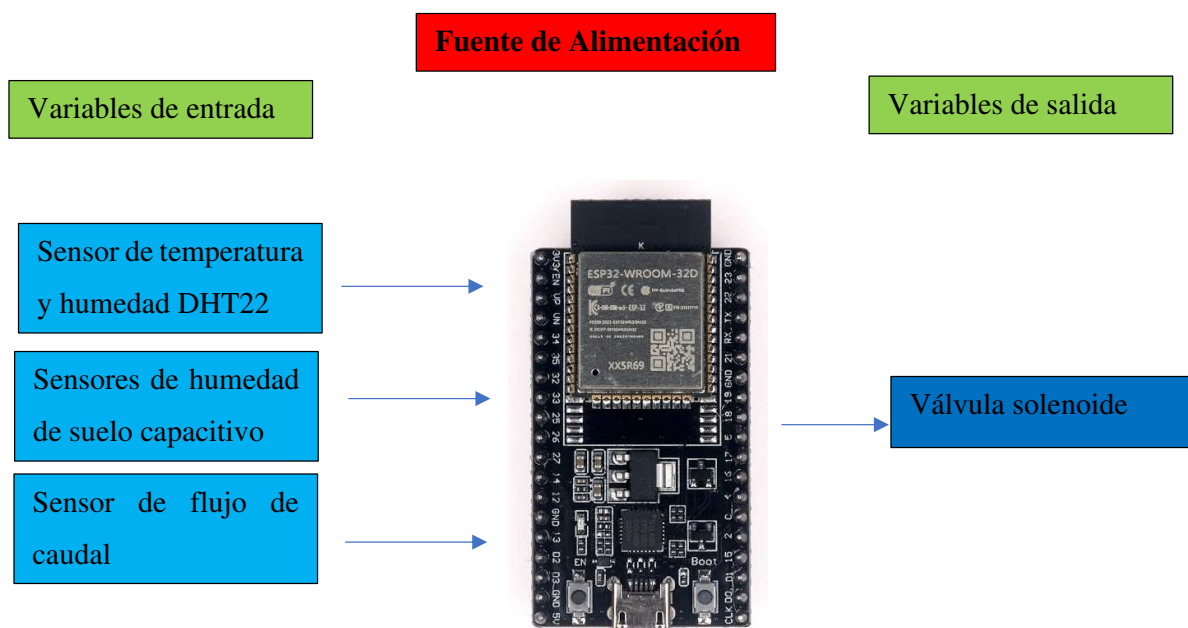
- **Programación de la placa ESP32 en la plataforma Arduino.**

Se llevó a cabo la programación de la placa ESP32 en la plataforma Arduino para el sistema de riego, utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE, que permite escribir, compilar y cargar el código directamente en el microcontrolador. Este código controla todos los componentes del sistema, incluyendo tres sensores de humedad de suelo capacitivo, el sensor DHT22 para medir la temperatura y la humedad ambiental, el sensor de flujo de agua para monitorear el caudal y el número de ciclos, así como la válvula solenoide para activar o desactivar el riego. Además, mediante la librería WiFi, el ESP32 se conectó a una red inalámbrica, lo que permitió enviar datos a la plataforma ThingSpeak; asimismo, se emplearon estructuras de control, como condicionales y temporizadores, para que el sistema pudiera tomar decisiones automáticas; por ejemplo, activar la válvula solo si la humedad estaba por debajo del 50% y la temperatura por encima de 23 °C, y desactivarla si no se cumplía alguna de estas condiciones. Por otro lado, la programación también incluyó rutinas para la lectura periódica de los sensores y el procesamiento de datos, convirtiendo al ESP32 en una solución robusta y versátil para automatizar el riego de manera inteligente.

Figura 3.

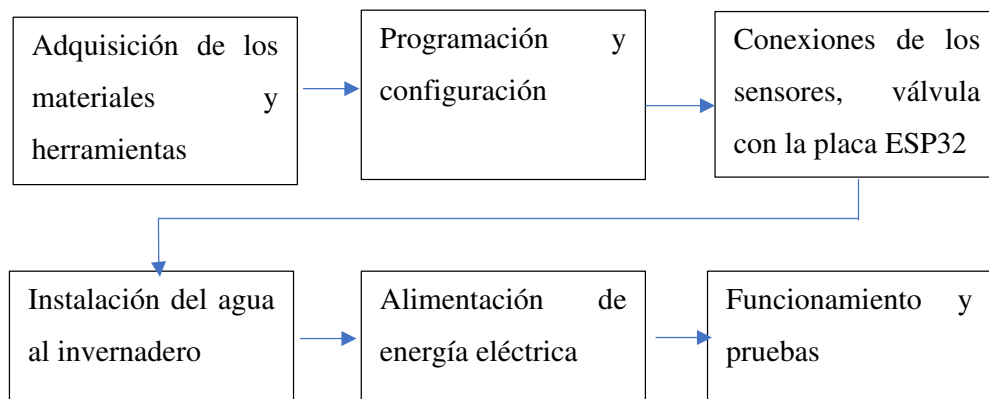
Programación en la plataforma Arduino





2.2.3. Objetivo 3: Implementar el diseño del sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

En primer lugar, fue necesario adquirir los componentes necesarios para el sistema de nebulización con IoT. Esto incluyó nebulizadores, sensores de humedad, temperatura y flujo de agua, un actuador como válvula solenoide, un microcontrolador ESP32 y la plataforma ThingSpeak, teniendo en cuenta que los componentes fueran compatibles entre sí y cumplieran con los requisitos del sistema. Una vez que se adquirieron los componentes, se programaron y configuraron correctamente utilizando la plataforma Arduino, conectando los sensores y el actuador al microcontrolador ESP32, y se utilizó la plataforma ThingSpeak para el almacenamiento de los datos obtenidos. Después, se procedió a instalar el sistema en el invernadero colocando de manera estratégica los sensores y la válvula solenoide en diferentes áreas del invernadero, asimismo, se realizó la conexión del sistema a la fuente de energía y al suministro de agua. Una vez que el sistema estuvo instalado, fue importante realizar pruebas para asegurarse de que todo funcionara correctamente, verificando la lectura de los sensores, la activación del actuador y la comprobación de la conectividad a internet. Además, durante las pruebas, se realizaron ajustes y configuraciones adicionales en los sensores de humedad y temperatura.

Figura 4.*Diagrama de flujo de la implementación del sistema de riego*

2.2.4. Objetivo 4: Realizar la evaluación técnica – económica de escalabilidad del proyecto.

En este proyecto, se llevó a cabo una comparación entre el sistema de riego por nebulización con IoT y el sistema de riego convencional, analizando el número de plantas germinadas, el flujo de agua utilizado y el tiempo requerido por los trabajadores. Se identificaron y cuantificaron todos los gastos de implementación, incluyendo la adquisición de dispositivos IoT, programación y configuración del sistema, además, la instalación, los costos operativos continuos como mantenimiento, energía eléctrica y conectividad a internet. También se estimaron los ingresos generados por el ahorro de agua, la reducción de mano de obra y la mejora en la eficiencia. Con esta información, se calculó el periodo de recuperación económica, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), determinando así la rentabilidad del proyecto, donde un VAN positivo y una TIR superior a la tasa de descuento indicaron viabilidad económica.

2.3.Método

La investigación es de tipo aplicada, ya que se centró en la implementación de una tecnología innovadora a través del sistema de riego con IoT, lo que implicó la aplicación de conocimientos teóricos para crear una solución práctica que benefició a los agricultores del área.

2.3.1. Alcance de la investigación

Esta investigación tuvo un alcance descriptivo y se encargó de detallar la implementación del sistema de riego por nebulización utilizando internet de las cosas. Además, se controló y registró los parámetros de temperatura, humedad y el flujo de agua.

2.3.2. Según fuente de datos

- En este proyecto se llevó a cabo una investigación de campo con el propósito de validar la aplicabilidad y efectividad del sistema en un entorno real. Se evaluó el rendimiento del sistema de nebulización con IoT bajo condiciones reales de cultivo en el caserío Misa Cantora.
- Además, se llevó a cabo una investigación documental, asegurando que el proyecto se basara en la mejor evidencia disponible al revisar la literatura existente sobre tecnologías de riego, sistemas de nebulización y aplicaciones de IoT en la agricultura. Esto proporcionó un fundamento teórico para el proyecto y guió su diseño e implementación.

2.3.3. Técnicas

a) Observación

Se realizó la evaluación del desempeño del sistema de nebulización con IoT en condiciones reales de cultivo, lo que incluyó el monitoreo del crecimiento de las plántulas de café. Además, se registraron datos sobre la humedad del suelo, la temperatura y el flujo de agua, con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico.

b) Análisis documental

Este sistema de riego automatizado presenta numerosas ventajas, como la reducción de la cantidad de agua necesaria para irrigar las plántulas de café y la disminución de la mano de obra, gracias a su capacidad de operar de manera autónoma. Además, la automatización del riego contribuye a la reducción de costos y al

aumento de la eficiencia, al evitar riegos excesivos que pueden desperdiciar agua y afectar el crecimiento de las plántulas.

c) Herramientas

Plataforma Arduino IDE: Es un software libre donde se utilizó el módulo ESP32 para programar y configurar los sensores de humedad, de flujo de agua, el DHT y la válvula solenoide, Además, se hizo uso de la plataforma ThingSpeak para la visualización de los datos recopilados.

