

Desarrollo de un prototipo de sistema de riego automatizado para un cultivo de fresa.

Beatriz Lorena Duarte Burgos

Asesor

Ing. Iván Camilo Nieto Sánchez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Ingeniería de Telecomunicaciones

2024

Agradecimientos

Quiero dedicar un sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible este proyecto:

A mi director de proyecto, Iván Camilo Nieto Sánchez, cuya orientación experta, apoyo y asesoramiento constante fueron fundamentales en cada etapa de este trabajo. Al Semillero de Investigación en Instrumentación y Teleinformática de la Universidad, por su valiosa colaboración y recursos que enriquecieron este proyecto. Al propietario del cultivo en Subachoque, Cundinamarca, Fabián Andrés Atara, por su colaboración al permitirnos acceder a su terreno y compartir su experiencia, lo cual fue esencial para nuestra investigación.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante. Su respaldo ha sido mi mayor fortaleza. Y a todos los demás docentes, familiares y amigos que brindaron su ayuda y aliento en este camino. Su contribución ha sido invaluable y ha dejado una huella indeleble en este proyecto.

¡Mi más sincero agradecimiento a todos!

Resumen

El presente proyecto se centra en el diseño, implementación y evaluación de un prototipo sistema de riego automatizado para un cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, con el propósito de mejorar la eficiencia en el uso del agua, reducir enfermedades y aumentar la productividad agrícola. El proyecto se fundamenta en la necesidad de automatizar procesos agrícolas, como el riego, para abordar problemas asociados con el manejo manual, como inundaciones y enfermedades en las plantas de fresa. Se emplean herramientas tecnológicas como la telemetría y el Internet de las cosas para desarrollar un prototipo de sistema de riego automatizado que identifique condiciones ambientales y de terreno y establezca un riego adecuado para el cultivo.

El enfoque metodológico del proyecto es cuantitativo, con un diseño de estudio experimental que permite la recopilación y análisis estadístico de datos para establecer relaciones causales y efectos. El sistema de riego automatizado se diseña cuidadosamente, seleccionando componentes como el NodeMCU, sensores de humedad del suelo y ambiental, válvulas solenoides y módem WiFi. Se establecen conexiones con la plataforma ThingSpeak para el monitoreo remoto de datos y se desarrolla un algoritmo de funcionamiento que controla el riego en función de la humedad del suelo.

La implementación del sistema sigue un enfoque paso a paso que evalúa el impacto del sistema de riego automatizado, demostrando su eficacia en mantener niveles óptimos de humedad del suelo y mejorar las condiciones de crecimiento de las plantas de fresa.

Palabras clave: NodeMCU, Automatización, telemetría, sensores, monitoreo.

Abstract

The present project focuses on the design, implementation, and evaluation of a prototype automated irrigation system for a strawberry crop in Subachoque, Cundinamarca, with the aim of improving water use efficiency, reducing diseases, and increasing agricultural productivity. The project is based on the need to automate agricultural processes, such as irrigation, to address problems associated with manual management, such as flooding and diseases in strawberry plants. Technological tools such as telemetry and the Internet of Things are used to develop a prototype of an automated irrigation system that identifies environmental and terrain conditions and establishes appropriate irrigation for the crop.

The methodological approach of the project is quantitative, with an experimental study design that allows for the collection and statistical analysis of data to establish causal relationships and effects. The automated irrigation system is carefully designed, selecting components such as the NodeMCU, soil and environmental humidity sensors, solenoid valves, and Wi-Fi modem. Connections are established with the ThingSpeak platform for remote data monitoring, and an operating algorithm is developed to control irrigation based on soil moisture.

The implementation of the system follows a step-by-step approach that evaluates the impact of the automated irrigation system, demonstrating its effectiveness in maintaining optimal soil moisture levels and improving the growth conditions of strawberry plants.

Keywords: NodeMCU, Automation, telemetry, sensors, monitoring.

Tabla de Contenido

Concepción del Problema.....	11
Planteamiento del Problema	11
Justificación.....	13
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos	16
Estructuración del diseño metodológico.....	17
Marco Conceptual.....	17
Marco Teórico	20
Estado del arte – Automatización Agrícola	26
Enfoque y Diseño del Proyecto	32
Desarrollo de la Solución.....	33
Sistema de Riego del Cultivo de Fresa	33
Características Vigentes del Cultivo, Riego y Problemas Identificados	33
Establecimiento de Rangos Óptimos y Parámetros de Control.....	43
Definición de Variables a Medir y Controlar.....	43
Diseño de Los Rangos y Parámetros de Control para el Sistema de Riego Automatizado.....	44
Diseño del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado.....	45
Requisitos Técnicos y Selección de Tecnologías de Hardware y Software	45
Diseño Conceptual del Sistema de Riego Automatizado para Cultivo de Fresas	49

Diseño del Esquema de Conexiones del Sistema.....	51
Esquemático de las Conexiones del Sistema	53
Implementación del prototipo de Sistema de Riego y Pruebas Iniciales.....	54
Ensamblaje del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado	54
Configuración de Sistema de Recopilación y Almacenamiento de Datos	57
Algoritmos Requeridos para el Prototipo de Sistema de Riego Automatizado.....	63
Evaluación del Impacto del Sistema de Riego Automatizado.....	71
Componentes Construidos	71
Análisis de los Datos Recopilados.....	72
Comparación y Evaluación de Resultados con Métricas Establecidas en los objetivos.....	81
Propuesta de Plan de Mejoras del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado.....	84
Conclusiones.....	87
Referencias	89

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Muestra de datos para el análisis</i>	76
---	----

Tabla de Figuras

Figura 1 <i>Cultivo de Fresa Subachoque – Vista desde Google Earth y Vista Fotográfica.....</i>	34
Figura 2 <i>Curvas de Nivel – Perfil de Elevación.....</i>	35
Figura 3 <i>Pozo de Agua para Riego.....</i>	36
Figura 4 <i>Sistema de Extracción del Agua.....</i>	36
Figura 5 <i>Filtro.....</i>	37
Figura 6 <i>Tanque de Almacenamiento de Agua.....</i>	37
Figura 7 <i>Contador de Agua y Tubería de Distribución.....</i>	38
Figura 8 <i>Distribución de la Tubería.....</i>	39
Figura 9 <i>Registro de Distribución hídrica.....</i>	39
Figura 10 <i>Encharcamiento en el Cultivo.....</i>	41
Figura 11 <i>Exceso de Humedad en el Cultivo.....</i>	41
Figura 12 <i>Esquemático de las Conexiones del Sistema. - Fritzing.....</i>	53
Figura 13 <i>NodeMCU Conectado.....</i>	54
Figura 14 <i>Conexión DHT11 - NodeMCU.....</i>	55
Figura 15 <i>Conexión FC-28 - NodeMCU.....</i>	55
Figura 16 <i>Conexión Mod. Relé - NodeMCU.....</i>	56
Figura 17 <i>Conexión Válvula - relé.....</i>	56
Figura 18 <i>Conexión Eléctrica Válvula - relé.....</i>	57
Figura 19 <i>Canal ThingSpeak.....</i>	58
Figura 20 <i>Campos de Variables - ThingSpeak.....</i>	59
Figura 21 <i>Write API Key del Canal - ThingSpeak.....</i>	60
Figura 22 <i>Matlab Analysis de ThingSpeak.....</i>	61

Figura 23 <i>TimeControl de ThingSpeak</i>	61
Figura 24 <i>Código Matlab Analysis para Envío de Alertas</i>	62
Figura 25 <i>Diagrama de Flujo del Sistema</i>	63
Figura 26 <i>Bibliotecas</i>	64
Figura 27 <i>Definiciones y Constantes</i>	64
Figura 28 <i>Conexiones</i>	64
Figura 29 <i>Inicialización de Sensores</i>	65
Figura 30 <i>Configuración Inicial</i>	65
Figura 31 <i>Lectura de Variables del Sensor DHT11</i>	66
Figura 32 <i>Lectura de variable del Sensor FC-28</i>	66
Figura 33 <i>Condiciones de Activación/Desactivación del Riego</i>	67
Figura 34 <i>Envío de Datos a ThingSpeak</i>	68
Figura 35 <i>Creación de URL y Especificación de Campos de Envío de Datos</i>	68
Figura 36 <i>Solicitud HTTP GET al Servidor de ThingSpeak</i>	69
Figura 37 <i>Monitor Serie</i>	70
Figura 38 <i>Sistema de Riego</i>	71
Figura 39 <i>Vista Superior del Sistema de Riego</i>	72
Figura 40 <i>Planta de prueba sistema de riego</i>	72
Figura 41 <i>Dato inicial muestra</i>	74
Figura 42 <i>Dato final muestra</i>	75
Figura 43 <i>Análisis humedad de suelo</i>	77
Figura 44 <i>Análisis temperatura humedad</i>	78
Figura 45 <i>Análisis humedad ambiental</i>	79
Figura 46 <i>Análisis estado del riego</i>	80

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Código construido para el funcionamiento del sistema</i>	95
Apéndice B <i>Data de información de variables recopilada entre el 2024-02-07T18:28:52-05:00 y el 2024-02-21T09:47:21-05:00 – 912 Datos</i>	95

Concepción del Problema

Planteamiento del Problema

La agricultura desempeña un papel crucial en Colombia y tiene una gran importancia tanto económica como socialmente, ya que garantiza la seguridad alimentaria del país, siendo uno de los sectores principales generadores de empleo especialmente en las zonas rurales aportando significativamente al producto interno bruto de Colombia, según el Banco Mundial, entre los años 2011 y 2015, la contribución de la agricultura colombiana al Producto Interno Bruto (PIB) se situó en el 6.3% (Gaitán, 2016). Uno de los cultivos más influyentes en algunas zonas del país es el cultivo de fresa, fruta que es altamente apreciada y demandada en el mercado interno colombiano, de igual manera, Colombia es un importante exportador de fresas y productos derivados lo cual ha permitido que se posea como el tercer país latinoamericano con mayor extensión de tierras destinadas al cultivo de frutas destacando la fresa y el mango (Linares, 2021).

El cultivo y producción de fresa implica el uso de buenas prácticas y conocimientos agrícolas avanzados, requiere técnicas de manejo especializadas, como la selección de variedades adecuadas, el control de enfermedades y plagas, y la implementación de sistemas de riego y fertilización eficientes, sin embargo, la adopción de estas prácticas en su mayoría no es la adecuada por distintos limitantes como clima, recursos, adaptabilidad (Corponor, 2018). Por ello, en este proyecto se abordó puntualmente la situación con respecto al manejo que se le da al riego de un cultivo de fresa ubicado en la zona rural de la región de Subachoque Cundinamarca, actualmente se realiza manualmente el proceso de irrigación y presenta algunas falencias en el sistema de riego, lo que ha ocasionado el uso desmedido del agua, ya que se identificaron a través de observaciones directas encharcamientos en el terreno, recurso hídrico de gran

importancia, con ello, a raíz de que el terreno cuenta con una superficie irregular que ocasiona inundaciones y por ende mayor humedad de la que la planta de fresa requiere, este exceso de humedad puede generar enfermedades como Botritis, Antracnosis y Fusarium en la planta de fresa, lo anterior va ligado también a las condiciones climáticas.

Estas enfermedades tienen diversas consecuencias negativas para el cultivo de fresa. La Botritis, por ejemplo, es una enfermedad fúngica que afecta los frutos y las flores de la planta. Provoca la pudrición y el deterioro de las fresas, disminuyendo su calidad y rendimiento. La Antracnosis, otra enfermedad fúngica, causa manchas necróticas en los frutos y puede propagarse a través de las semillas, afectando la viabilidad de las futuras plantas. Por su parte, el Fusarium es un hongo que ataca las raíces y los tejidos vasculares de la planta, provocando marchitez y disminución del crecimiento. (Tesfaendrias, 2022). Estas enfermedades comprometen la productividad y rentabilidad del cultivo de fresa, generando pérdidas económicas significativas para los agricultores. A partir de lo anterior, se da origen a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo controlar la humedad de suelo en un cultivo de fresas haciendo uso de un prototipo de sistema de riego automatizado que minimice las condiciones que dan origen a enfermedades en la planta?

Justificación

La agricultura desempeña un papel fundamental en Colombia, tanto en términos económicos como sociales, y el cultivo de fresa es especialmente relevante debido a su alta demanda en el mercado interno y a la posición de Colombia como uno de los principales exportadores de esta fruta en América Latina. según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de fresas alcanzó aproximadamente 4,8 millones de toneladas en 2021, los principales países productores de fresas a nivel mundial son China, Estados Unidos, México, Egipto y Turquía, así mismo, según datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, la producción de fresas en el país ha mostrado un crecimiento constante, en los últimos 5 años la producción de fresa en Colombia aumentó en un 90% con siembras de alta calidad y se tiene una estimación de áreas de 348 hectáreas cosechadas anualmente en promedio, en 2019, Colombia produjo alrededor de 30.800 toneladas de fresas, entre los departamentos con mayor siembra de fresa se encuentran Cundinamarca, Antioquia, Cauca, Norte de Santander y Boyacá, es importante destacar que esta producción se concentra principalmente en las regiones de Subachoque, Tabio y La Calera, en el departamento de Cundinamarca, este representa el 65,5% del total de la producción anual en términos de volumen. (Linares, 2021).