AutoCAD: Se ha utilizado la versión gratuita para estudiantes donde se llevó a cabo el diseño del invernadero.

Excel: Se utilizó la versión gratuita para estudiantes con el fin de extraer los datos de la plataforma ThingSpeak, además, se aplicó para realizar los cálculos matemáticos necesarios para el presupuesto.

III. RESULTADOS

3.1. Seleccionar un tipo de riego para las plántulas de café.

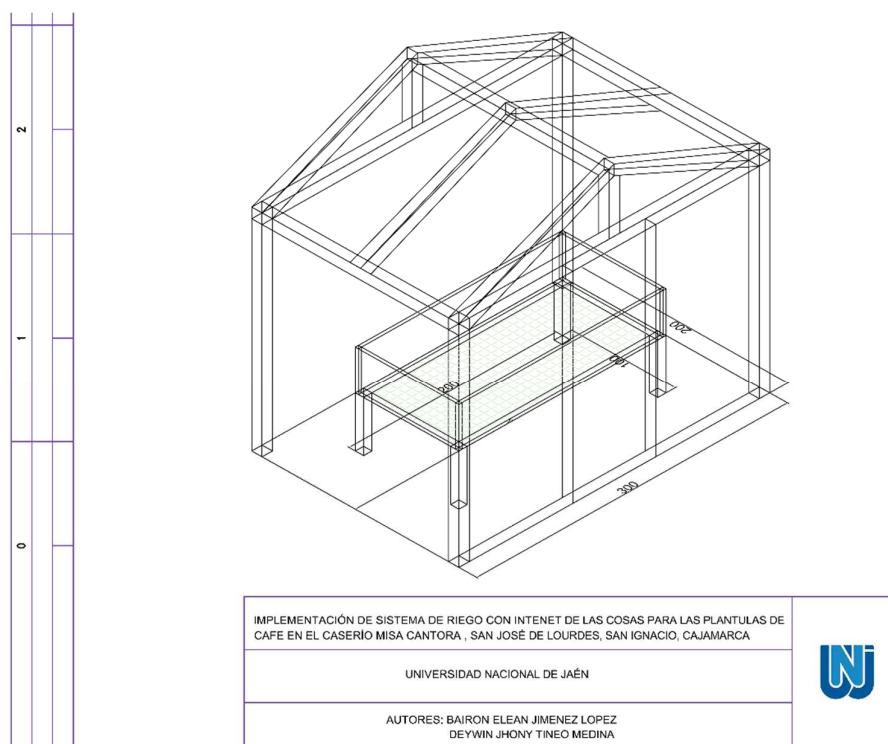
Se optó por el riego por nebulización debido a que es el método más adecuado para las plántulas de café, ya que proporciona agua en forma de microgotas, evitando así el daño que podría causar el riego por goteo o aspersión. Además, este sistema permite un ahorro significativo de agua en comparación con otros métodos de riego, lo que contribuye a la reducción de costos.

3.2. Diseñar el sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

3.2.1. Diseño del invernadero

Figura 5.

Diseño del invernadero



Nota. En anexos se muestra más a detalle

3.2.2. Diseño del sistema de riego

A. Sensores

Sensores de humedad de suelo capacitivo

Se utilizaron 3 sensores para medir la humedad del suelo, los cuales eran compatibles con la placa ESP32, que ayudó a monitorear la humedad de las plántulas de café.

Figura 6.

Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2



Tabla 1.*Especificaciones técnicas del sensor de humedad*

Características	Valores
Voltaje de alimentación	3.3V - 5V DC
Corriente operación	5mA
Voltaje de la señal de salida	0 a 5V (Analógico)
Modelo	capacitive soil moisture sensor v1.2
Vida útil	3 años mín.
Conector	PH2.0-3P
Incluye	Electrodo y cable jumper hembra
Dimensiones	98*23 mm
Peso	15 gramos

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Sensor de flujo de agua

Un sensor de flujo, conocido también como caudalímetro, es un dispositivo que se utilizó para medir el caudal o el gasto volumétrico del agua. El caudal se refiere a la cantidad de fluido (en volumen) que pasa a través de una tubería en un período determinado, y se expresa en unidades como litros por minuto (l/m).

Figura 7.*Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201*

Tabla 2.*Especificaciones técnicas sensor de flujo.*

Características	Valores
Modelo	YF-S201
Voltaje de operación	5V - 18V DC
Consumo de corriente	15mA (5V)
Capacidad de carga	10mA (5 VDC)
Salida	Onda cuadrada pulsante
Rango de Flujo	1-30L/min
Volumen promedio por pulso	2.25mL
Pulsos por litro	450
Factor de conversión	7.5
Rosca externa	1/2" NPS
Presión de trabajo máx.	1.75MPa (17 bar)
Temperatura de funcionamiento	25°C a 80°C
Material	Plástico color negro

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Convertidor de nivel lógico

Este convertidor se utilizó para conectar de manera adecuada y segura el sensor de flujo, que opera a un voltaje lógico de 5V, con la placa ESP32, que funciona a 3.3V. Esto evita posibles daños y garantiza una comunicación efectiva entre ambos dispositivos.

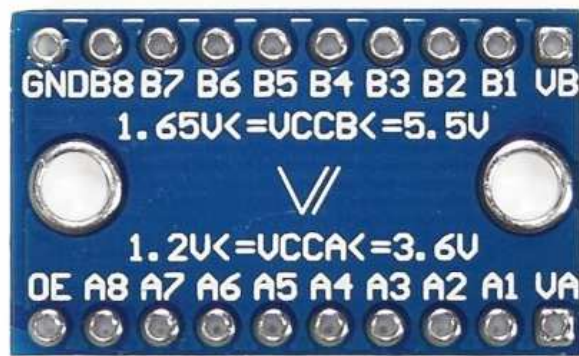
Figura 8.*Convertidor de nivel lógico*

Tabla 3.*Especificaciones técnicas del conversor de nivel lógico*

Características	Valores
Puerto A	1.2V - 3.6V
Puerto B	1.65V - 5.5V
Voltaje	En el Puerto A (VccA) debe ser menor que el puerto B (VccB)
Taza de transf. datos (máx.)	60 Mbps
Ancho DIP	6"

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)

El sensor DHT22 se emplea para medir de manera precisa y sencilla tanto la temperatura como la humedad relativa. Este dispositivo utiliza un sensor capacitivo para la humedad y un termistor para la temperatura, proporcionando los datos a través de una señal digital en su pin de datos.

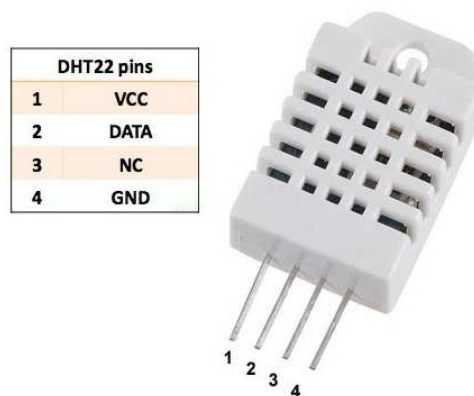
Figura 9.*Sensor de temperatura y Humedad*

Tabla 4.*Especificaciones técnicas del sensor DHT22*

Características	Valores
Voltaje de Operación	3V - 6V DC
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80 °C
Precisión de medición de temperatura	<±0.5 °C
Rango de medición de humedad	De 0 a 100%
Tiempo de sensado	2s
Modelo	AM2302

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

B. Actuadores

Driver mosfet dual AOD4184A

Este Driver se utilizó para activar o desactivar la válvula solenoide, ya que no era posible conectar la válvula directamente a la placa ESP32. Esto se debe a que la válvula opera a 5V, mientras que el ESP32 funciona a 3.3V.

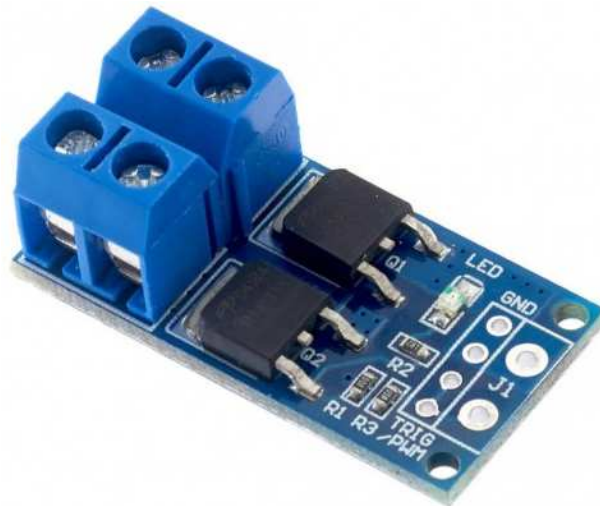
Figura 10.*Driver mosfet*

Tabla 5.*Especificaciones técnicas del Driver mosfet*

Características	Valores
Voltaje de control	3.3V-20V DC
Voltaje de potencia	5V-36V DC
Corriente de salida continua(carga)	15A máx.
Soporta picos de corriente	hasta 30A (10 segundos máx.)
Frecuencia PWM	0-20kHz
Temperatura de trabajo	40°C a +85°C
Dimensiones	34*17*12 mm (LxWxH)

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Válvula solenoide de 1/2" de 12 VDC

Esta válvula ha sido empleada para regular el flujo de agua hacia el invernadero, permitiendo su apertura o cierre de acuerdo a los parámetros del riego.