El cultivo de fresa en Colombia es un importante generador de empleo, especialmente en las zonas rurales del país, de acuerdo con cifras de MinAgricultura, “el cultivo de Fresa genera en promedio 7.300 empleos directos anuales” (Parra Pamplona, 2018). La producción de fresas requiere mano de obra intensiva en diversas etapas, como la preparación del suelo, la siembra, el cuidado de las plantas, la cosecha y el empaque. La producción y comercialización de fresas y productos derivados tienen un impacto significativo en el Producto Interno Bruto (PIB) ya que

este cultivo ha sido reconocido como uno de los sectores principales generadores de ingresos y contribuyentes al PIB del país, según cifras del Ministerio de Agricultura, se estima una producción de 65 toneladas por hectárea generando ingresos al productor de alrededor de 130 millones de pesos, de lo cual se obtendría una utilidad de 50 millones de pesos.

Así mismo, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 (PND 2022-2026) “Colombia, potencia mundial de la vida” en el cual se aborda, entre otros el tema del "Derecho humano a la alimentación" en Colombia, se presentan ideas clave sobre la situación actual del país en cuanto a seguridad alimentaria, productividad agropecuaria, acceso a alimentos, calidad e inocuidad de estos, y su impacto en la nutrición y la salud de la población; se menciona que Colombia enfrenta altos niveles de inseguridad alimentaria y depende significativamente de importaciones de insumos agropecuarios, es por ello, que el gobierno nacional define la importancia de la integración de la ciencia y tecnología en el agro ya que la productividad agropecuaria es deficiente, lo que resulta en una disponibilidad insuficiente de alimentos, ve fundamental invertir en la planificación agropecuaria y garantizar la provisión de recursos productivos promoviendo la aplicación de avances científicos y tecnológicos para mejorar la productividad de los agricultores, considerando las particularidades de cada región, se destaca la importancia de adoptar buenas prácticas de producción agropecuaria, lo que incluiría el uso de técnicas y tecnologías basadas en la ciencia para mejorar la calidad de los alimentos. De acuerdo con ello, es importante recalcar la contribución del presente proyecto al PND.

En términos ambientales, el cultivo de fresa puede presentar desafíos y oportunidades, el uso ineficiente del agua y el manejo inadecuado de los residuos agrícolas pueden tener impactos negativos en los recursos hídricos, animales y el medio ambiente en general (Pérez, 2021). Sin embargo, el cultivo de fresa también puede ser gestionado de manera sostenible, utilizando

prácticas agrícolas responsables y tecnologías avanzadas. La adopción de sistemas de riego eficientes y el manejo adecuado de los residuos agrícolas pueden contribuir a reducir los impactos ambientales negativos y promover prácticas más sostenibles. En este sentido, el desarrollo de este proyecto busca abordar estas deficiencias centrándose en la necesidad de mejorar el manejo del riego en el cultivo de fresa en la región de Subachoque, Colombia, mediante el desarrollo de un sistema de riego automatizado de baja escala. La implementación de esta solución tecnológica contribuye a reducir el uso ineficiente del agua, prevenir enfermedades en las plantas de fresa y mejorar la productividad del cultivo, al tiempo que puede servir como un modelo replicable para otros agricultores en el país.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas, utilizando telemetría y tecnologías IoT para la adaptación del riego según las condiciones ambientales y de terreno.

Objetivos Específicos

Identificar la situación actual del sistema de riego en el cultivo de fresa en la región de Subachoque Cundinamarca, estableciendo los escenarios relacionados con el uso del agua que causen afectaciones a las plantas.

Establecer los rangos óptimos y parámetros de control del prototipo de sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas ubicado en Subachoque, Cundinamarca, reduciendo las condiciones que den origen a enfermedades en las plantas de fresa asociadas a la humedad del suelo.

Diseñar un prototipo de sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas ubicado en Subachoque, Cundinamarca, que incorpore recursos de software, hardware y tecnología adecuados. Este diseño estará basado en parámetros previamente establecidos.

Evaluar el impacto del prototipo de sistema de riego automatizado en la eficiencia del uso del recurso hídrico, de tiempo y la reducción de problemas asociados al riego manual a través de un monitoreo y análisis de las variables ambientales y de terreno.

Estructuración del diseño metodológico

Marco Conceptual

Cultivo de Fresa

También conocido como fruticultura de fresa, es una actividad agrícola especializada en el cultivo y producción de fresas, que son frutos pertenecientes a la planta *Fragaria*. Las fresas son reconocidas por su sabor dulce y jugoso, y son ampliamente apreciadas en la industria alimentaria y en la gastronomía, el proceso de cultivación de la fresa requiere una serie de actividades a considerar tales como la preparación del suelo, proceso realizado antes de la siembra que implica eliminar malezas y restos de cultivos anteriores, y mejorar la estructura del suelo mediante la incorporación de materia orgánica y nutrientes necesarios. Así mismo, teniendo en cuenta que existen numerosas variedades de fresa se debe realizar una elección de la que se desea cultivar de acuerdo con las condiciones climáticas, el mercado objetivo y las preferencias del agricultor. Posteriormente se tiene la plantación, su siembra se puede dar con el uso de semillas o de plántulas, es necesario que se prevea un manejo de plagas y enfermedades ya que es un cultivo bastante susceptible a ellas, dentro de estos aspectos fundamentales está el riego, ya que el suministro de agua adecuado es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa. El riego debe ser controlado y proporcionar la cantidad correcta de agua según las necesidades de las plantas y las condiciones climáticas, finalmente se tiene su fertilización, la cual es importante para mantener los nutrientes equilibrados y la cosecha, esta se lleva a cabo cuando los frutos han alcanzado la madurez y presentan un color y sabor adecuados, se recolectan manualmente para evitar daños. (InfoAtro.com, 2021)

Gestión Agrícola

Se refiere a las prácticas y estrategias utilizadas para planificar, organizar y controlar todas

las actividades relacionadas con la producción agrícola. Esto incluye la toma de decisiones sobre qué cultivos plantar, cuándo y cómo plantarlos, cómo protegerlos de plagas y enfermedades, cómo manejar los recursos naturales como el suelo y el agua, y cómo optimizar el rendimiento y la eficiencia en la producción, la gestión agrícola abarca la planificación de cultivos, preparación del suelo, siembra y cosecha en el momento óptimo, manejo de plagas y enfermedades, uso eficiente del agua, gestión de la nutrición de las plantas, manejo postcosecha y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que preserven la salud del suelo, la biodiversidad y el medio ambiente en general.. (BASF Agro Colombia, 2023).

Tecnologías Agrícolas

Hacen referencia a todas aquellas herramientas, equipos, sistemas y conocimientos científicos aplicados en la agricultura para mejorar la productividad, eficiencia y sostenibilidad de los cultivos. Estas tecnologías abarcan una amplia gama de avances que han transformado la forma en que se cultivan los alimentos y se gestionan los sistemas agrícolas, dentro de estas tecnologías se encuentra la automatización y mecanización de procesos, el monitoreo con implementación de sensores, la cual se basa en la recolección de datos sobre variables como humedad del suelo, temperatura, calidad del aire, radiación solar y estado de las plantas. La información recopilada ayuda a tomar decisiones informadas sobre riego, fertilización y control de plaga, así mismo, se encuentra la agricultura de precisión, la biotecnología con procesos de mejoramiento genético, entre otras, las cuales han sido un gran avance que ha permitido mejorar la eficiencia, productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas ya que cada día continúan evolucionando y desempeñan un papel crucial en el futuro de la agricultura, ayudando a abordar desafíos como el cambio climático, la escasez de recursos y la seguridad alimentaria. (EOS DATA ANALYTICS, 2023).

Automatización de Procesos

Hace referencia a la implementación de sistemas y tecnologías que permiten la realización automática o semiautomática de tareas, en el contexto agrícola el objetivo principal de la automatización es mejorar la eficiencia, precisión y productividad de los procesos agrícolas, al tiempo que se reduce la dependencia de la mano de obra humana y se optimiza el uso de recursos. La automatización puede ser aplicada a varias etapas del cultivo, tales como la siembra y plantación, el riego, ya que a través de sistemas automatizados es posible obtener un control preciso del suministro de agua con el uso de sensores, así como su monitoreo y control de condiciones ambientales y el manejo de equipos y maquinaria, con ello se da paso mejorar la eficiencia, reducir costos, minimizar errores humanos y optimizar el uso de recursos. Al hacerlo, permite a los agricultores aumentar la productividad y la rentabilidad de sus operaciones agrícolas. Además, la automatización puede contribuir a la sostenibilidad agrícola al reducir el consumo de agua, energía y productos químicos, y minimizar los impactos ambientales asociados con la producción agrícola. (EOS DATA ANALYTICS, 2023).

Telemetría

Es una tecnología que permite la medición y transmisión remota de datos a través de sistemas de comunicación. En el contexto agrícola, la telemetría se utiliza para monitorear y recopilar información en tiempo real sobre diferentes variables relevantes para la producción agrícola, como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento, variables de gran importancia dentro de la producción agrícola. Un sistema de telemetría permite un monitoreo con datos actualizados y precisos sobre las condiciones ambientales y del cultivo, esto brinda a los agricultores información en tiempo real sobre el estado de sus cultivos, lo que les permite tomar decisiones informadas y oportunas dando pie a una gran optimización de

recursos como el agua, el control de plagas y enfermedades y las condiciones que permiten que estas se produzcan, estos sistemas están conectados a través de redes de comunicación, como Internet y/o redes inalámbricas. Los datos recopilados se transmiten a un sistema central o plataforma en la nube, donde se procesan y se presentan de manera accesible para su análisis y toma de decisiones. (Flavio Capraro, Santiago Tosetti, Vicente Mut, 2018)

Internet de las Cosas

Se refiere a la interconexión de dispositivos físicos mediante Internet, permitiendo la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real. Estos dispositivos, que van desde electrodomésticos hasta equipos industriales, están equipados con sensores y capacidades de computación que les permiten recopilar información de su entorno y comunicarse entre sí y con sistemas externos. La integración de estos dispositivos inteligentes con aplicaciones de IoT facilita la toma de decisiones informadas a partir del análisis de datos, mejorando la eficiencia, la comodidad y la productividad en diversos ámbitos, desde el hogar hasta la industria. (AWS, 2023)

Marco Teórico

Descripción Botánica y Taxonómica de la Planta de Fresa

Según InfoAgro.com, (2021) en su artículo “El cultivo de fresa” de la sección Frutas Tradicionales, la planta de fresa, científicamente conocida como **Fragaria x ananassa**, pertenece a la familia de las Rosáceas. Es una planta herbácea perenne que se caracteriza por ser rastrera o trepadora, con tallos estoloníferos que emiten estolones o "corredores" que se arraigan en el suelo y dan origen a nuevas plantas. Estos estolones le permiten extenderse horizontalmente y formar densos tapices vegetales.

Las hojas de la fresa son trifoliadas, lo que significa que cada hoja se compone de tres folíolos. Son de forma ovalada, dentadas en los bordes y de color verde brillante. Las flores son pequeñas, de aproximadamente 1 a 2 centímetros de diámetro, y cuentan con cinco pétalos blancos que rodean un receptáculo central amarillo. Las flores se producen en inflorescencias llamadas "racimos" y son hermafroditas, es decir, tienen tanto órganos masculinos como femeninos, lo que facilita la polinización cruzada.

El fruto de la fresa, conocido comúnmente como "fresa" o "frutilla", es en realidad una infrutescencia compuesta, ya que está formado por múltiples frutos diminutos llamados aquenios que se encuentran incrustados en la superficie del receptáculo floral engrosado. Cada aquenio contiene una semilla, que es la estructura que realmente se propaga y da lugar a nuevas plantas.

En cuanto a su taxonomía, la fresa es una planta híbrida obtenida a partir del cruce entre diferentes especies del género *Fragaria*. La clasificación taxonómica de la fresa es la siguiente:

Reino: Plantae

División:

Magnoliophyta

Clase:

Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia:

Rosaceae

Género:

Fragaria

Especie: x ananassa (nombre específico para el híbrido resultante) (Altamirano H., 2004)

Requerimientos Climáticos y Edáficos (Altamirano H., 2004), (InfoAtró.com, 2021).

Climáticos

Temperatura. La planta de fresa prefiere climas templados a frescos, con temperaturas ideales para el crecimiento entre los 15°C y 25°C. Durante el período de floración, temperaturas más frescas pueden ser beneficiosas para la polinización y la formación adecuada de los frutos.