Figura 11.*Válvula Solenoide*

Tabla 6.*Especificaciones técnicas de la válvula solenoide*

Características	Valor
Voltaje de operación	12V DC
Corriente de operación	5A
Potencia consumo	60W
Temperatura de funcionamiento	5°C a 100°C
Presión de funcionamiento mínima	0.02 MPa (0.2 Bar = 2.04 mca)
Presión de funcionamiento máximo	0.8 MPa (8 Bar = 81.6 mca)
Tiempo de respuesta (apertura)	≤ 0.15 s
Tiempo de respuesta (cerrado)	≤ 0.3 s
Conector tubería	Rosca externa 1/2" NPS
Reposo	Macho
Tipo de válvula	Normalmente cerrado
Tipo de válvula	Diafragma
Material cuerpo	Plástico ABS
Dimensiones	85*60*26 mm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Nebulizadores

El nebulizador de propagación es un equipo diseñado para producir una fina neblina de agua, que se ha utilizado para las plántulas de café. Este dispositivo se emplea en viveros, invernaderos y sistemas de cultivo, ya que ayuda a mantener niveles óptimos de humedad, favoreciendo la germinación de las plántulas.

Figura 12.*Nebulizador Fogger*

Tabla 7.*Especificaciones técnicas del nebulizador*

Características	Valores
Presión recomendada	4 bar
Caudal	28 l/h
Altura máxima de instalación	1 m
Máximo espaciamiento	1.2 m
Salidas	4
Tubo y estabilizador	1

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

C. Fuentes de alimentación

Fuente de alimentación AC/DC 60W 12V 5A

Esta fuente de alimentación ha sido utilizada para proporcionar energía a la placa, la electroválvula y el sensor de flujo de agua.

Figura 13.*Fuente de alimentación***Tabla 8.***Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación*

Características	Valores
Voltaje de entrada	100V - 240V AC
Voltaje de salida 12V DC	12V DC
Corriente de salida máx.	5A
Potencia máx.	60W
Eficiencia de salida	80%
Conector de salida	DC Plug 5.5mmx2.1mm

Longitud del cable AC	110cm
Longitud del cable DC	90cm
Dimensiones	115*50*33mm
Modelo	W-DA60
Fabricante	WODE

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Convertidor de voltaje

Se utilizó un convertidor de voltaje DC-DC Step-Down XL4005 para convertir un voltaje de entrada de 5 V a un voltaje de salida de 3,3 V.

Figura 14.

Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 5A XL4005



Tabla 9.

Especificaciones técnicas del convertidor de voltaje

Características	Valores
Convertidor DC-DC Buck	XL4005
Voltaje de entrada	5.0V a 32V DC
Voltaje de salida	0.8V a 30V DC
Potencia de salida	50W-70W
Eficiencia de conversión	96% máx.
Regulación de carga	$S(I) \leq 0.8\%$
Regulación de voltaje	$S(u) \leq 0.8\%$
Frecuencia de Trabajo	300KHz
Ripple en la salida	50mV (máx.) 20MHz bandwidth
Protección de corto circuito	SI (hasta 8A)
Dimensiones	43*21*13 mm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Fuente de alimentación 220 V

El Tomacorriente Universal Doble + L/T Sencia Bticino se ha empleado como punto de corriente para energizar la placa.

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP-IEC 60884-1, se establece que los tomacorrientes a utilizar deben ser de espiga redonda. Esto se debe a que en Perú el voltaje es de 220 V, lo que hace necesario el uso de enchufes y tomas de corriente redondas.

Figura 15.

Fuente de alimentación de 220 V



Tabla 10.

Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación 220V

Características	Valores
Tipo de Producto	Tomacorriente
Tipo	Universal
Material	Tecnopolímero
Amperaje	16 A
Voltaje	250 V
Altura Del Producto	8 cm
Ancho Del Producto	12 cm
Profundidad Del Producto	3.5 cm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Resistencia 4,7k ohm

Se utilizaron estas resistencias para regular el flujo de corriente, limitar la tensión y proteger los componentes del circuito.

Figura 16.*Resistencia 1/4W 4.7k Ohm***Tabla 11.***Especificaciones técnicas de la resistencia*

Características	Valores
Valor	4.7k Ohm
Potencia máxima	250 mWatt
Tolerancia	5%
Material	Carbon

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Interruptor ON/OFF Negro 2 Pines 250V/3A

Un Interruptor ON/OFF de 2 Pines es un dispositivo eléctrico que permite controlar la función de encendido y apagado desde un mando. Su operación se basa en permitir o bloquear el paso de corriente en un circuito eléctrico.

Figura 17.*Interruptor ON/OFF*

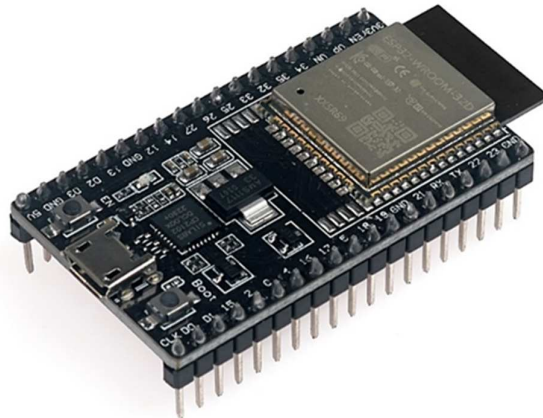
Tabla 12.*Especificaciones técnicas del interruptor*

Características	Valores
Tipo	Interruptor ON/OFF 2 Pines
Voltaje de entrada	3 A 250 VAC
Corriente de entrada	10A
Dimensiones	1.5cm*1cm*1.5 cm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

D. Microcontrolador**Arduino ESP32**

Se utilizó una tarjeta de desarrollo Arduino ESP32 para el control de la programación.

Figura 18.*ESP32-DevKitC V4 - 38-pin ESP32 WiFi micro-USB***Tabla 13.***Especificaciones técnicas placa ESP32*

Características	Valores
Voltaje de Alimentación (micro-USB)	5V DC
Voltaje de Alimentación (Vin)	4V-12V DC (5V-9V recomendado)
Voltaje de Entradas/Salidas	3.3V DC
Corriente de operación	80mA - 500mA
Wifi	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)

Bluetooth	v4.2 BR/EDR, Bluetooth Low Energy (BLE)
Memoria	448 KB ROM, 520 KB SRAM, 16 KB SRAM in RTC, 4 MB QSPI Flash/SRAM
Pines	38
Pines Digitales GPIO	24 (Algunos pines solo como entrada)
Pines PWM	16
Pines Analógicos ADC	18 (3.3V, 12bit: 4095, tipo SAR, ganancia programable)
Convertor Digital a Analógico DAC	2 (8bit)
Chip USB-Serial	CP2102
Conector USB	micro-USB
Dimensiones	55*28 mm
Peso	10.5 gramos

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica.

Cable USB-A a Micro USB-B

Se utilizó para conectar la laptop a la placa ESP32 y llevar a cabo la programación.

Figura 19.

Cable USB-A a Micro-USB 180cm



Tabla 14.*Especificaciones técnicas del cable USB*

Características	Valores
Conectores	Micro USB tipo B a USB tipo A
Longitud	180cm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

E. Otros materiales**Conectores rápidos Wago 222-413D**

Se utilizaron para conectar los cables TPG-18 AWG desde la placa ESP32 hacia los sensores de humedad, el sensor de flujo de agua, el sensor de temperatura y humedad relativa, así como la electroválvula.

Figura 20.*Wago 222-413D conector rápido***Tabla 15.***Especificaciones técnicas del conector rápido*

Características	Valores
Modelo	222-413D
Calibre de cables aceptados	12 - 28 AWG
Voltaje máximo continuo	250VAC
Voltaje máximo de impulso	4KV
Corriente máxima	32A
Material carcasa Nylon PA66	Nylon PA66
Conductor	cobre
Temperatura máxima de funcionamiento	85°C

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Cable GPT-18 AWG

Este conductor de cobre flexible de múltiples hilos y tamaño compacto se utilizó para el cableado de control y la comunicación entre la placa ESP32 con la electroválvula y los sensores.

Figura 21.

Cable GPT-18 AWG



Tabla 16.

Especificaciones técnicas del cable GTP-18

Características	Valores
Calibre	18 awg
Aislamiento	PVC
Diametro conductor	1.17 mm
Numero de alambres 16 hilos	16 hilos
Diametro exterior	2.1 mm
Tension de operacion	300 V
Amperaje aire	8 Amp
Temperatura maxima	75 °C

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Conductor calibre 14 AWG

Se utilizó el conductor de cobre calibre 14 AWG para suministrar energía al invernadero, alimentando así los componentes electrónicos.

Figura 22.*Conductor calibre 14 AWG***Tabla 17.***Especificaciones técnicas del conductor de 14 AWG*

Características	Valor
Calibre	2 x 14 AWG
Número de hilos por conductor	41
Capacidad máxima	6 AMP
Sección transversal	2,08 mm ²
Diámetro exterior aproximado	9,4 milímetros
Número de conductores	2
Tensión máxima de operación	600 V

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Mangueras

Estas mangueras flexibles de alta resistencia al impacto se han utilizado para el transporte de agua hacia el invernadero.

Figura 23.*Manguera*

Tabla 18.*Especificaciones técnicas de la manguera de 16 mm*

Características	Valores
Material	Polietileno
Diámetro	16 mm
Clase	C-4
Espesor	1.30 mm
Presión	4 bar

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Plástico solar

El plástico solar es un tipo de material que se ha utilizado como cubierta para el invernadero, diseñado para favorecer el crecimiento de los cultivos. Su función principal es filtrar la luz solar y resguardar las plantas de condiciones externas como el viento y la lluvia.

Figura 24.*Plástico solar***Tabla 19.***Especificaciones técnicas del plástico solar*

Características	Valores
Descripción	Lámina tripaca de LDPE
Color	Blanco
Protección	contra rayos UV
Espesor	200 micras
Calibre	8

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Uniones mixtas

La conexión mixta de tuberías de PVC se ha usado para unir la manguera con la electroválvula y el sensor de flujo de agua.

Figura 25.

Unión mixta



Tabla 20.

Especificaciones técnicas de la unión mixta

Características	Valores
Tipo de Producto	Unión
Material	PVC
Tipo de conexión	Presión/Enroscado
Diámetro nominal	1/2 "
Presión máxima de trabajo	145 PSI
Altura Del Producto	4.4 cm
Ancho Del Producto	3.5 cm
Profundidad Del Producto	3.5 cm

Nota: Estos datos han sido tomados de la ficha técnica

Placa de sistema de riego

Figura 26.

Diseño de la placa en KiCAD.

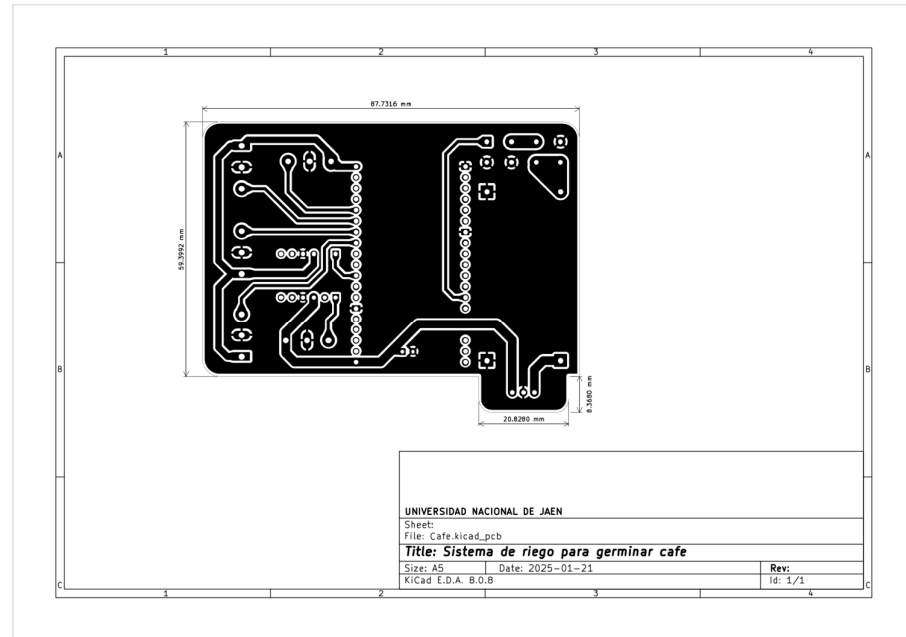
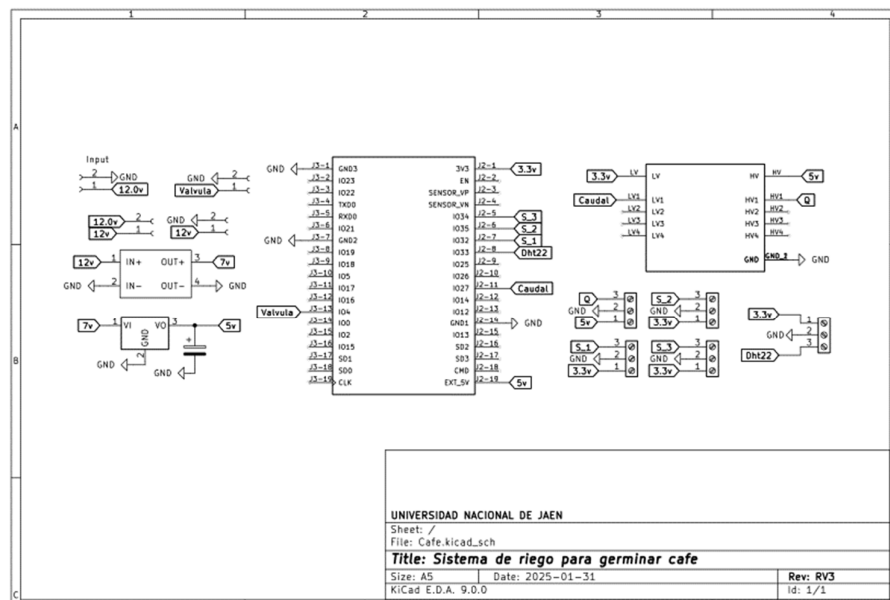


Diagrama de conexión de sistema de riego

Figura 27.

Diagrama de conexiones del sistema de riego



3.3. Implementar el diseño del sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

Se adquirieron todos los materiales según lo indicado. Posteriormente, se realizaron las conexiones de cada uno de los componentes a la placa ESP32.

3.3.1. Construcción del invernadero

La construcción del invernadero se realizó con madera, la cual fue cubierta con plástico solar. En su interior, se construyó un cajón de madera de 2x1 metros que se llenó de arena, el cual servirá como base para el crecimiento de las plántulas de café, tal como se muestra en las figuras.

Figura 28.

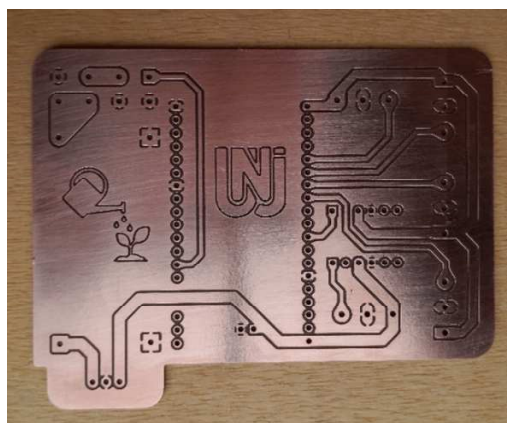
Construcción del Invernadero



3.3.2. Fabricación de la placa

Figura 29.

Placa Impresa



3.3.3. Instalación del sistema de nebulización.

- **Instalación de mangueras**

Se instaló la manguera en la parte más alta del invernadero con los nebulizadores.

Figura 30.

Instalación de las mangueras y nebulizadores

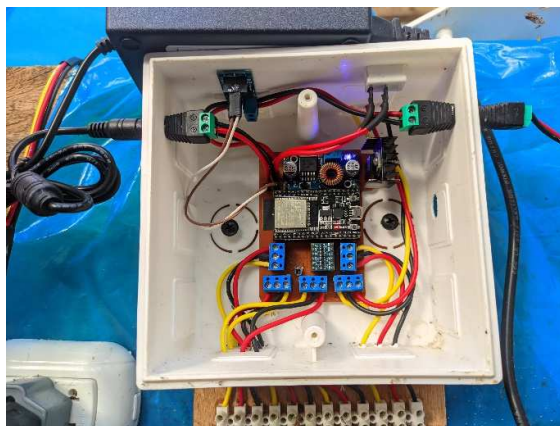


- **Sistema de control**

Se instaló en una parte del área del riego, como se muestra en la figura, para que los sensores pudieran ubicarse lo más cerca posible de la caja de plástico de 15x15 cm, minimizando así el riesgo de errores en las mediciones.

Figura 31.

Sistema de control



- **Sensores de humedad**

Según el diseño elaborado, se colocaron los sensores de manera estratégica para garantizar mediciones eficientes.

Figura 32.

Ubicación de los sensores de humedad



- **Sensor DHT22 de humedad y temperatura ambiental**

Este sensor se instaló en la parte superior central del invernadero, como se muestra en la figura, para medir la temperatura y la humedad dentro del invernadero.

Figura 33.

Ubicación del sensor DHT22



- **Válvula solenoide**

La válvula se conectó a la manguera de 1/2" que llega al invernadero, permitiendo abrir o cerrar el paso del agua dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad del suelo realizados en la programación.

Figura 34.

Conexión de la válvula solenoide



- **Sensor de flujo de agua**

Este sensor se instaló justo después de la válvula, tal como se muestra en la figura.

Figura 35.

Conexión del sensor de flujo de agua



- **Distribución de las plántulas de café**

La distribución de las semillas de café en el germinador se llevó a cabo de manera uniforme para asegurar un crecimiento homogéneo. Fue importante mantener una separación adecuada entre cada semilla para evitar la competencia por nutrientes y espacio. Después de haber distribuido todas las semillas, se cubrieron con una fina capa de arena.