Luz Solar. La planta de fresa necesita una exposición adecuada a la luz solar para realizar la fotosíntesis y producir azúcares, lo que afecta directamente la calidad y el sabor de los frutos. En general, las fresas requieren al menos 6 a 8 horas diarias de luz solar directa para un crecimiento saludable y una buena producción de frutos. Las fresas son plantas de día corto, lo que significa que la floración y la producción de frutos son favorecidas por días más cortos y noches más largas. Es durante los días más cortos cuando se desencadena el proceso de floración. Por lo tanto, para un cultivo exitoso, es esencial que las fresas estén expuestas a la cantidad adecuada de luz durante el día y a la oscuridad necesaria durante la noche.

Humedad del Suelo. La planta de fresa requiere un suministro constante de agua en el suelo para mantener un crecimiento adecuado. El suelo debe mantenerse ligeramente húmedo durante todo el ciclo de crecimiento, específicamente en un rango de 60% al 80% , es fundamental evitar el encharcamiento, ya que esto puede asfixiar las raíces y favorecer el desarrollo de enfermedades.

Humedad Ambiental. La humedad del aire también es importante para la planta de fresa, especialmente durante la etapa de floración y la formación de frutos. Un ambiente con humedad relativa moderada, alrededor del 60% al 80%, es beneficioso para el desarrollo de flores y frutos y para evitar el estrés hídrico en las plantas.

Drenaje Adecuado. Un buen drenaje del suelo es fundamental para evitar el exceso de agua en las raíces y garantizar un equilibrio adecuado de humedad. El uso de sistemas de riego

bien diseñados y la preparación adecuada del suelo para asegurar el drenaje son aspectos cruciales en el cultivo de fresas.

Edáficos

Suelo. La fresa prefiere suelos bien drenados, fértiles y con buen contenido de materia orgánica. Los suelos arcillosos o compactados pueden dificultar el crecimiento de las raíces y aumentar el riesgo de enfermedades radiculares. Un pH del suelo ligeramente ácido a neutro, generalmente entre 5.5 y 7.0, es el más adecuado para el cultivo de fresas.

Riego. El riego adecuado es esencial para el cultivo de fresas. Es importante mantener el suelo siempre humedecido, evitando el encharcamiento, dado que un exceso de agua puede ocasionar la pudrición de las raíces y la propagación de enfermedades. Un sistema de riego por goteo o aspersión bien diseñado puede ser beneficioso para entregar la cantidad de agua necesaria de manera eficiente.

Nutrientes. La fresa requiere una variedad de nutrientes para su desarrollo saludable. Los elementos esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y otros micronutrientes, deben estar disponibles en cantidades adecuadas en el suelo. El uso de fertilizantes balanceados y específicos para el cultivo de fresas es común para suplir los requerimientos nutricionales de las plantas.

Ciclo de Crecimiento y Desarrollo (ITSC, 2018)

Germinación. es la primera parte del ciclo, la semilla se coloca en el suelo, y bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad y luz, la semilla comienza a absorber agua y nutrientes del suelo, dando lugar a la emergencia de la plántula.

Plántula. Durante esta etapa, la plántula desarrolla sus primeras hojas verdaderas y empieza a formar raíces más fuertes. Es una fase delicada en la que la planta es más vulnerable a condiciones ambientales adversas.

Fase Vegetativa. La planta continúa creciendo y desarrollándose. Produce nuevas hojas y brotes, y las raíces se expanden en el suelo para buscar agua y nutrientes. Durante esta fase, la planta se concentra en fortalecer su sistema de raíces y follaje.

Floración. Esta etapa es crucial para el desarrollo de los frutos. La planta de fresa produce flores que contienen los órganos sexuales masculinos (estambres) y femeninos (pistilos). La polinización, que puede ser realizada por abejas y otros insectos, es necesaria para que se forme el fruto.

Formación del Fruto. Después de la polinización exitosa, el óvulo fertilizado comienza a desarrollarse en un pequeño fruto. La planta concentra sus recursos en el desarrollo de este fruto que, a medida que madura, se vuelve más grande y adquiere su característico color rojo (o de la variedad específica).

Madurez y Cosecha. El fruto madura completamente y está listo para la cosecha. La madurez se reconoce por el color característico de la variedad y por la suavidad del fruto al tacto. En este punto, el fruto ha alcanzado su máximo sabor y dulzura.

Enfermedades y problemas comunes

Botrytis (Botrytis cinérea). la botritis, también conocida como moho gris, es una enfermedad fúngica común en las fresas, se caracteriza por un moho grisáceo que se desarrolla en las flores, hojas y frutos de la planta. A medida que avanza, puede causar la podredumbre de los frutos, flores y brotes, afectando negativamente el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Condiciones en las que se Desarrolla. prospera en ambientes de temperaturas moderadas (entre 10 y 25°C) y elevada humedad, siendo los períodos de lluvia un factor de riesgo significativo para su presencia, al igual que las condiciones de baja luminosidad. (Idai nature, 2022)

Antracnosis (*Colletotrichum spp.*). La antracnosis es otra enfermedad fúngica que afecta a la planta de fresa. Se caracteriza por la formación de manchas oscuras y hundidas en los frutos, hojas, tallos y flores. Estas manchas pueden expandirse y afectar grandes áreas de la planta. La antracnosis se propaga principalmente a través de la lluvia o el riego, ya que las esporas del hongo pueden dispersarse y propagarse con facilidad en ambientes húmedos.

Condiciones en las que se Desarrolla. se da en condiciones de alta humedad y temperaturas que oscilan entre 15°C y 30°C, siendo la temperatura óptima para su desarrollo de 20°C. (Dominio Agrícola, 2020)

Fusarium (*Fusarium spp.*). El fusarium es un género de hongos que incluye varias especies que pueden afectar a las fresas. El *Fusarium oxysporum* y el *Fusarium solani* son algunas de las especies conocidas por causar problemas en estas plantas. El fusarium puede afectar las raíces de la planta, causando marchitez, amarillamiento y muerte de la planta. También puede provocar daños en los frutos, causando manchas y pudriciones.

Condiciones en las que se Desarrolla. prospera en suelos con mal drenaje, donde el agua se acumula y provoca un exceso de humedad alrededor de las raíces de la planta, las temperaturas cálidas, especialmente entre 25°C y 30°C, pueden propiciar la proliferación del hongo *Fusarium* en el suelo. (Pedro C. Manuel A., 2022).

Mildiú PPolvoso (*Podosphaera aphanis*). Se caracteriza por un polvo blanco o gris en la superficie de las hojas. Esta enfermedad fúngica debilita la planta y puede afectar negativamente

la calidad y cantidad de los frutos, este se propaga principalmente por esporas que son llevadas por el viento o el agua, especialmente en ambientes húmedos, es decir que las condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas favorecen el desarrollo y propagación del hongo. (Antes, todo esto era campo., 2022).

Estado del Arte – Automatización Agrícola

El presente proyecto tiene como eje central la automatización de procesos agrícolas, específicamente el riego y suministro de agua controlado para un cultivo de fresas ubicado en Subachoque, Cundinamarca, partiendo de ello se encuentra relación y aportes valiosos para el estado del arte de otros proyectos similares como lo es el proyecto de Rojas, L. (2020) presenta un proyecto que se enfoca en establecer un cultivo de fresas utilizando una red de sensores inalámbricos basada en la tecnología IoT para medir en tiempo real diversas variables físicas, como temperatura, humedad, conductividad y pH del suelo. El objetivo principal que plantea este proyecto aplicado se basa en la obtención de información relevante que permita el control y la optimización de estas variables para asegurar calidad final en la producción del cultivo de fresa.

El estudio se llevó a cabo en la finca San José, ubicada en Facatativá Cundinamarca, en sitio se recopilaron datos de las mencionadas variables físicas, lo que permitió analizar las fluctuaciones y su influencia en el desarrollo y calidad de la fruta.

Para lo anterior, Rojas, L. Implementó una red de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Networks) utilizada en el proyecto permitió analizar los datos recopilados para parametrizar y detectar posibles enfermedades en las plantas. Así mismo, empleó la observación detallada del cultivo y sus características para mejorar el proceso de producción, como resultado, se obtiene una mejora y tecnificación en los procesos que intervienen en el cultivo de fresas,

umentando la eficiencia y calidad de la producción agrícola mediante el uso de tecnología IoT y análisis de datos en tiempo real.

El proyecto de Rojas, L. que utiliza IoT y sensores inalámbricos para monitorear variables físicas del suelo y ambiente en el cultivo de fresas, puede aportar conocimientos sobre el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales al presente proyecto.

Así mismo, se tiene presente el artículo científico presentado por Santos, L. K. C. (2018) que busca exponer la evolución de la agricultura a lo largo del tiempo, enfocándose específicamente en cómo las herramientas tecnológicas han desempeñado un papel crucial en esta transformación. Se resalta cómo la implementación de tecnologías ha sido beneficiosa tanto para la mano de obra agrícola como para el rendimiento de los cultivos. Uno de los objetivos principales de esta investigación es explorar cómo la aplicación de tecnologías puede tener un impacto positivo en la producción agrícola, buscando mejorar la eficiencia y productividad del proceso. Además, se enfatiza en el aspecto de la seguridad alimentaria de los agricultores, considerando cómo estas tecnologías pueden contribuir a garantizar una mayor disponibilidad y calidad de alimentos.

El artículo surge como respuesta a un cambio paradigmático a nivel global, donde se ha presenciado una influencia significativa de las tecnologías en el ámbito agrícola. Se analiza el impacto de la mecanización, automatización y la incorporación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) en la producción agrícola, reconociendo el papel fundamental que desempeñan en la actualidad abordando diversos aspectos relacionados con la aparición y el desarrollo de la tecnología en la agricultura, tomándola como una herramienta clave para impulsar el desarrollo agrícola, mejorando la eficiencia de los procesos, reduciendo costos y optimizando la producción.

El artículo de Santos, L. K. C. aborda la evolución de la agricultura con el uso de herramientas tecnológicas y cómo estas pueden mejorar la eficiencia y productividad del proceso agrícola aportando un contexto histórico al presente proyecto sobre cómo la tecnología ha influido en la agricultura y cómo estos avances han llevado a la implementación de sistemas automatizados en la producción agrícola.

Por otra parte, Aux, J., & Benavides, L. (2015) presentan una monografía que tiene como objetivo principal crear un prototipo de herramienta de laboratorio para automatizar el proceso de riego y suministro de nutrientes a los cultivos de fresas en un invernadero específico (LOPE) ubicado en el Centro Internacional de Producción Limpia (SENA Pasto). El riego de estos cultivos se realiza manualmente, por lo que puede resultar en un uso ineficiente de agua y recursos de producción, además de causar daños a las plantas.

El prototipo que presentan Aux, J., & Benavides, L. Se compone de dos partes: una sección de hardware y otra de software. La sección de hardware se basa en un microcontrolador PIC (Peripheral Interface Controller), que cuenta con los periféricos necesarios para el funcionamiento del sistema, así mismo, la sección de software interactúa con el usuario y se desarrolla utilizando un entorno de programación gráfica llamado LabVIEW. A través de esta interfaz de usuario, se visualizan los datos recopilados por los sensores y se permite al usuario ingresar valores de funcionamiento específicos. Esto proporciona un manejo sencillo del prototipo y brinda la posibilidad de realizar pruebas controladas para futuros estudios y mejoras.

El proyecto presentado en esta monografía se enfoca en crear una solución automatizada para el riego y suministro de nutrientes en el cultivo de fresas en un invernadero, con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso, reducir pérdidas y daños en las plantas, y proporcionar una herramienta de laboratorio que facilite futuras investigaciones y estudios en este campo.

La monografía de Aux, J., & Benavides, L. (2015) presenta un prototipo de automatización para el riego en el cultivo de fresas, lo que puede ser útil como referencia para el desarrollo del objetivo principal de este proyecto que se enfoca en una misma línea.

En el año 2021 Alfonso-Ruiz, O. I., Pérez-Marroquín, G. J., Berdeja-Arbeu, R., García-García, M. D., & Desiderio-Lorenzo, J. dan a conocer a través de un artículo un proyecto que se enfoca en la implementación de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) en el ámbito de la agricultura protegida, específicamente en la producción de fresas. El objetivo principal es controlar eficientemente el recurso hídrico utilizado en el riego de las plantaciones de fresas. Para llegar a esto llevan a cabo un experimento que empleó el método de evapotranspiración propuesto por Hargreaves-Samani para programar el riego. Además, se utilizaron dos tipos de sensores: sensores de constante dieléctrica (YL69) y sensores de matrices granulares (WATERMARK). Estos sensores permiten medir y monitorear diferentes variables relacionadas con el suelo y el agua, lo que resulta crucial para la eficiencia del riego.

Partiendo de la etapa de experimentación, realizan la implementación del sistema SCADA mediante el desarrollo de dos aplicaciones de software como lo fue LabVIEW y Android Studio, estas aplicaciones permiten gestionar y controlar el riego en base a la adquisición de datos, este proceso se realizó con el uso del microcontrolador Atmega 328P, así mismo, se implementó el sistema SCADA con el uso del software de acceso remoto bidireccional llamado AnyDesk. Esta herramienta posibilita el control del servidor que ejecuta el sistema SCADA de manera remota a través de un dispositivo cliente con conexión a internet.