Figura 36.

Distribución de las semillas de café



Figura 37.

Recubrimiento de las semillas



Figura 38.

Plántulas de café despues de 70 dias



3.3.4. Plataforma para visualizar datos en la nube.

Figura 39.

Datos de la humedad 1 del suelo



Figura 40.

Datos de humedad 2 del suelo



Figura 41.

Datos de humedad 3 del suelo

**Figura 42.**

Datos de la humedad ambiental

**Figura 43.**

Datos de temperatura ambiental

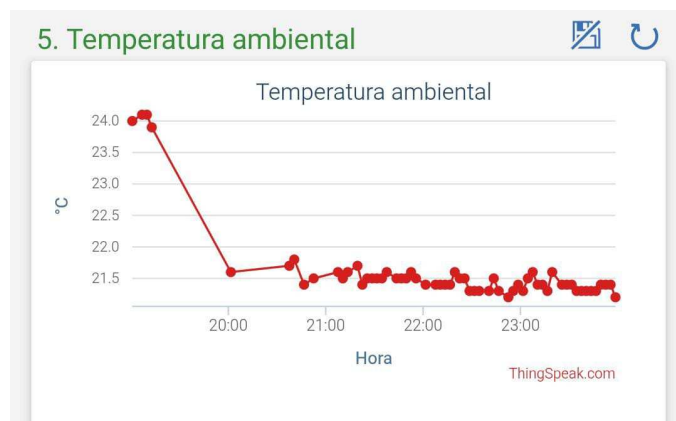


Figura 44.*Datos del caudal en litros***Figura 45.***Datos del número de ciclos de riego*

3.4. Realizar la evaluación técnica – económica de escalabilidad del proyecto.

3.4.1. Evaluación técnica

Para esta evaluación, se realizó una comparación entre el sistema de riego por nebulización con IoT y el sistema de riego convencional. Nos centramos en analizar y comparar el número de plantas que germinaron, el flujo de agua utilizado y el tiempo que requirieron los trabajadores para llevar a cabo las tareas.

Tabla 21.*Evaluación técnica*

Indicador Técnico	Riego Convencional	Riego por Nebulización con IoT	Mejora Aproximada
Tasa de nacimiento de las plántulas	80%	94%	17.50%
Consumo de agua m3	1.4	0.8	42.86%
Tiempo del trabajador total (h)	50	0	100.00%

3.4.2. Evaluación económica

El costo total para la construcción del invernadero y la implementación del sistema es de 3235.8 soles. Esta inversión incluye todos los materiales y recursos necesarios para su funcionamiento.

Gastos durante 70 días con el sistema de riego por nebulización**Energía eléctrica**

- Válvula solenoide: 8 W, funciona 2 horas/día.
- Placa ESP32: 1.65 W, funciona 24 horas/día.
- 3 sensores de humedad (total): 0.0495 W, funcionan 24 horas/día.
- Sensor de flujo: 0.075 W, funciona 2 horas/día.
- Sensor DHT22: 0.33 W, funciona 24 horas/día.

Energía diaria de cada componente al día:

- Válvula solenoide: 8 W, funciona 0.5 horas/día.

$$8W * 0.5h = 4 Wh/día$$

- Placa ESP32: 1.65 W, funciona 24 horas/día.

$$1.65W * 24h = 39.6 Wh/día$$

- 3 sensores (total): 0.0495 W, funcionan 24 horas/día.

$$0.0495W * 24h = 1.188 Wh/día$$

- Sensor de flujo: 0.075 W, funciona 0.5 horas/día.

$$0.075W * 0.5h = 0.0375 Wh/dia$$

- Sensor DHT22: 0.33 W, funciona 24 horas/día.

$$0.33W * 24h = 7.92 Wh/dia$$

Suma total de consumo de energía

$$4 + 39.6 + 1.188 + 0.0375 + 7.92 = 52.75 Wh/dia$$

Energía total en 70 días

$$52.75 \frac{Wh}{dia} * 70 dias = 3692.5 Wh = 3.69 kWh$$

Consumo total en soles según el costo por kWh

$$\frac{3.69 kWh}{0.64kWh/soles} = 5.77 soles$$

El costo del servicio de internet durante un periodo de 70 días asciende a 70 soles.

Gastos durante 70 días con el riego convencional

Gasto por el pago a personal para el riego

$$6.25 dias * 40 = 250 soles$$

Gasto por el agua utilizada para el riego

Durante el proceso de germinación de las plántulas de café, se requiere aproximadamente 1400 litros de agua, lo que equivale a un costo de 5 soles según el precio del agua en la zona.

El gasto total para la germinación es de aproximadamente de 255 soles.

Tabla 22.

Beneficios

Beneficios	Año 1
Tiempo en mano de obra para el riego	1000
Cantidad de plántulas	336
Consumo de agua	2
Total	1338

Tabla 23.*Gastos*

Egresos	Año 1
Costo de energía eléctrica	23.08
Costo de mantenimiento	50
Servicio de internet	360
Total	433.08

Tabla 24.*Flujo de caja*

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso		1338	1338	1338	1338	1338
Egreso	-3235.8	433.08	433.08	433.08	433.08	433.08
Saldo		904.92	904.92	904.92	904.92	904.92

Tabla 25.*Flujo de caja*

Inversión	Tasa de interés pasivo anual	Tiempo	Flujo anual
3235.8	3.50%	05 años	904.92

Cálculo de valor actual neto (VAN)

$$VAN = -i_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

 i_0 = inversión inicial C_n = Flujo de caja N = número total de periodos n = Año en el que se han obtenido el flujo de caja r = Tasa de interes pasivo anual

$$VAN = \frac{904.92}{1+0.035} + \frac{904.92}{(1+0.035)^2} + \frac{904.92}{(1+0.035)^3} + \frac{904.92}{(1+0.035)^4} + \frac{904.92}{(1+0.035)^5} - 3235.8$$

$$VAN = 849.96$$

Tabla 26.*Valor actual neto*

Año	Costos y Beneficios	Factor de descuento	Factor actualizado
0	-3235.8	1	-3235.8
1	904.92	0.966183575	874.3188406
2	904.92	0.9335107	844.752503
3	904.92	0.901942706	816.1859932
4	904.92	0.871442228	788.5855007
5	904.92	0.841973167	761.9183582
VAN			849.9611956

Tabla 27.*Tasa interna de retorno*

Año	Costos y beneficios	Factor actualizado	Flujo actualizado
0	-3235.8	-3235.8	-3235.8
1	904.92	807.9642857	800.8141593
2	904.92	721.3966837	708.6850967
3	904.92	644.1041819	627.1549528
4	904.92	575.0930195	555.0043831
5	904.92	513.4759103	491.1543213
		26.23408103	-52.9870868
TIR=12+(26.234/(26.234+52.987))=12.3%			

Tabla 28.*Beneficio/costo*

AÑO	Costos y beneficios	Beneficios actualizados	Costos
0	-3235.8		3235.8
1	904.92	936.5922	
2	904.92	969.372927	
3	904.92	1003.300979	
4	904.92	1038.416514	
5	904.92	1074.761092	
		5022.443712	
BCE=5022.44/3235.8=1.55			

Tabla 29.*Periodo de recupero*

Año	Costos y beneficios	Valores actualizados	Valores actualizados
0	-3235.8	-3235.8	-3235.8
1	904.92	874.3188406	874.3188406
2	904.92	844.752503	844.752503
3	904.92	816.1859932	816.1859932
4	904.92		788.5855007
5	904.92		
		-700.5426632	88.04283746
		$PRE=3+(700.54/(700.54+88.04))=3.89$	

Tabla 30.*Resumen de la evaluación económica*

Indicador	Evaluación económica
VAN	849.96
TIR	12.33%
B/C	1.55
PR	3.89

Por lo tanto, el proyecto se considera rentable, ya que el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la Tasa Interna de Retorno (TIR) supera la tasa de interés del 3.5% anual.

IV. DISCUSIÓN

Objetivo 1: Seleccionar un tipo de riego para las plántulas de café.

La selección del tipo de riego para las plántulas de café está relacionada con el enfoque de la tesis de Pinedo (2019), quien diseñó un sistema automatizado para un vivero de palma aceitera. En ambos casos, se prioriza un riego eficiente que se ajuste a las necesidades hídricas específicas de cada cultivo. Mientras que Pinedo optó por un sistema de riego por goteo, que es adecuado para su contexto, este estudio considera el riego por nebulización como una alternativa más precisa y eficiente para las plántulas de café. Ambos enfoques utilizan tecnologías que optimizan el uso del agua, lo que

subraya la importancia de seleccionar el sistema de riego en función del tipo de planta y del entorno en el que se desarrolla.

Objetivo 2: Diseñar el sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

El diseño del sistema de nebulización con Internet de las Cosas (IoT) se relaciona con el estudio de Jain (2023), quien desarrolló un sistema de riego por goteo inteligente controlado a través de aplicaciones web. Ambos proyectos comparten el objetivo de automatizar y optimizar el riego mediante el uso de sensores y plataformas digitales. Sin embargo, mientras Jain se centra en la humedad del suelo para activar el riego por goteo utilizando sensores de humedad del suelo (FC-28), un sensor DHT22, una bomba de agua, Arduino Yun y ThingSpeak, este estudio incorpora nebulizadores tipo cruz, sensores de humedad del suelo capacitivos, un sensor de temperatura y humedad, una válvula solenoide, un sensor de flujo y la plataforma ThingSpeak para visualizar y analizar las mediciones, lo que permite un mayor control en el riego.

Objetivo 3: Implementar el diseño del sistema de nebulización con Internet de las Cosas.

La implementación del diseño del sistema de nebulización con IoT está relacionada con la tesis de Guzmán (2023), quien desarrolló un invernadero inteligente para la agricultura de precisión. Ambos proyectos utilizan IoT para automatizar procesos agrícolas y optimizar las condiciones ambientales, aplicando una metodología similar para identificar los parámetros de diseño del sistema de riego automatizado. Como resultado, se logró una mejora del 17.5% en la germinación de las plántulas, un ahorro del 42.86% en el consumo de agua y un 100% en la reducción del tiempo de trabajo.

Objetivo 4: Realizar la evaluación técnica – económica de escalabilidad del proyecto.

Esta evaluación es crucial para determinar su viabilidad y rentabilidad a diferente escala. Este análisis permite identificar los costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema IoT aplicado al riego por nebulización de plántulas de café. Comparando beneficios frente al riego tradicional, como el ahorro de agua, mejora de la tasa de nacimiento y reducción de mano de obra, se puede establecer su rentabilidad.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Se determinó que el sistema de riego por nebulización es el más adecuado ya que ofrece agua en microgotas y no perjudicó a las plántulas de café. Este tipo de riego aseguró un ambiente húmedo y homogéneo, promoviendo un aumento en la tasa de crecimiento en las plántulas. Además, optimizó el uso del agua, disminuyendo tanto el consumo como los costos operativos, convirtiéndose en la opción más eficiente y sostenible para este tipo de cultivo.
2. Se concluye que el diseño del sistema de nebulización, que incorpora tecnología del Internet de las Cosas, ha facilitado la integración eficiente de los componentes necesarios para un riego automatizado. Se elaboraron los planos del invernadero y se seleccionaron materiales apropiados; además, se integró la plataforma ThingSpeak, que permitió el monitoreo y la recopilación de datos en tiempo real.
3. Se determinó que la implementación del diseño planteado fue exitosa, logrando automatizar el riego de las plántulas de café de manera eficiente y precisa. Asimismo, la combinación de sensores, el microcontrolador ESP32 y la plataforma ThingSpeak permitieron las mediciones, el control y el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales. Además, el sistema respondió adecuadamente a los parámetros establecidos, activando el riego únicamente cuando era necesario mediante una válvula, optimizando el uso del agua y favoreciendo el desarrollo de las plántulas.
4. Se concluye que la evaluación técnica y económica del proyecto demostró que el sistema de nebulización con tecnología del Internet de las Cosas es viable tanto en su operación como en su potencial expansión. Además, los costos de implementación resultaron razonables en comparación con los beneficios obtenidos, que incluyen el ahorro de agua, una mayor eficiencia en el riego y la reducción de costos laborales. Asimismo, este sistema permite su adaptación a áreas de cultivo más grandes y se evidenció que la inversión puede recuperarse en un corto período.

5.2. Recomendaciones

1. Se sugiere adoptar el sistema de riego por nebulización en los viveros de plántulas de café, particularmente en las fases iniciales de crecimiento, gracias a su habilidad para mantener una humedad constante y suave. Además, es fundamental llevar a cabo mantenimientos regulares para prevenir obstrucciones en los nebulizadores. Esta práctica favorecerá un cultivo más saludable, sostenible y rentable.
2. Se recomienda que el diseño del sistema de nebulización con tecnología del Internet de las Cosas tenga en cuenta las condiciones particulares del entorno, como el tipo de cultivo, el clima y la disponibilidad de recursos. Además, es crucial elegir cuidadosamente los componentes tecnológicos, incluyendo sensores de humedad, temperatura, flujo de agua, microcontrolador y plataforma de monitoreo, asegurando que sean compatibles e integrables. Asimismo, se recomienda llevar a cabo simulaciones previas y pruebas de campo para verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación.
3. Se sugiere realizar un seguimiento del funcionamiento del sistema a través del monitoreo continuo de los datos registrados en la plataforma ThingSpeak. Además, es recomendable capacitar al personal en el mantenimiento del sistema para asegurar su sostenibilidad a largo plazo y también se aconseja documentar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones climáticas para facilitar futuras mejoras.
4. Se sugiere considerar la expansión del sistema de nebulización con IoT a otras parcelas o áreas productoras de café, ya que la evaluación técnica y económica ha demostrado su viabilidad y rentabilidad. Por lo tanto, es fundamental establecer alianzas con organizaciones agrícolas o instituciones locales que puedan facilitar la inversión inicial necesaria para su escalamiento.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, C. (2019). *Implementación de un Sistema de Internet de las Cosas para Optimizar la Gestión del Agua en la Agricultura de la Región Tacna, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/804>
- Andrade, C. (2018). *Evaluación de diferentes tipos de riego en cultivos de agrícolas*. [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio ULEAN <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/ULEAM-AGRO-0029.pdf>
- Astudillo, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para el cultivo de lechuga hidropónico* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UTP <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/804>
- Cervantes, W. (2016). *Diseño e implementación de sistema de riego automatizado y controlado por una placa Arduino para la finca La Lucia* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Digital ESPAM <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/301/1/TC90.pdf>
- Cohen, C., Burbano, A., Salgado, R. y Merlano, R. (2020). Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas. *Información Tecnológica*, 21(5), 79–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000500079>
- Environment, G. (2015). *Hidroponía*. <http://hidroponia.mx/tecnologia-agricola-que-es-el-riego-por-nebulizacion/>
- Franco, V. (2018). *Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis-191%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20563.pdf>
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. y Rama, C. (2018). Un sistema de gestión de riego inteligente basado en IoT que utiliza aprendizaje automático y tecnologías de código abierto.

- Computers and Electronics in Agriculture, 155, 41–49.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>
- Guzman, A. (2023). *Diseño y construcción de un prototipo de invernadero para agricultura de precisión a través de IOT*. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio UISEK <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4997>
- Heredia, B. (2011). *Guía técnica para el cultivo de café*. <https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- Jain, R. (2023). Rendimiento experimental de un sistema de riego por goteo inteligente habilitado para IoT que se utiliza y controla mediante aplicaciones basadas en web. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100215.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100215>
- Kasten, R., Landis, T., & Wilkinson, K. (2012). *Producción de plantas en viveros forestales*. https://www.researchgate.net/publication/272790574_Riego_y_fertirriego
- Larico, E. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control y automatizado para la etapa de germinación y acondicionamiento de lechugas hidropónicas de la Empresa Fagsol SAC monitoreado a tiempo real*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11246>
- Naandanjain. (s/f). Microaspersores.
https://www.turiego.es/media/fichas_tecnicas/naandanjain/Catalogo_Microaspersores_y_nebulizadores_NAANDANJAIN.pdf?srsltid=AfmBOopbUgQFuWgM0VS--_kxLMMrW-0FrXy82AmkWN2-IAFZWqzLBhus
- Narvaez, J., y Gutierrez, W. (2022). *Sistema de Internet de las Cosas para Mejorar el Proceso de Riego en la Comunidad de Matará*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Perú]. Repositorio Autónoma. Lima. <https://purl.org/pe-repo/renati/type#tesis>
- Naylamp Mechatronics. (s/f). Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/538-sensor-de-humedad-de-suelo-capacitivo-v1.html>

- Obaideen, K., Yousef, B., AlMallahi, M., Tan, Y., Mahmoud, M., Jaber, H. y Ramadan, M. (2022). Descripción general de los sistemas de riego inteligentes de IoT. *Energy Nexus*, 7, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>
- Okasha, A., Ibrahim, H., Elmetwalli, A., Khedher, K., Yaseen, Z. y Elsayed, S. (2021). Diseño de un sensor capacitivo de humedad del suelo de bajo coste y una unidad de monitorización inteligente operada por células solares para la gestión del riego en invernaderos. *Sensors* , 21 (16), 5387. <https://doi.org/10.3390/s21165387>
- Pinedo, D. (2019). *Diseño de un sistema de riego automatizado para un vivero de palma aceitera en el Distrito de Neshuya-Región Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio UAP <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/3593>
- Torijano, S (2022), *Informe semillero*.
<https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a9d4b38-22b1-4976-a066-dd0ee4a822be/content>

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por brindarme la salud, sabiduría y fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan importante en mi formación profesional.

A mis padres y familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el pilar fundamental que me motivó a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Expreso mi sincero agradecimiento a mis asesores de tesis, por su valiosa orientación, compromiso y disposición durante el desarrollo del presente trabajo. Su experiencia y acompañamiento han sido clave para alcanzar los objetivos planteados.

A mis docentes y a la Universidad Nacional de Jaén, por brindarme los conocimientos, recursos y valores que me han permitido crecer tanto profesional como personalmente.

Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta tesis. A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y familia, por su apoyo incondicional y amor constante. A mis docentes, por su guía durante mi formación. Y a Dios, por darme la fuerza para seguir adelante.