Finalmente, los autores obtienen un sistema que busca optimizar el riego en la producción de fresas en agricultura protegida mediante la implementación de un sistema SCADA que utiliza sensores para medir variables relacionadas con el agua y el suelo. El sistema permite programar y

controlar el riego de manera eficiente, evitando el desperdicio de recursos y logrando un ahorro de tiempo y dinero en el proceso.

Este artículo se enfoca en la implementación de un sistema SCADA para el control eficiente del recurso hídrico en el riego de fresas, aportando información sobre cómo utilizar un sistema SCADA y sensores para medir variables relacionadas con el agua y el suelo, variables que fueron tomadas en cuenta dentro de la realización del presente proyecto.

Finalmente, a través de una propuesta metodológica, Gavilanes Pilco, A. D. (2022) expone un proyecto basado en la implementación de la Agricultura 4.0, que es una evolución de la agricultura de precisión, utilizando nuevas tecnologías para mejorar el proceso de cultivo. En este caso, el enfoque específico es optimizar el sistema de riego para el cultivo de fresas en la Asociación de Campesinos de Miñarica, lo anterior a través un sistema de control y monitoreo que adquiere y transmite datos importantes. El proceso de desarrollo sigue el método Top-Down, que se divide en cuatro pasos cruciales: la planificación, el diseño, el desarrollo y la evaluación del sistema, en esta última etapa, se comparan los resultados obtenidos del sistema de riego optimizado con los dispositivos comerciales ya existentes. Se busca demostrar la eficacia y ventajas del nuevo sistema mediante mediciones y análisis comparativos.

Dentro de los recursos que se utilizan para dicho proyecto se encuentra un sensor de temperatura DHT22 un sensor de humedad FC-32 y un Relé jqc-3ff-s-z, la programación del sistema se realizó utilizando el software Arduino IDE, la visualización remota de los datos obtenidos se obtuvo a través del servidor de Thingspeak.

Los resultados del proyecto incluyen el monitoreo del cultivo de fresas, observando y registrando los datos de temperatura y humedad del ambiente. Así mismo, se realizó una evaluación de la satisfacción de los propietarios, quienes manifestaron un alto grado de

satisfacción con el sistema mejorado, otorgándole una puntuación del 95 %. Esto confirma que las mejoras implementadas han sido exitosas y beneficiosas para el cultivo de fresas en la Asociación de Campesinos de Miñarica.

Gavilanes Pilco, A. D. (2022) propone la Agricultura 4.0 y nuevas tecnologías para mejorar el sistema de riego en el cultivo de fresas, lo que puede aportar ideas sobre la aplicación de la Agricultura 4.0 y la automatización en el mismo campo que trata el presente proyecto, es decir el cultivo de fresa.

En conjunto, estos proyectos relacionados enriquecen la investigación y el desarrollo del sistema automatizado de riego para el cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, al proporcionar conocimientos, metodologías y enfoques que contribuyen a mejorar la eficiencia, control y monitoreo en los procesos agrícolas.

Enfoque y Diseño del Proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se tomó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental. Este enfoque fue seleccionado debido a su capacidad para proporcionar resultados objetivos y confiables que permitan establecer relaciones causales entre las variables del estudio. En el contexto de la agricultura y el desarrollo de un sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas, es fundamental contar con datos numéricos precisos que permitan analizar de manera rigurosa el impacto de las diferentes variables en el rendimiento del cultivo.

El diseño experimental permite manipular y controlar variables específicas, como la humedad del suelo, y observar cómo estas manipulaciones afectan directamente en la planta de fresa. Al utilizar este enfoque, podemos identificar qué factores contribuyen significativamente al crecimiento y desarrollo de las plantas, así como determinar la eficacia del sistema de riego automatizado.

Además, el enfoque cuantitativo nos permite recopilar datos numéricos que pueden ser sometidos a análisis estadístico, lo que nos brinda una comprensión más profunda y objetiva de los resultados obtenidos. Esto es especialmente importante cuando se busca demostrar la eficacia y la viabilidad de una tecnología innovadora como la automatización del riego en la agricultura.

Desarrollo de la Solución

Sistema de Riego del Cultivo de Fresa

Identificación y Análisis del Sistema Actual de Riego del Cultivo de Fresa Seleccionado

El riego más común para el cultivo de fresas en Colombia es el riego por goteo. El riego por goteo es una técnica eficiente que proporciona agua directamente a las raíces de las plantas, lo que ayuda a evitar el desperdicio de agua y a mantener un nivel de humedad adecuado en el suelo. Esto es particularmente importante para los cultivos de fresa, ya que estas plantas son sensibles al exceso de humedad y a enfermedades fúngicas que pueden desarrollarse en condiciones de alta humedad. Este sistema de riego también ayuda a evitar que las fresas entren en contacto directo con el agua, ya que esto podría aumentar el riesgo de enfermedades y daños en los frutos. Es importante adaptar el riego a las condiciones específicas del área de cultivo y a las necesidades de las plantas, teniendo en cuenta factores como el clima, el tipo de suelo y la variedad de fresa que estás cultivando (TvAgro, 2015).

El cultivo seleccionado para el desarrollo de este proyecto, ubicado en Subachoque Cundinamarca cuenta con este sistema de riego actualmente, dispone de un punto de riego general, este es el punto de inicio del sistema de riego, donde las mangueras, tuberías o conductos se conectan a la fuente de agua y desde allí se distribuye el agua a las áreas del cultivo a través de una distribución de 16 nodos y/o registros en todo el cultivo.

Características Vigentes del Cultivo, Riego y Problemas Identificados

El cultivo en mención que se muestra en la Figura 1, se encuentra en un terreno ondulado, como se muestra en su perfil de elevación en la Figura 2, este tipo de terreno tiene pequeñas elevaciones y depresiones, lo que lo hace adecuado para la agricultura, su menor valor de elevación se encuentra a 2797 m s. n. m y su mayor elevación, se encuentra a 2840 m s. n. m,

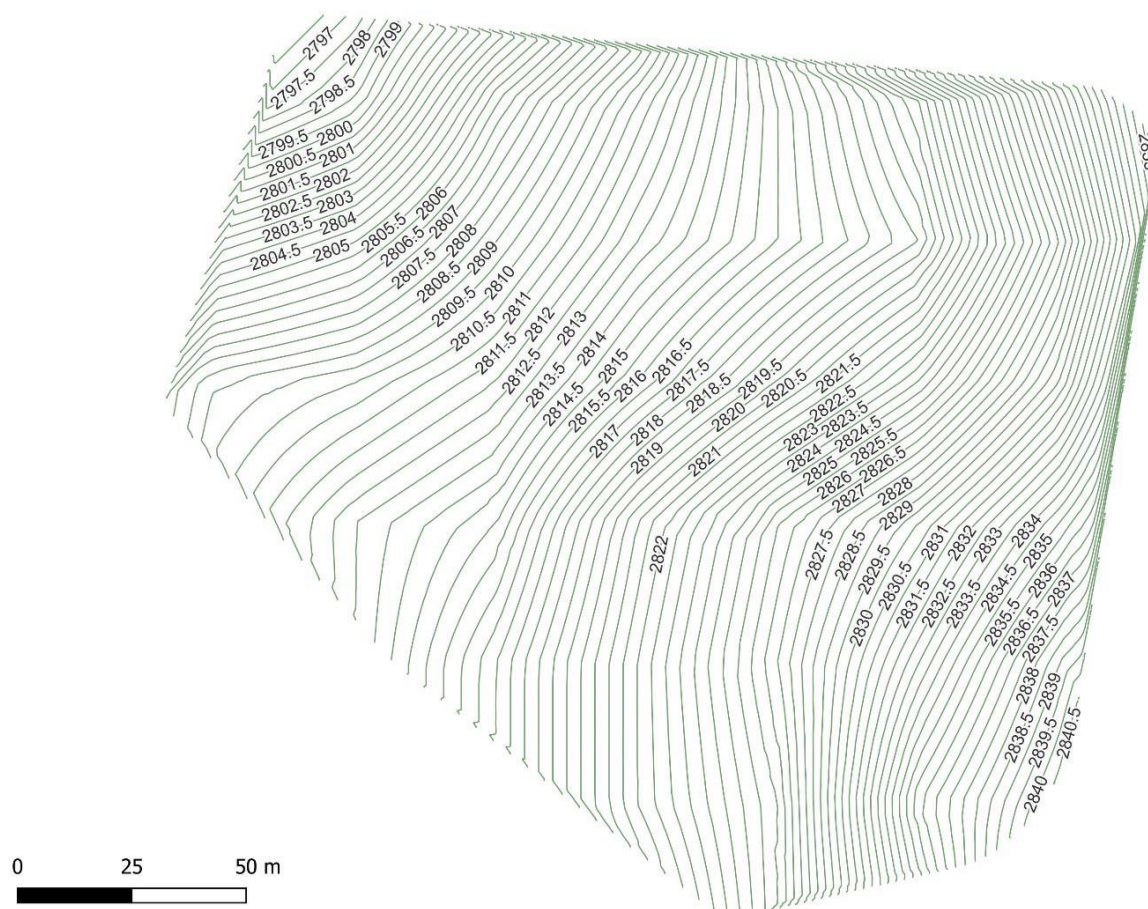
este posee un aproximado, según la persona a cargo del cultivo, de 8000 plantas de fresa, la recolección de cosecha se realiza cada 3 días durante periodo de producción. Se hizo uso del software gratuito Google Earth y QGis para realizar el perfil de elevación.

Figura 1

Cultivo de Fresa Subachoque – Vista desde Google Earth y Vista Fotográfica



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 2*Curvas de Nivel – Perfil de Elevación*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

El agua utilizada para el riego del cultivo de fresas se obtiene de un pozo de agua lluvia, el cual se muestra la Figura 3, se encuentra interconectado con más pozos en la zona, que permiten el abastecimiento requerido del recurso hídrico, la tubería que sale del pozo cuenta una unión de registros para su control y un filtro, el agua es impulsada hasta el punto de riego general con el uso de una motobomba como se muestra en las figuras 3, 4 y 5.

Figura 3

Pozo de Agua para Riego



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 4

Sistema de Extracción del Agua



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 5*Filtro*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

El agua llega al punto general de riego donde se almacena en un tanque, el que se muestra en la Figura 6, de este, se extrae nuevamente el agua con el uso de una motobomba, pasa por otro filtro y finalmente por un contador que permite llevar el control de la cantidad de agua que sale, saliendo del filtro pasa directamente a cuatro mangueras con su respectivo registro de apertura, tal como se visualiza en la Figura 7, que distribuyen el agua en los 16 nodos del cultivo.

Figura 6*Tanque de Almacenamiento de Agua*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 7*Contador de Agua y Tubería de Distribución*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Los 16 nodos de riego mencionados cuentan con sus respectivos registros, los cuales se observan en la Figura 9, estos son abiertos por partes para llevar a cabo el riego del cultivo, cada nodo cuenta con una línea de tubería principal de la cual se desprende la tubería portagotero para cada uno de los surcos del cultivo según corresponda como se muestra en la Figura 8.

Figura 8*Distribución de la Tubería*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 9*Registro de Distribución hídrica*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Dentro de los problemas identificados asociados sistema de riego actual planteado en el presente proyecto se identificó:

Dificultad en la Programación del Riego

En terrenos ondulados, puede ser complicado determinar la cantidad y frecuencia adecuadas de riego, ya que las necesidades hídricas pueden variar según la ubicación en la pendiente. Se requiere un buen diseño del sistema y una programación adecuada para garantizar un riego uniforme en todo el terreno.

Drenaje Deficiente

En terrenos ondulados, es importante considerar el drenaje adecuado para evitar el encharcamiento en las áreas bajas. Un mal drenaje puede dañar las raíces de las fresas y promover el desarrollo de enfermedades. Sin embargo, aunque el cultivo cuenta con pasillos y/o cunas para el acceso al cultivo entre surcos que desempeñan también el papel de sistema de drenaje, debido a la forma del terreno se producen encharcamientos en algunas zonas como se muestra en las Figuras 10 y 11 respectivamente, para lo cual es necesario tener un control de riego que permita un regado adecuado y sin excesos de agua.