Bairon Elean Jimenez Lopez

Dedico esta tesis con profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este camino. Agradezco también a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental y mi mayor fuente de inspiración. Su fe en mí ha sido inquebrantable, y su ejemplo de superación, humildad y sacrificio ha sido un faro que me ha iluminado en los momentos más difíciles. Me han enseñado a valorar todo lo que tengo y a apreciar la importancia de la perseverancia y el esfuerzo.

A mis seres queridos, les dedico este logro con todo mi corazón, porque han sido ellos quienes han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida. Su apoyo incondicional y su amor han sido fundamentales para alcanzar este objetivo. Espero poder contar siempre con su valioso apoyo y su confianza en mí.

Deywin Jhony Tineo Medina

ANEXOS

Anexo 1.

Presupuesto para la investigación

PRESUPUESTO				
Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
COSTOS LOGISTICOS DE OPERACIÓN				
Traslado de materiales al lugar de trabajo	Global			20
EQUIPOS Y BIENES DURADEROS				
Laptop Hp	Equipo	1	2100	2100
Capacitación en la plataforma Arduino	Unidad	1	100	100
PASAJES Y VIÁTICOS				
Pasaje al campo de investigación	Global	2	100	200
Viaticos	Global	2	50	100
MATERIALES				
ESP32	Unidad	1	55	55
DHT22	Unidad	1	25	25
Sensor de humedad	Unidad	3	15	45
Válvula solenoide	Unidad	1	25	25
sensor de flujo de agua	Unidad	1	20	20
Nebulizador	Unidad	2	25	50
Fuente de alimentación 12 V 5A	Unidad	1	30	30
Convertidor de voltaje	Unidad	1	15	15
Driver Mosfet	Unidad	2	4	8
Conversor de nivel logico	Unidad	1	10	10
Conector rápido	Unidad	4	4	16
Cable USB-A a micro-USB	Unidad	1	10	10
Resistencia	Unidad	8	0.1	0.8
Cable GPT-18 AWG	Metros	30	1.3	39
Conductor calibre 14 awg	Metros	15	6	90
Manguera 1/2"	Rollo	1	40	40
Manguera 16 mm	Metros	3	1	3
Plástico solar	Metros	13	11	143
Uniones mixtas	Unidad	2	1	2
Tomacorriente	Unidad	1	2	2
Interruptor ON/OFF	Unidad	1	2	2
Caja de paso	Unidad	1	25	25
Arena	m3	0.3	200	60
TOTAL				3235.8

Anexo 2.

Código de la programación en la plataforma Arduino

```
#include <WiFi.h> // Biblioteca para conexión WiFi
#include "secrets.h"
#include "ThingSpeak.h"
#include "DHT.h"
#define valvula 4
#define DHTPIN 33 // Pin GPIO al que está conectado el sensor
DHT22
#define DHTTYPE DHT22 // Tipo de sensor: DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicializar el sensor

float S1 = 0.0, S2 = 0.0, S3 = 0.0, Ha = 0.0, Ta = 0.0, Qu = 0.0;
int Nq = 0;

float S1_nube = 0.0, S2_nube = 0.0, S3_nube = 0.0, Ha_nube = 0.0, Ta_nube =
0.0, Qu_nube = 0.0;
int Nq_nube = 0;

// Credenciales WiFi y detalles del canal desde secrets.h
char ssid[] = SECRET_SSID; // Nombre de tu red WiFi
char pass[] = SECRET_PASS; // Contraseña de tu red WiFi
WiFiClient client; // WiFiClient para HTTP

unsigned long myChannelNumber = SECRET_CH_ID;
const char *myWriteAPIKey = SECRET_WRITE_APIKEY;
// variables para sensor de caudal
const byte SENSOR_PIN = 27;
const float K = 7.5;
const unsigned long STOP_THRESHOLD = 2000;
volatile unsigned long contadorPulsos = 0;
volatile unsigned long ultimoPulso = 0;
bool midiendo = false;
void IRAM_ATTR contarPulso() {
    contadorPulsos++;
    ultimoPulso = millis();
}
// variables globales de tiempo
unsigned long Prev = 0;
unsigned long PreviousDht = 0;
const long interval = 1000;
unsigned long second = 0, minutes = 0;
bool activ = true;
void TaskTiempo(void *pvParameters);

// variables globales para los sensores de humedad de tierra
const int sensorPins[] = { 34, 35, 32 };
const int numSensors = 3;
const int bufferSize = 21;
const float alpha = 0.3;
struct SensorData { // Estructura para almacenar datos de cada sensor
    int readings[bufferSize];
    int readIndex = 0;
    float smoothedValue = 0;
};
```

```

SensorData sensors[numSensors];           // Variables para cada
sensor
const int dryValues[] = { 2678, 2655, 2688 }; // seco
const int wetValues[] = { 1006, 1059, 1011 }; // humedo
float sensorMoisture[numSensors] = { 0 };   // Variables para almacenar
los valores procesados
QueueHandle_t sensorQueue;                 // Definir cola de FreeRTOS
para enviar datos al núcleo 0

int compareInt(const void *a, const void *b) { // Función de comparación
para qsort
    return (*(int *)a - *(int *)b);
}
void processSensorTask(void *parameter) { // Función de procesamiento
ejecutada en núcleo 0
    int sensorIndex;
    for (;;) {
        if (xQueueReceive(sensorQueue, &sensorIndex, portMAX_DELAY) == pdTRUE)
        {
            int rawValue = analogRead(sensorPins[sensorIndex]);
            SensorData *sensor = &sensors[sensorIndex];

            sensor->readings[sensor->readIndex] = rawValue;
            sensor->readIndex = (sensor->readIndex + 1) % bufferSize;

            int temp[bufferSize];
            std::copy(std::begin(sensor->readings), std::end(sensor->readings),
temp);
            qsort(temp, bufferSize, sizeof(int), compareInt);
            int median = temp[bufferSize / 2];

            sensor->smoothedValue = alpha * median + (1 - alpha) * sensor-
>smoothedValue;
            float moisture = 100.0 * (dryValues[sensorIndex] - sensor-
>smoothedValue) / (dryValues[sensorIndex] - wetValues[sensorIndex]);
            sensorMoisture[sensorIndex] = constrain(moisture, 0.0, 100.0);
        }
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();
    pinMode(SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(valvula, OUTPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_PIN), contarPulso, RISING);

    sensorQueue = xQueueCreate(10, sizeof(int));
    for (int s = 0; s < numSensors; s++) {
        for (int i = 0; i < bufferSize; i++) {
            sensors[s].readings[i] = analogRead(sensorPins[s]);
            delay(10);
        }
        sensors[s].smoothedValue = analogRead(sensorPins[s]);
    }
    xTaskCreatePinnedToCore(processSensorTask, "ProcessSensor", 4096, NULL,
1, NULL, 0); // Tarea para el sensor de humedad

```

```

    xTaskCreatePinnedToCore(TaskTiempo, "TaskTiempo", 1000, NULL, 2, NULL,
0);          // Tarea para llevar la cuenta del tiempo

    // Conexión WiFi
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, pass);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.print(".");
        delay(1000);
    }
    Serial.println("\nConexión WiFi establecida.");

    ThingSpeak.begin(client);
}

void loop() {
    Humedad_Tierra();
    caudal();
    dht_22();

    S1_nube = S1;
    S2_nube = S2;
    S3_nube = S3;
    Ha_nube = Ha;
    Ta_nube = Ta;
    Qu_nube = Qu;
    Nq_nube = Nq;

    float Humedad_total = (S1 + S2 + S3) / 3;
    if (Humedad_total < 70 && Ta < 25) {
        digitalWrite(valvula, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(valvula, LOW);
    }

    if (minutes % 3 == 0 && activ) {
        nube();
        activ = false;
    } else if (minutes % 3 != 0) {
        activ = true;
    }

    Imprimir();
}

void nube() {
    //Verifica y reconecta si es necesario
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            WiFi.begin(ssid, pass);
            delay(5000);
            Serial.println("conectando...");
        }
    }

    ThingSpeak.setField(1, S1_nube);

```

```

ThingSpeak.setField(2, S2_nube);
ThingSpeak.setField(3, S3_nube);
ThingSpeak.setField(4, Ha_nube);
ThingSpeak.setField(5, Ta_nube);
ThingSpeak.setField(6, Qu_nube);
ThingSpeak.setField(7, Nq_nube);

int responseCode = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber,
myWriteAPIKey);
if (responseCode == 200) {
    Serial.println("Datos subidos a la nube");
} else {
    Serial.println("Error al actualizar el canal. Código HTTP: " +
String(responseCode));
}
}

void TaskTiempo(void *pvParameters) {
    while (true) {
        unsigned long currentMillis = millis();
        if (currentMillis - Prev >= interval) {
            Prev = currentMillis;
            second++;
            if (second == 60) {
                second = 0;
                minutes++;
            }
        }
        vTaskDelay(1);
    }
}

void Humedad_Tierra() {
    unsigned long period = 100;
    static unsigned long previousMillis = 0;
    if ((millis() - previousMillis) > period) {

        // -----
        for (int s = 0; s < numSensors; s++) {
            xQueueSend(sensorQueue, &s, portMAX_DELAY);
        }
        for (int s = 0; s < numSensors; s++) {
            S1 = sensorMoisture[0];
            S2 = sensorMoisture[1];
            S3 = sensorMoisture[2];
        }
        // -----

        previousMillis += period;
    }
}

void caudal() {
    if (midiendo) {
        if (millis() - ultimoPulso > STOP_THRESHOLD) {
            unsigned long pulsos;
            noInterrupts();
            pulsos = contadorPulsos;
            contadorPulsos = 0;
            interrupts();
        }
    }
}