Además de las problemáticas previamente identificadas, se ha observado un desafío significativo relacionado con el tiempo de desplazamiento de la persona encargada del riego entre los 16 nodos distribuidos en el terreno ondulado (Tiempo que según se evidenció, las personas encargadas del cultivo podrían utilizar en otras actividades propias del cuidado y mantenimiento de este). La topografía irregular del cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, presenta limitaciones para la automatización completa debido a los cuatro registros principales que no pueden ser automatizados simultáneamente. La necesidad de dividir el riego en secciones para garantizar una distribución equitativa del agua a lo largo de todo el

cultivo agrega complejidad a la operación manual. Este inconveniente no solo conlleva a un uso ineficiente del tiempo del operador, sino que también afecta la uniformidad del riego, lo que podría traducirse en un rendimiento desigual del cultivo

Figura 10

Encharcamiento en el Cultivo



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 11

Exceso de Humedad en el Cultivo



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Con el propósito de superar los desafíos identificados, la problemática planteada en este proyecto y avanzar hacia la mejora de la eficiencia del sistema de riego en el cultivo de fresas que existe actualmente en Subachoque, Cundinamarca, se plantea la implementación de un sistema automatizado que abarque los 16 registros distribuidos en los nodos del terreno, los cuales tendrán apertura automatizada, es decir, para los cuatro (4) registros principales su apertura será manual en 4 momentos, con el fin de tener una buena distribución del recurso hídrico evitando problemas relacionados con la presión del agua, al finalizar el riego de los primeros 4 nodos pertenecientes al primero de los 4 registros principales se enviará una alerta a la plataforma de monitoreo para realizar la apertura manual del segundo registro y así sucesivamente, esta apertura manual es necesaria por los siguientes motivos:

Presión del Agua y Tipo de Terreno

El terreno ondulado presenta desafíos específicos en cuanto a la presión del agua necesaria para un riego uniforme en todas las áreas. Automatizar los 4 registros principales podría conducir a una distribución desigual del agua debido a las variaciones en la presión en diferentes partes del cultivo, por ello es necesario realizar el riego en 4 momentos distintos, los cuales el sistema no reconocerá porque al detectar necesidad de riego en todo el cultivo, todos los registros darían apertura y no se tiene la presión requerida para llevar el agua a todo el cultivo de manera simultánea.

Seguridad Hídrica y Control de Calidad

Mantener los 4 registros principales como manuales permite un control más directo y preciso sobre el suministro de agua en puntos críticos del sistema de riego. Esto garantiza una gestión más cuidadosa del recurso hídrico y la posibilidad de intervenir rápidamente en caso de irregularidades o emergencias.

Limitaciones Técnicas y Complejidad Del Sistema

Automatizar todo el sistema de riego de manera simultánea podría requerir un sistema más avanzado y costoso, especialmente para garantizar una distribución uniforme de agua en un terreno con topografía irregular. Al dejar algunos registros como manuales, se simplifica el diseño y la operación del sistema, reduciendo potencialmente los costos y la complejidad técnica.

Flexibilidad y Adaptabilidad

La combinación de registros automatizados y manuales brinda flexibilidad para ajustar el sistema según las necesidades cambiantes del cultivo y las condiciones ambientales.

Establecimiento de Rangos Óptimos y Parámetros de Control

Definición de Variables a Medir y Controlar

Humedad del Suelo

Variable a medir. Porcentaje de humedad en el suelo.

Control. Activar el riego cuando la humedad del suelo está por debajo de un umbral predefinido y desactivarlo cuando alcanza un nivel adecuado.

Temperatura/Humedad Ambiental

Variables a Medir. temperatura del aire y humedad relativa del aire.

Control. No interfiere en activación o desactivación de riego, variable de monitoreo medioambiental para futuro análisis predictivo.

Estado de los Registros en los Nodos

Variable a Controlar. estado de los registros en los nodos (abierto/cerrado).

Control. Abrir o cerrar los registros en función de las condiciones de humedad del suelo.

Diseño de Los Rangos y Parámetros de Control para el Sistema de Riego Automatizado

De acuerdo con la información obtenida en el marco teórico sobre la planta de fresa, apartado “Requerimientos climáticos y edáficos (Altamirano H., 2004), (InfoAtro.com, 2021).”

Se establecen los siguientes rangos y parámetros de control para el sistema:

Humedad del Suelo

Rango Ideal. 60% - 80%

Parámetros de Control

Umbral de Activación del Riego. Iniciar el riego cuando la humedad del suelo está por encima del 80%.

Umbral de Desactivación del Riego. Detener el riego cuando la humedad del suelo alcanza el 60%.

Frecuencia de Monitoreo Continua. Medir la humedad del suelo de manera continua para ajustes en tiempo real.

Temperatura Ambiental

Rango Ideal. 15°C - 25°C

Parámetros de Control

Umbral de Activación y Desactivación del Riego. No influye en activación o desactivación de riego, variable de monitoreo medioambiental para futuro análisis predictivo.

Frecuencia de Monitoreo Continua. Verificar la temperatura de manera continua para ajustes en tiempo real.

Humedad Ambiental

Rango Ideal. 60% - 80%

Parámetros de Control

Umbral de Activación y Desactivación del Riego. No influye en activación o desactivación de riego, variable de monitoreo medioambiental para futuro análisis predictivo.

Frecuencia de Monitoreo Continua. Medir la humedad ambiental de manera continua para ajustes en tiempo real.

El sistema de riego automatizado se ha diseñado para responder de manera ágil a condiciones específicas, activando y/o desactivando el riego cuando cualquiera de los parámetros de activación establecidos se cumpla.

Diseño del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado

Requisitos Técnicos y Selección de Tecnologías de Hardware y Software

Sensores y Actuadores

Humedad del Suelo. Se integró un sensor de Humedad del Suelo Capacitivo FC-28 para medir la humedad del suelo en tiempo real, este requiere una alimentación en el rango de 3.3V a 5V DC y emite una salida analógica que permite medir la humedad del suelo de manera precisa. La elección de este sensor se da teniendo en cuenta:

Precisión y Fiabilidad. El sensor FC-28 ofrece una medición precisa de la humedad del suelo, lo que es crucial para determinar cuándo y cuánto regar.

Compatibilidad y Costo-Efectividad. Es fácil de integrar con microcontroladores como el ESP8266 NodeMCU y tiene un costo accesible en el mercado.

Válvulas Solenoides y Relés. Se hizo uso de una válvula solenoide de riego de 12V para controlar el flujo de agua hacia cada nodo del cultivo. Cada válvula se encuentra conectada a un módulo de relé de un canal, que permite su activación o desactivación desde el ESP8266 NodeMCU. Su uso se da debido a:

Control del Flujo de Agua. Las válvulas solenoides junto con los relés permiten un control preciso del flujo de agua hacia cada nodo del cultivo.

Compatibilidad con Arduino. La compatibilidad con Arduino facilita su integración en el sistema de automatización.

Sensores Ambientales

Temperatura y Humedad Ambiental. El proyecto incorporó el sensor DHT11 para monitorear la temperatura y humedad ambiental del entorno del cultivo, este se alimenta con un voltaje entre 3.3V y 5.5V DC y proporciona salidas digitales. Se hace uso de este sensor ya que cuenta con:

Capacidad dual de medición. El sensor DHT11 ofrece la capacidad de medir tanto la temperatura como la humedad ambiental de manera simultánea. Esta característica es fundamental para el proyecto, ya que permite monitorear dos variables ambientales importantes para el cultivo de fresas, lo que contribuye a una gestión más precisa del sistema de riego automatizado.

Facilidad de Integración con Microcontroladores. El DHT11 es conocido por su facilidad de integración con microcontroladores como el ESP8266 NodeMCU utilizado en el proyecto. Su salida digital simplifica la lectura de datos, lo que facilita la programación y la comunicación con el sistema central de automatización. Esta característica fue determinante en la

elección del sensor, ya que garantiza una integración fluida y eficiente en el diseño del sistema de riego automatizado

Microcontrolador

Controlador Principal. La automatización es gestionada por el microcontrolador ESP8266 NodeMCU como la unidad central de procesamiento, este necesita ser alimentado con un voltaje de 5V DC y cuenta con conectividad WiFi para la comunicación remota y monitoreo. El uso de este módulo está dado por:

Conectividad WiFi. Permite la comunicación remota y el monitoreo en tiempo real, esencial para un sistema de riego automatizado.

Facilidad de Programación. El entorno de desarrollo Arduino IDE ofrece una interfaz amigable para programar el NodeMCU.

Energía

Fuente de Alimentación. Se proporcionó una fuente de alimentación estable de 5V para el ESP8266 y otra de 12V para las válvulas solenoides a través del módulo relé. Sin embargo, al considerar la implementación a gran escala de este proyecto convendría el uso de un sistema de energía soportado en paneles solares.

Comunicación Remota

Plataforma de Monitoreo Remoto. Se realiza la integración con ThingSpeak para el monitoreo remoto de datos, esto a través de la conexión WiFi del NodeMCU para transmitir los datos recopilados al canal ThingSpeak.

Frecuencia de Monitoreo. Se establece un intervalo mínimo de medición y envío de datos, este se realiza cada minuto para mantener un monitoreo continuo.

Sistema de Comunicación.

El sistema de comunicación específico para el proyecto de automatización de riego empleó una conexión inalámbrica a través de Internet utilizando un módem WiFi 4G LTE portátil. A continuación, se detallan los aspectos específicos de esta comunicación:

Modo de Conexión Inalámbrica

Se estableció una conexión inalámbrica utilizando la tecnología WiFi entre el ESP8266 NodeMCU y el módem WiFi 4G LTE.

Acceso a Internet Mediante Red Móvil 4G LTE. El módem WiFi 4G LTE portátil proporciona acceso a Internet a través de la red móvil 4G LTE. Esto garantiza una conexión rápida y confiable para la transmisión de datos.

Configuración del Módem WiFi 4G LTE.

Se configurará el ESP8266 NodeMCU para conectarse al módem WiFi 4G LTE mediante la especificación del nombre de red (SSID) y la contraseña asociada al módem.

Integración como Punto de Acceso (AP). El módem WiFi 4G LTE puede configurarse como un punto de acceso (AP), permitiendo que el ESP8266 NodeMCU y otros dispositivos se conecten a él como si fuera una red WiFi convencional.

Transmisión de Datos a través de la Red Móvil. Los datos recopilados por el ESP8266 NodeMCU son transmitidos a través de la red móvil 4G LTE proporcionada por el módem WiFi, permitiendo la comunicación remota y la actualización de la plataforma ThingSpeak.

Entorno de Desarrollo

Se hace uso de Arduino IDE, el cual desempeña un papel fundamental como el entorno de desarrollo integrado que se utiliza para programar el microcontrolador NodeMCU ESP8266. Este software proporciona una interfaz amigable y herramientas de programación que permiten escribir, cargar y depurar código en el microcontrolador.

Diseño Conceptual del Sistema de Riego Automatizado para Cultivo de Fresas

Componentes Principales

ESP8266 NodeMCU. Actúa como la unidad central de procesamiento y control del sistema.

Gestiona la recopilación de datos de sensores y el control de las válvulas solenoides.

Se conecta al módem WiFi 4G LTE para la comunicación remota.

Sensores. Sensor de Humedad del Suelo (FC-28) para medir la humedad del suelo. Sensor DHT11 para medir temperatura y humedad ambiental.

Válvulas Solenoides.

Válvulas controladas por relés para regular el flujo de agua en los nodos de riego.

Módem WiFi 4G LTE Portátil. Proporciona acceso a Internet a través de la red móvil 4G LTE.

Configurado como punto de acceso (AP) para la conexión del ESP8266 NodeMCU.

Plataforma ThingSpeak. Plataforma en la nube para el almacenamiento y visualización de datos.

Permite el monitoreo remoto y el análisis de condiciones ambientales y de riego.

Flujo de Operación

Este sistema, representado en el diagrama de flujo de la Figura 26, opera en seis etapas clave:

Captura de Datos. Los sensores de humedad del suelo y DHT11 capturan datos ambientales y del suelo.

El ESP8266 NodeMCU procesa y analiza los datos capturados.

Toma de Decisiones. Basado en los datos recopilados, el sistema toma decisiones para activar o desactivar la válvula solenoide.

Control de Válvulas Solenoides.

El ESP8266 NodeMCU utiliza relés para controlar las válvulas solenoides en cada nodo de riego

Transmisión de Datos. Los datos procesados se transmiten al servidor ThingSpeak a través del módem WiFi 4G

LTE.

Almacenamiento en la Nube. ThingSpeak almacena y registra los datos para su posterior análisis y visualización.

Monitoreo Remoto. Los agricultores pueden monitorear el sistema y recibir alertas a través de la plataforma ThingSpeak desde cualquier ubicación con acceso a Internet.

Diseño del Esquema de Conexiones del Sistema.

Conexiones de Hardware

NodeMCU

Alimentación. Se conecta el cable micro USB del NodeMCU a una fuente de alimentación de 5V.

Tierra (GND). La conexión a tierra se estableció automáticamente a través del cable micro USB.

Módulo de Relé y Válvula Solenoide (Cuenta con fuente de alimentación separada)

Alimentación. Se conecta a fuente de alimentación de 12V , el cable positivo de la fuente de alimentación se conecta al pin de VCC del relé, y el cable negativo se conecta al pin de GND del relé.

Se conecta el ON (Normalmente Abierto) del relé al pin digital D2 del NodeMCU. Se conecta el J (Común) del relé a uno de los cables de la válvula solenoide.

Se conecta el JN (Normalmente Cerrado) del relé al otro cable de la válvula solenoide.

Sensor de Humedad y Temperatura (DHT11)

Alimentación (VCC). Conectar al pin de 3.3V del NodeMCU.

Tierra (GND). Conectar al pin de tierra (GND) del NodeMCU.

Salida de Datos. Conectar a un pin digital D1 del NodeMCU

Sensor de Humedad del Suelo (FC-28)

Se conecta el cable de alimentación del sensor al pin de alimentación (VCC) y el cable de tierra a tierra (GND) del NodeMCU.

Se conecta el pin de señal (A0) al pin analógico A0 del NodeMCU.

Conexión al NodeMCU. Se configura el módem WiFi 4G LTE como un punto de acceso (AP).

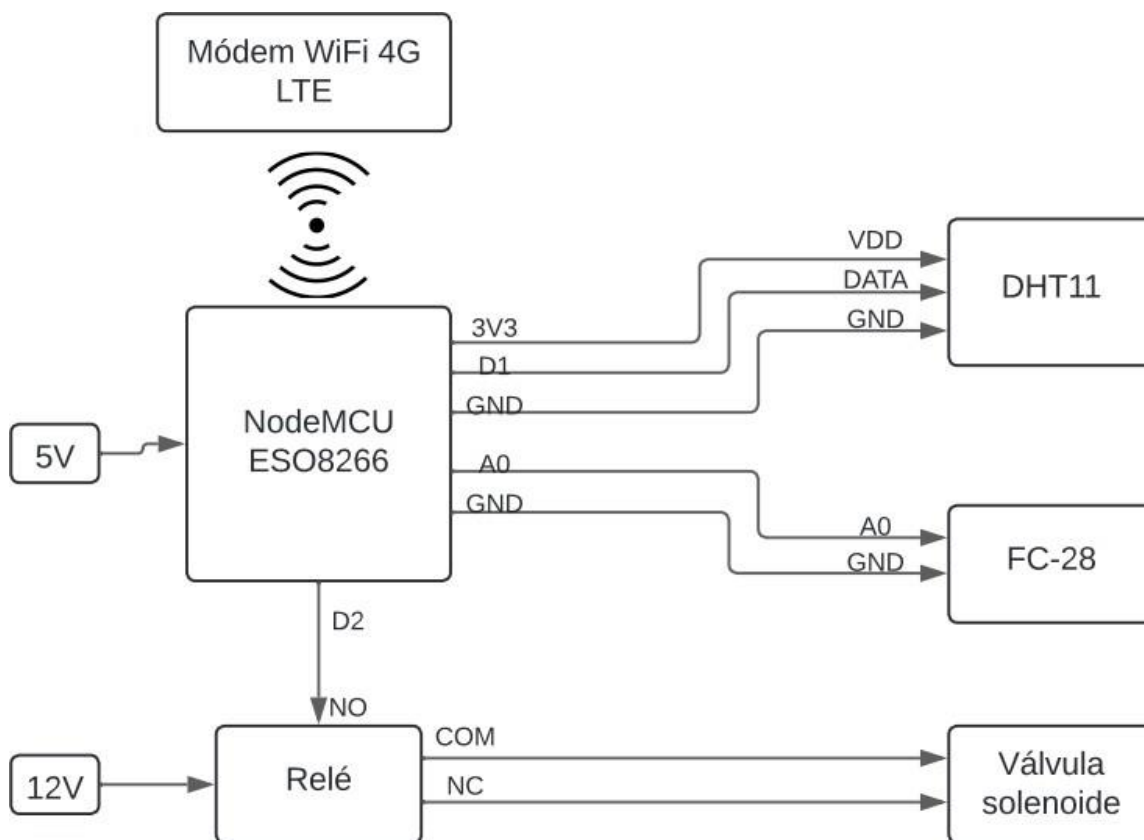
Se configura el NodeMCU para conectarse al punto de acceso del módem con su SSID contraseña.

Se configura ThinkSpeak para recibir y visualizar datos del sensor de manera remota desde el NodeMCU.

Esquemático de las Conexiones del Sistema

Figura 12

Esquemático de las Conexiones del Sistema. - Fritzing



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Implementación del prototipo de Sistema de Riego y Pruebas Iniciales

Ensamblaje del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado

El proceso de ensamblaje del prototipo del sistema de riego automatizado implica la conexión cuidadosa de los diferentes componentes, como el NodeMCU, los sensores de humedad del suelo y de temperatura y humedad ambiental, las válvulas solenoides y el módem WiFi, siguiendo el diseño previamente establecido.

Conexiones del NodeMCU

De acuerdo con la Figura 13, se realizan las conexiones del NodeMCU a la alimentación y se verifica su correcto funcionamiento.

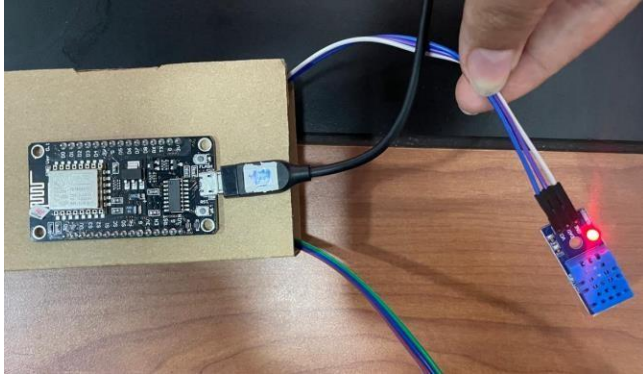
Figura 13

NodeMCU Conectado



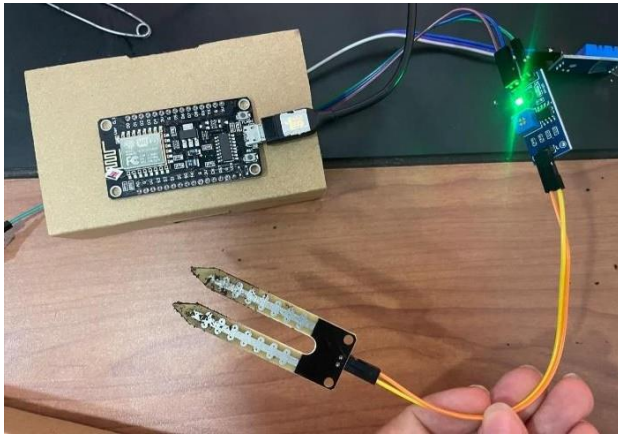
Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Se establecen las conexiones del NodeMCU con el sensor DHT11 para la medición de temperatura y humedad ambiental, como se muestra en la Figura 14.

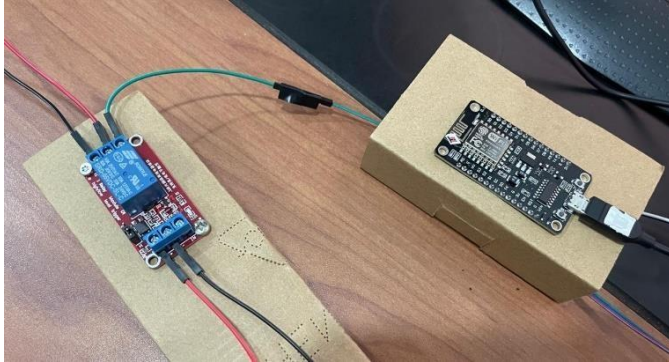
Figura 14*Conexión DHT11 - NodeMCU*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Según la Figura 15, se conecta el NodeMCU al sensor de humedad del suelo FC-28 para monitorear la humedad del suelo en tiempo real.

Figura 15*Conexión FC-28 - NodeMCU*

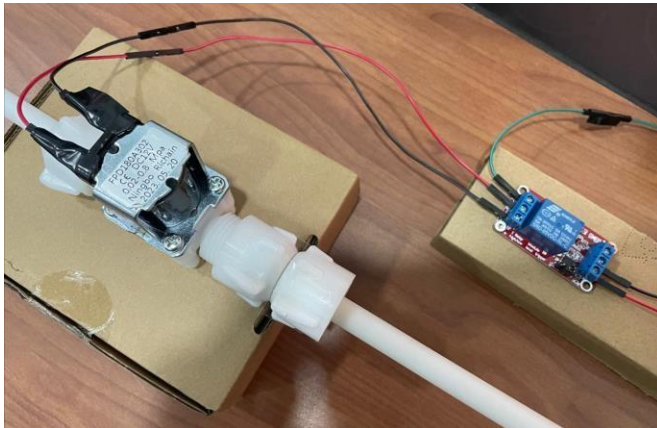
Se conecta el NodeMCU al módulo relé de la válvula solenoide, que controla el flujo de agua hacia el nodo de riego, según se observa en la Figura 16.

Figura 16*Conexión Mod. Relé - NodeMCU*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Conexiones del Módulo de Relé con las Válvulas Solenoides

De acuerdo con la Figura 17, se conecta el módulo de relé a la válvula solenoide que controla el flujo de agua hacia el nodo de riego.

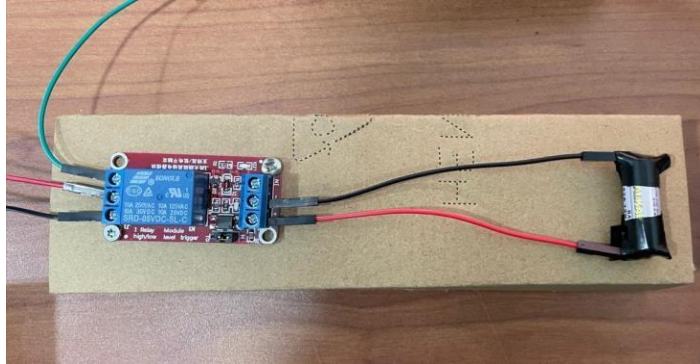
Figura 17*Conexión válvula - relé*

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Se establece la conexión eléctrica de la válvula solenoide la cual se alimenta con una fuente de alimentación de 12V a través del Módulo relé, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Conexión eléctrica válvula - relé



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Conexiones del Módem WiFi 4G LTE

Se configura el módem WiFi 4G LTE como punto de acceso (AP) para permitir la conexión inalámbrica con el NodeMCU.

Configuración de Sistema de Recopilación y Almacenamiento de Datos

Se selecciona la plataforma ThingSpeak para el monitoreo remoto de datos debido a su facilidad de uso y capacidad de integración con dispositivos IoT.

Creación de Canal en ThingSpeak

Se crea un nuevo canal en ThingSpeak para almacenar y monitorear los datos recopilados por el sistema de riego automatizado, la creación del este se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Canal ThingSpeak

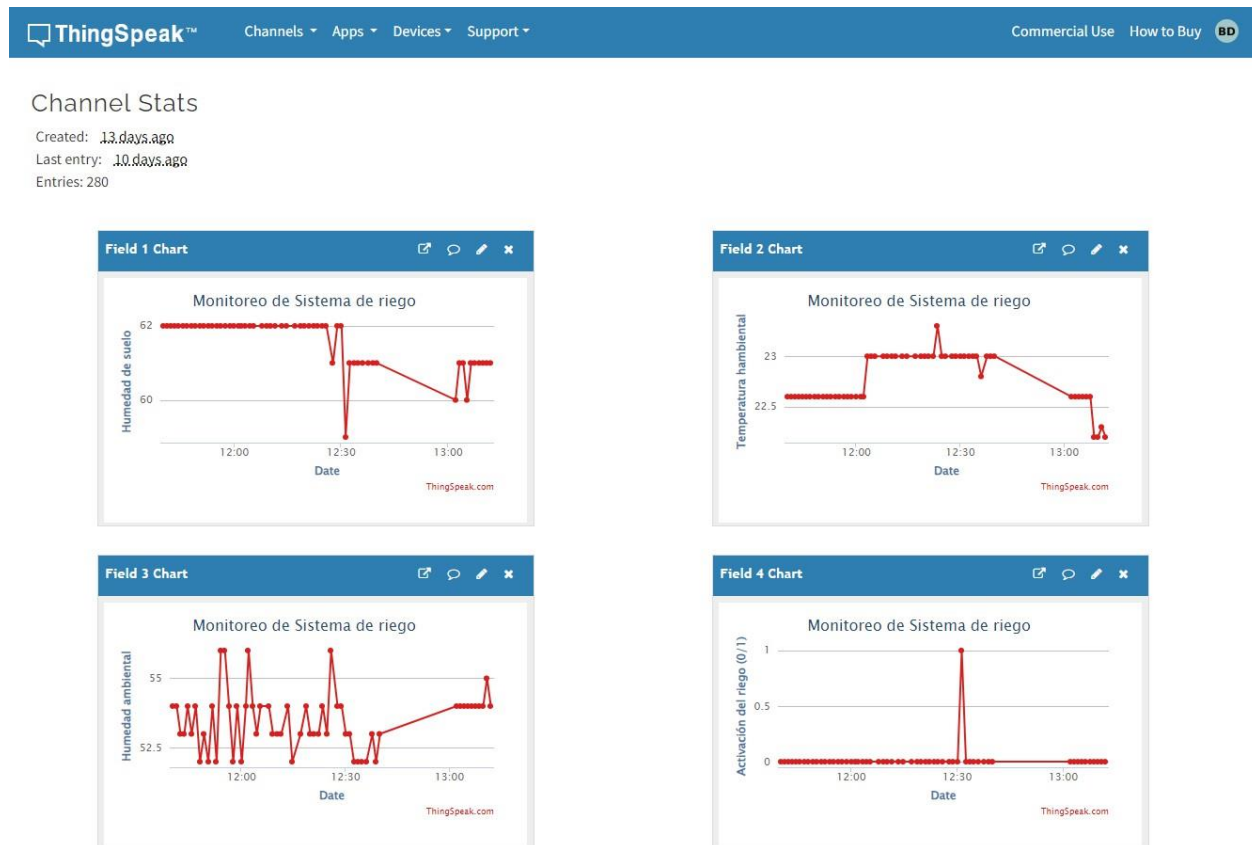
Name	Created	Updated
Monitoreo de Sistema de riego Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2024-02-05	2024-02-08 17:34

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024

Según se visualiza en la Figura 20, se definen los campos necesarios para almacenar los datos de humedad del suelo, temperatura, humedad ambiental y estado del riego, donde el campo de estado de riego muestra un 1 si el riego se encuentra activo y un 0 si este se encuentra desactivado.