```

```

        Qu = pulsos / K;
        midiendo = false;
    }
} else {
    noInterrupts();
    unsigned long pulsosActuales = contadorPulsos;
    interrupts();

    if (pulsosActuales > 0) {
        Nq++; // Incrementamos el contador aquí
        midiendo = true;
    }
}
}

void dht_22() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - PreviusDht >= 3000) {
        PreviusDht = currentMillis;

        // Leer temperatura y humedad del sensor
        Ta = dht.readTemperature(); // Temperatura en °C
        Ha = dht.readHumidity();     // Humedad relativa %

        // Verificar errores en las lecturas
        if (isnan(Ta) || isnan(Ha)) {
            Serial.println("Error al leer el sensor DHT22. Reintentando...");
            return;
        }
    }
}

void Imprimir() {
    unsigned long period = 5000;
    static unsigned long previousMillis = 0;
    if ((millis() - previousMillis) > period) {
        // -----
        Serial.print(S1);
        Serial.print("% ");
        Serial.print(S2);
        Serial.print("% ");
        Serial.print(S3);
        Serial.print("% ");
        Serial.print("% ");
        Serial.println("");

        Serial.print("ciclo_: ");
        Serial.print(Nq);
        Serial.println(" ");
        Serial.print(Qu, 3);
        Serial.println(" litros\n");

        Serial.print("Temperatura: ");
        Serial.print(Ta);
        Serial.println(" °C");
        Serial.print("Humedad: ");
        Serial.print(Ha);
        Serial.println(" %");
        // -----
    }
}

```

```

    previousMillis += period;
  }
}

```

Anexo 3.

Ficha técnica del nebulizador


ORBES AGRICOLA
 Comprometido con la prosperidad del agro peruano

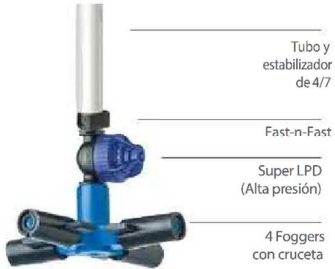
SISTEMA DE PROPAGACIÓN

FOGGER (modelo en cruz)

- Para los casos que requieran tamaños de gotitas extrafinas (90µ) y mayores espaciamientos.
- Variedad de volúmenes de flujo para diferentes niveles de precipitación

SISTEMA FOGGER

- Presión recomendada: 4.0 bar
- Múltiples volúmenes de flujo: 7.0 (estándar), 14, 21 y 28 l/hr (para distintos niveles de precipitación)
- Filtración - 120 mesh/130 µ
- Altura mínima de instalación: 1.0 m
- Máximo espaciamiento entre unidades sobre el lateral: 1.2 m
- Máximo espaciamiento entre laterales: 1.2 m
- Distancia máxima del lateral hasta los bordes del banco: 0.2 m



Tubo y estabilizador de 4/7

Fast-n-Fast

Super LPD (Alta presión)

4 Foggers con cruceta

Color de boquilla	Presión (bar)	Caudal (l/h)
Azul	4.0	28
Naranja	4.0	56
Rojo	4.0	84
Negro	4.0	112



Fogger Accesorios

Codo 45°



Tapón

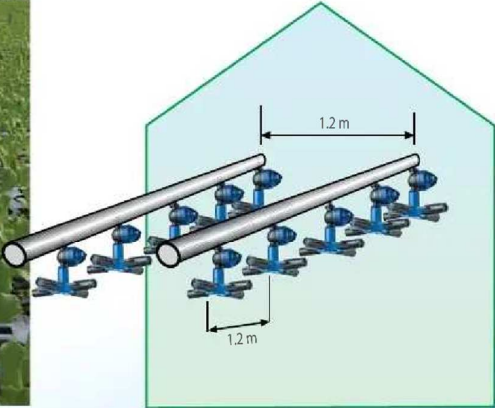


T



Cruceta

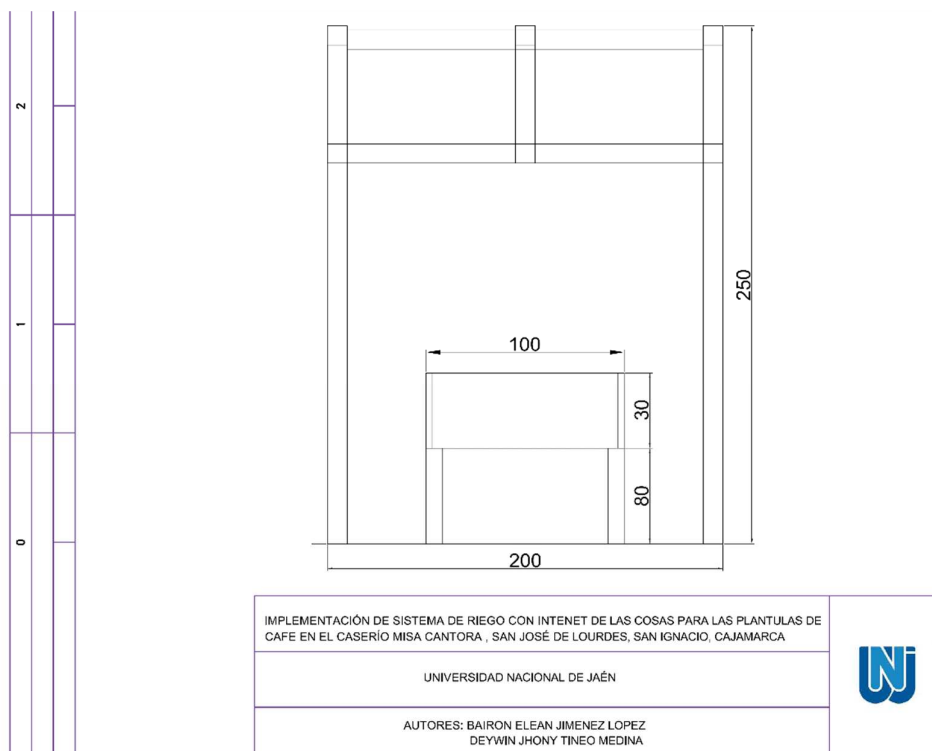




Av. Los Cipreses N° 140 Sta. Anita – Lima (C. Central / Vía Evitamiento - Costado Mall Plaza Santa Anita)
 Telf.: 362-2343 / 362-3392 / 362-5057 - Móvil: 9999-84708 RPM: #801515 / #864287
www.orbesagricolasac.com - ventas@orbesagricolasac.com

Anexo 6.

Vista lateral del invernadero



Jaén, 08 de octubre de 2023

Sr. Jimenez Vicente Armando
Propietario de la parcela

Asunto: Solicitud de Uso de Área para Estudio de Investigación

Esperando que se encuentre bien. Los bachilleres de la Universidad Nacional de Jaén, Jimenez Lopez Bairon Elean identificado con DNI 76155277 y Tineo Medina Deywin Jhony identificado con DNI 72660453, ante usted respetuosamente nos dirigimos y exponemos:

Con el fin de solicitar su amable colaboración para obtener acceso a un área de su parcela ubicada en el caserío de Misa cantora, distrito San José de Lourdes, provincia San Ignacio, de aproximadamente 20 metros cuadrados para llevar a cabo un estudio de investigación relacionado con la implementación de sistema de riego para un germinador. Consideramos que el área mencionada sería ideal para llevar a cabo nuestras actividades de investigación debido al clima y al acceso de recursos como el agua. Además, nos comprometemos a utilizar el espacio de manera responsable y a seguir cualquier reglamento o requerimiento que pueda tener con respecto al uso de las instalaciones.

Sin otro particular me despido ante Ud. agradeciendo su pronta respuesta.

Saludos cordiales.



Jimenez Lopez Bairon Elean

76155277



Tineo Medina Deywin Jhony

72660453

San Ignacio, 10 de octubre de 2023

Jimenez Lopez Bairon Elean
Tineo Medina Deywin Jhony
Solicitantes

Asunto: Respuesta a la Solicitud para el Uso de Área para Estudio de Investigación

Sr. Jimenez Vicente Armando, identificado con DNI 27665126, domiciliado en el caserío Misa cantora, distrito San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, Cajamarca, ante usted respetuosamente me dirijo y expongo:

Espero que se encuentren bien. He recibido su solicitud para utilizar un área de 20 metros cuadrados en mi parcela localizada en el caserío Misa Cantora, con el propósito de llevar a cabo su estudio de investigación relacionado con la implementación de sistema de riego para un germinador. Estoy complacido de informarles que su solicitud ha sido aceptada. Les agradezco su compromiso de utilizar el espacio de manera responsable y de seguir cualquier reglamento o requerimiento relevante para su investigación, estoy seguro de que su proyecto contribuirá al conocimiento en su campo y estoy encantado de apoyar esta iniciativa.

Sin otro particular me despido ante Uds.

Saludos cordiales.

Atentamente.



Jimenez Vicente Armando

27665126