Figura 20

Campos de variables - ThingSpeak



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Generación de Clave API

En la Figura 21 se muestra la generación de una clave API en ThingSpeak para permitir que el NodeMCU envíe los datos al canal creado. Esta clave API es necesaria para establecer la conexión entre el NodeMCU y ThingSpeak.

Figura 21

Write API Key del canal - ThingSpeak



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Configurar y Activar Acciones de la Alerta

Se realiza la configuración y activación de una alerta enviada vía electrónico con el uso de Matlab Analysis, servicio de ThingSpeak.

Configuración del Canal ThingSpeak

Canal. Monitoreo de Sistema de Riego

ID del Canal. 2422921

API Key de Lectura. 7EGR0G1ZJCVN6NNJ

API Key de Alertas. TAKVtcQACK6O2ahvGeX

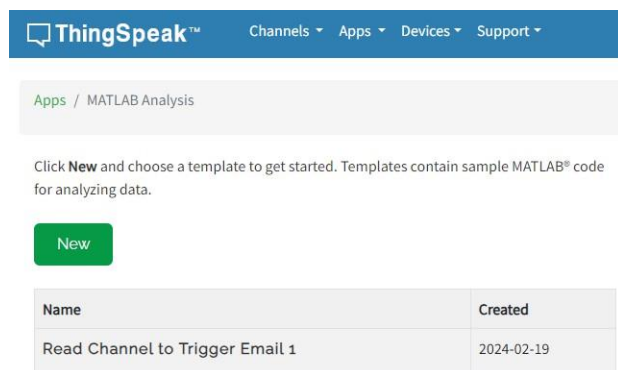
Acceso: Público (<https://thingspeak.com/channels/2422921>)

Creación del Análisis MATLAB

Se crea un análisis en MATLAB para monitorear el estado del campo 4 del canal, que indica la activación (1) o desactivación (0) del sistema de riego como se muestra en la Figura 22 y 23.

Figura 22

Matlab Analysis de ThingSpeak



Click **New** and choose a template to get started. Templates contain sample MATLAB® code for analyzing data.

[New](#)

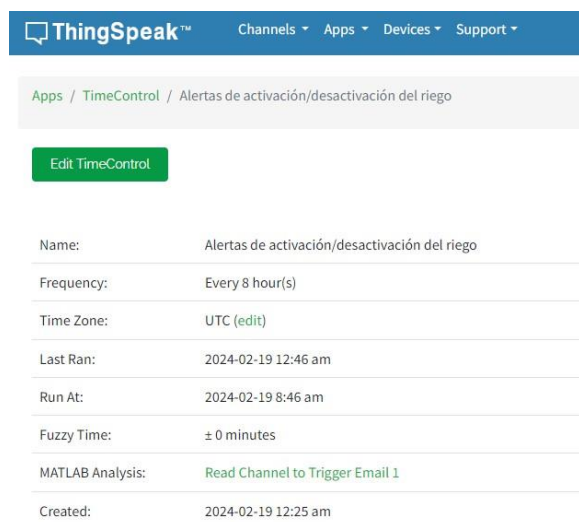
Name	Created
Read Channel to Trigger Email 1	2024-02-19

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Este análisis se ejecuta periódicamente a través de TimeControl, una aplicación de ThingSpeak que activa el análisis en intervalos regulares.

Figura 23

TimeControl de ThingSpeak



[Edit TimeControl](#)

Name: Alertas de activación/desactivación del riego

Frequency: Every 8 hour(s)

Time Zone: UTC (edit)

Last Ran: 2024-02-19 12:46 am

Run At: 2024-02-19 8:46 am

Fuzzy Time: ± 0 minutes

MATLAB Analysis: [Read Channel to Trigger Email 1](#)

Created: 2024-02-19 12:25 am

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Creación del Código de la Alerta

El código de MATLAB que se visualiza en la Figura 24 establece los parámetros necesarios para enviar la alerta, incluyendo el cuerpo del mensaje, el asunto del correo

electrónico y la API de alertas, se utiliza la API de alertas de ThingSpeak para enviar notificaciones por correo electrónico, el análisis comprueba el estado del campo 4 del canal para determinar si se ha activado o desactivado el riego, si se detecta un cambio en el estado del riego o una pérdida de conexión con el monitoreo, se genera un mensaje específico para la alerta de correo electrónico a la dirección especificada (beatrizduarteburgos2014@gmail.com).

Figura 24

Código Matlab Analysis para Envío de Alertas

The screenshot shows the ThingSpeak web interface for a MATLAB analysis. The channel name is "Read Channel to Trigger Email 1". The MATLAB code is as follows:

```

1 % Definición de credenciales
2 channelId = 2422921; % ID de tu canal
3 alertApiKey = 'TAKVtcQACKG02ahvGx'; % API Key de alertas
4 correoDestino = 'beatrizduarteburgos2014@gmail.com'; % Correo destino
5
6 % URL y opciones para enviar la alerta
7 alertUrl = 'https://api.thingspeak.com/alerts/send';
8 opciones = weboptions("HeaderFields", ["ThingSpeak-Alerts-API-Key", alertApiKey]);
9
10 % Leer los datos del canal (Field 4)
11 datosRiego = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 4, 'NumPoints', 1);
12
13 % Verificar si se está monitoreando
14 if isempty(datosRiego)
15     % Enviar alerta si no hay datos (pérdida de conexión)
16     alertSubject = 'Alerta: Pérdida de conexión';
17     alertBody = 'No se está monitoreando el sistema de riego. Verificar la conexión.';
18 else
19     % Determinar el estado del riego
20     estadoRiego = datosRiego(1);
21
22     % Definir el asunto y cuerpo del correo según el estado del riego
23     if estadoRiego == 1
24         alertSubject = 'Alerta: Activación del riego';
25         alertBody = 'El riego ha sido activado.';
26     elseif estadoRiego == 0
27         alertSubject = 'Alerta: Desactivación del riego';
28         alertBody = 'El riego ha sido desactivado.';
29     else
30         alertSubject = 'Alerta: Estado desconocido';
31         alertBody = 'Se ha detectado un estado desconocido en el sistema de riego.';
32     end
33 end
34
35 % Intentar enviar la alerta
36 try
37     % Enviar la alerta
38     webwrite(alertUrl, 'subject', alertSubject, 'body', alertBody, 'email', correoDestino, opciones);
39     disp('Alerta enviada con éxito.');
```

Below the code are "Save and Run" and "Save" buttons. On the right side, there is a "Help" section with "My Channels" and "New Channel" buttons, and a "Most recent channels" list showing channel details for "Monito" (Channel ID: 2422921).

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

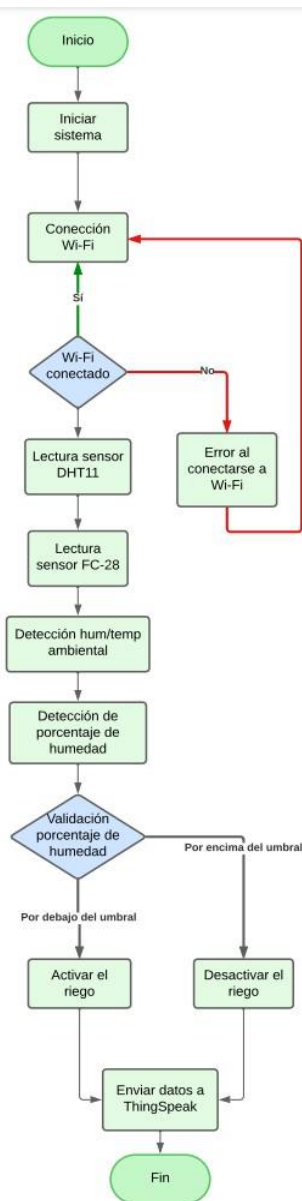
Algoritmos Requeridos para el Prototipo de Sistema de Riego Automatizado

Diagrama de Flujo

Se realiza la construcción de un diagrama de flujo que describe el proceso paso a paso del algoritmo a implementar en el prototipo de sistema de riego automatizado.

Figura 25

Diagrama de flujo del sistema



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Código del Algoritmo de Funcionamiento del Sistema – Arduino IDE

Inclusión de Bibliotecas.

Figura 26

Bibliotecas

```
sketch_feb20a.ino
1  #include <ESP8266WiFi.h>
2  #include <DHT.h>
~
```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Las líneas que se muestran en la Figura 26 incluyen las bibliotecas necesarias para el funcionamiento del código. ESP8266WiFi.h proporciona las funcionalidades para la conexión WiFi en el módulo ESP8266, mientras que DHT.h es la biblioteca para el sensor de temperatura y humedad DHT.

Definiciones y Constantes

Figura 27

Definiciones y Constantes

```
-
4  #define DHTPIN D1          // Pin del sensor DHT11
5  #define DHTTYPE DHT11     // Tipo de sensor DHT
6
```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Estas líneas de la Figura 27 definen el pin al que está conectado el sensor DHT11 y el tipo de sensor que se está utilizando.

Figura 28

Conexiones

```
7  const char* ssid = "iPhone de Lorena"; // Nombre de la red WiFi
8  const char* password = "lorena123"; // Contraseña de la red WiFi
9
10 const char* host = "api.thingspeak.com";
11 const char* writeAPIKey = "55RNS86Q6HJHPTB3";
12
```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Como se muestra en la Figura 28, se definen las credenciales de la red WiFi a la que se va a conectar el dispositivo, así como la dirección del servidor de ThingSpeak y la clave de escritura para el canal.

Inicialización del Sensor DHT y Pines GPIO.

Figura 29

Inicialización de Sensores

```

13  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
14
15  // Pin del módulo de relé conectado al NodeMCU
16  const int pinRelay = D2;
17  // Pin analógico del sensor de humedad del suelo FC-28
18  const int pinHumedadSuelo = A0;

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Se crea un objeto “DHT” llamado “dht” que se utiliza para interactuar con el sensor DHT11. También se definen las variables que representan los pines GPIO del NodeMCU a los que están conectados el módulo de relé y el sensor de humedad del suelo, respectivamente como se visualiza en la Figura 29.

Configuración Inicial en la Función “setup()”

Figura 30

Configuración Inicial

```

20  void setup() {
21      Serial.begin(115200);
22      delay(10);
23
24      pinMode(pinRelay, OUTPUT);
25
26      dht.begin();
27
28      // Conexión WiFi
29      Serial.println();
30      Serial.println();
31      Serial.print("Conectando a ");
32      Serial.println(ssid);
33
34      WiFi.begin(ssid, password);
35
36      while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
37          delay(500);
38          Serial.print(".");
39      }
40
41      Serial.println("");
42      Serial.println("WiFi conectado");
43      Serial.println("Dirección IP: ");
44      Serial.println(WiFi.localIP());
45  }
46

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

En esta función, según se muestra en la Figura 30, se realiza la configuración inicial del dispositivo. Esto incluye la inicialización de la comunicación serial, la configuración de los pines GPIO, la inicialización del sensor DHT, y la conexión a la red WiFi especificada.

Se imprime en el monitor serie el proceso de conexión a la red WiFi y la obtención de la dirección IP asignada al dispositivo.

Función Principal en “loop()”

Figura 31

Lectura de Variables del Sensor DHT11

```

47 void loop() {
48   float humedad = dht.readHumidity();
49   float temperatura = dht.readTemperature();
50
51   if (isnan(humedad) || isnan(temperatura)) {
52     Serial.println("Error al leer el sensor DHT11");
53     return;
54   }
55

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

En la función loop() dada en la Figura 31, se leen la humedad y la temperatura del sensor DHT11. Se verifica si los valores leídos son válidos. Si alguno de los valores es inválido (por ejemplo, debido a una lectura incorrecta del sensor), se imprime un mensaje de error en el monitor serial.

Figura 32

Lectura de Variable del Sensor FC-28

```

56 // Lectura del sensor de humedad del suelo FC-28
57 int valorHumedadSuelo = analogRead(pinHumedadSuelo);
58
59 // Convertir el valor leído a un porcentaje de humedad del suelo (0-100)
60 float porcentajeHumedadSuelo = map(valorHumedadSuelo, 0, 1023, 0, 100);
61

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Según se observa en la Figura 32, se lee el valor analógico del sensor de humedad del suelo FC-28. Este valor se convierte a un porcentaje de humedad del suelo utilizando la función `map()` para mapear el valor leído al rango de 0 a 100.

Figura 33

Condiciones de Activación/Desactivación del Riego

```

62  if (porcentajeHumedadSuelo < 60) {
63      digitalWrite(pinRelay, LOW); // Desactivar riego
64      enviarDatosThingSpeak(humedad, temperatura, porcentajeHumedadSuelo, 0); // Envía un 0 al campo de estado del riego
65  } else if (porcentajeHumedadSuelo >= 80) {
66      digitalWrite(pinRelay, HIGH); // Activar riego
67      enviarDatosThingSpeak(humedad, temperatura, porcentajeHumedadSuelo, 1); // Envía un 1 al campo de estado del riego
68  } else {
69      // En cualquier otro caso, mantener el estado actual del riego
70  }
71
72  delay(60000); // Esperar 1 minuto antes de enviar nuevos datos
73  }

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

La Figura 33 presenta la parte del código que controla el riego en base a la humedad del suelo detectada por el sensor. Si la humedad del suelo es inferior al 60%, se desactiva el riego, lo que se refleja en el pin de salida `pinRelay` estableciéndose en `LOW`. Además, se envían los datos de humedad, temperatura y el estado del riego a `ThingSpeak`, con el valor 0 para indicar que el riego está desactivado.

Por otro lado, si la humedad del suelo es igual o mayor al 80%, se activa el riego, representado por el pin de salida `pinRelay` que se establece en `HIGH`. Además, se envían los datos de humedad, temperatura y estado del riego a `ThingSpeak`, utilizando el valor 1 para indicar que el riego está activado.

Función enviarDatosThingSpeak()

Figura 34

Envío de Datos a ThingSpeak

```

75 void enviarDatosThingSpeak(float humedad, float temperatura, float porcentajeHumedadSuelo, int estadoRiego) {
76     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
77         WiFiClient client;
78         const int httpPort = 80;
79         if (!client.connect(host, httpPort)) {
80             Serial.println("Error al conectarse a ThingSpeak");
81             return;
82         }

```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Esta función mostrada en la Figura 34 se encarga de enviar los datos recolectados al servidor de ThingSpeak, primero se verifica si el dispositivo está conectado a la red WiFi, se crea un objeto WiFiClient llamado client para establecer la conexión con el servidor de ThingSpeak a través del puerto HTTP estándar (puerto 80).

Figura 35

Creación de URL y Especificación de Campos de Envío de Datos

```

84     String url = "/update?api_key=";
85     url += writeAPIKey;
86     url += "&field1=";
87     url += String(porcentajeHumedadSuelo); // Field 1: Humedad de suelo
88     url += "&field2=";
89     url += String(temperatura); // Field 2: Temperatura ambiental
90     url += "&field3=";
91     url += String(humedad); // Field 3: Humedad ambiental
92     url += "&field4=";
93     url += String(estadoRiego); // Field 4: Estado del riego
94

```

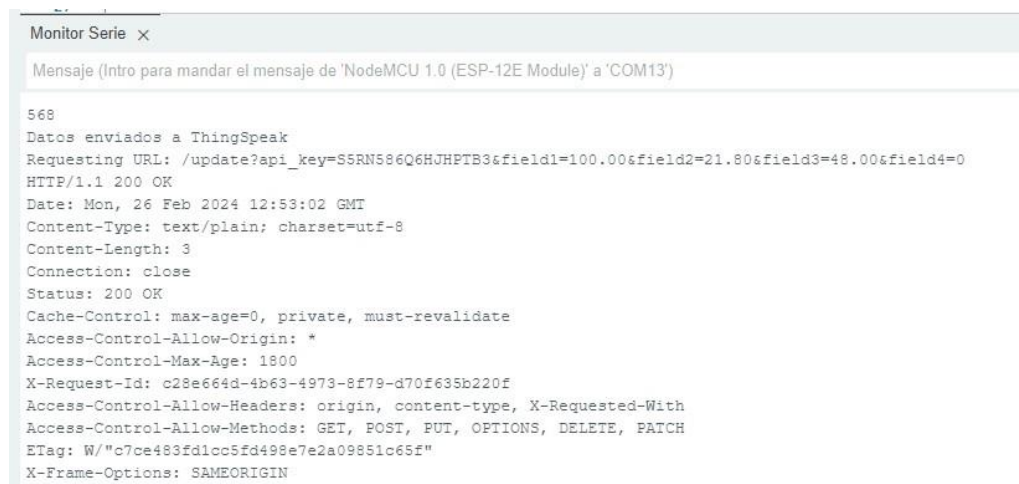
Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Se construye una URL que contiene la clave de escritura del canal de ThingSpeak (writeAPIKey) y los valores de los campos de datos (humedad del suelo, temperatura, humedad ambiental y estado del riego) como se observa en la Figura 35.

Monitor Serie de Arduino IDE

Figura 37

Monitor Serie



```
Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' a 'COM13')

568
Datos enviados a ThingSpeak
Requesting URL: /update?api_key=S5RN586Q6HJHPTB3&field1=100.00&field2=21.80&field3=48.00&field4=0
HTTP/1.1 200 OK
Date: Mon, 26 Feb 2024 12:53:02 GMT
Content-Type: text/plain; charset=utf-8
Content-Length: 3
Connection: close
Status: 200 OK
Cache-Control: max-age=0, private, must-revalidate
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Max-Age: 1800
X-Request-Id: c28e664d-4b63-4973-8f79-d70f635b220f
Access-Control-Allow-Headers: origin, content-type, X-Requested-With
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, OPTIONS, DELETE, PATCH
ETag: W/"c7ce483fd1cc5fd498e7e2a09851c65f"
X-Frame-Options: SAMEORIGIN
```

Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Finalmente, como se observa en la Figura 37, la salida del monitor serie indica la confirmación de que se han enviado los datos recopilados a ThingSpeak mediante una solicitud HTTP exitosa. Primero, muestra el mensaje "Datos enviados a ThingSpeak", indicando que los datos han sido enviados correctamente. Luego, muestra la URL solicitada para enviar los datos a ThingSpeak, incluyendo la API key y los valores de los campos de datos (humedad del suelo, temperatura, humedad ambiental y estado del riego). Después, muestra la respuesta HTTP del servidor ThingSpeak, indicando que la solicitud ha sido exitosa con el código de estado 200 OK, y también muestra la fecha y hora de la respuesta. Finalmente, muestra información adicional sobre el contenido de la respuesta, como el tipo de contenido, la longitud del contenido y el cierre de la conexión.

El código completo se presenta en los anexos ([ver apéndice A](#)).

Evaluación del Impacto del Sistema de Riego Automatizado

Componentes Construidos

El prototipo de sistema de riego automatizado consta de un sensor de humedad del suelo y uno de temperatura y humedad ambiental, un sistema de riego controlado por un microcontrolador NodeMCU y un sistema de monitoreo de variables ambientales. Estos componentes trabajaron en conjunto de manera efectiva para garantizar un suministro constante de agua y mantener condiciones óptimas de crecimiento para la planta de fresa como se muestra en las Figuras 38, 39 y 40 respectivamente.

Figura 38

Sistema de Riego



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 39

Vista Superior del Sistema de Riego



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Figura 40

Planta de prueba sistema de riego



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Análisis de los Datos Recopilados

Se realizó la recopilación de 912 datos ([Ver anexo 2](#)) en distintos periodos de tiempo que suman un promedio de 13 días con distintas condiciones y constantes ajustes en software, datos

que proporcionan una visión detallada del funcionamiento del sistema de riego automatizado y su predictivo impacto en el cultivo de fresas. Se observó que el sistema mantuvo los niveles de humedad del suelo dentro de los rangos óptimos establecidos, así mismo, se registró un correcto monitoreo de las condiciones ambientales de la planta de fresa, lo que según Proain (2021), posibilita unas condiciones ideales para el desarrollo de la planta.

A través de la recolección de datos en ThingSpeak se realizó a continuación un análisis que tiene como objetivo comprender la relación entre la humedad del suelo, la temperatura y el estado del riego en el sistema. A través de la visualización, correlación y análisis de estos datos, se busca identificar patrones, tendencias y posibles áreas de mejora en el manejo del riego y el cuidado de las plantas. Este análisis permitirá tomar decisiones más informadas para optimizar el uso del agua, mejorar el crecimiento de las plantas y garantizar un entorno óptimo para el cultivo y el no desarrollo de enfermedades.

Se exportó la data del canal de ThingSpeak recopilada de 912 reportes de condiciones (un reporte cada minuto) de humedad de suelo, temperatura ambiental, humedad ambiental y estado de riego; durante dichos reportes se realizaron distintos ajustes en la parametrización y configuración del código del algoritmo de funcionamiento del sistema, para el presente análisis se tomó una muestra conformada por 19 datos recopilados entre 2024-02-28T17:35:17-05:00 y 2024-02-28T17:55:00-05:00 como se muestra a continuación:

Dato inicial: 2024-02-28T17:35:17-05:00.

Figura 41

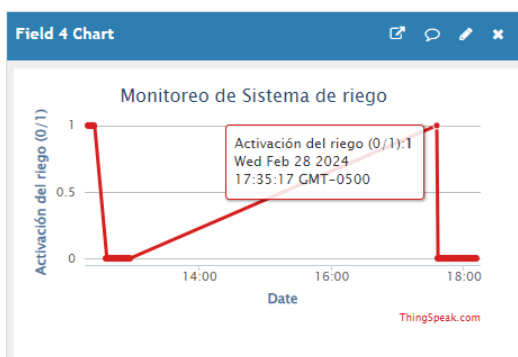
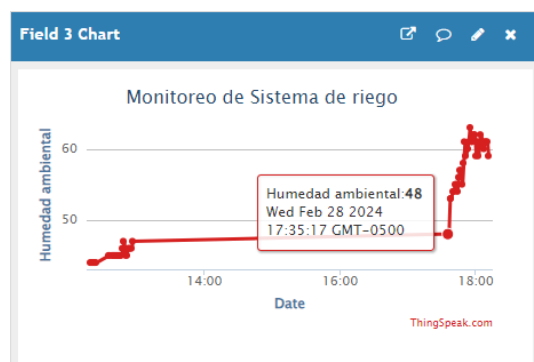
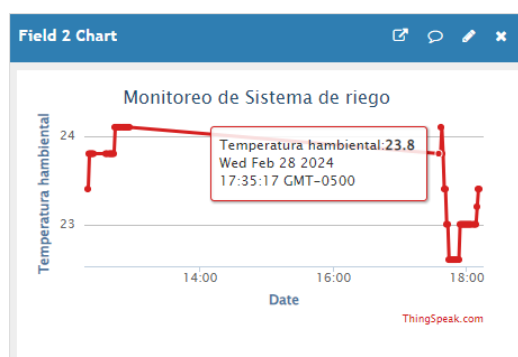
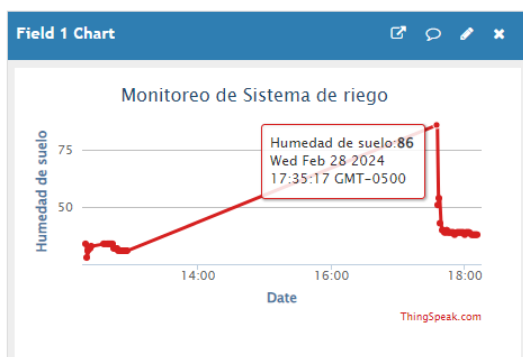
Dato inicial muestra

Channel Stats

Created: 23 days ago

Last entry: about an hour ago

Entries: 912



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Dato final: 2024-02-28T17:55:00-05:00

Figura 42

Dato final muestra

Channel Stats

Created: 23.days.ago

Last entry: about.an.hour.ago

Entries: 912



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Se realizó la exportación de la data en formato de “Archivo de valores separados por comas (.csv)” y se extrae en forma de tabla los datos de la muestra:

Created_at: formato de fecha y hora ISO 8601 de la toma del dato

entry_id: registro único de entrada del dato

field1: dato de humedad de suelo

field2: dato de temperatura ambiental

field3: dato de humedad ambiental

field4: datos de estado del riego

Tabla 1*Muestra de datos para el análisis*

Dato	created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4
1	2024-02-28T17:35:17-05:00	879	86.00	23.80	48.00	1
2	2024-02-28T17:36:23-05:00	880	51.00	23.80	48.00	0
3	2024-02-28T17:37:29-05:00	881	54.00	24.10	53.00	0
4	2024-02-28T17:38:35-05:00	882	43.00	23.80	53.00	0
5	2024-02-28T17:39:41-05:00	883	40.00	23.40	54.00	0
6	2024-02-28T17:40:46-05:00	884	40.00	23.40	54.00	0
7	2024-02-28T17:41:52-05:00	885	39.00	23.00	55.00	0
8	2024-02-28T17:42:53-05:00	886	39.00	23.00	55.00	0
9	2024-02-28T17:43:59-05:00	887	40.00	22.60	54.00	0
10	2024-02-28T17:45:07-05:00	888	39.00	22.60	56.00	0
11	2024-02-28T17:46:13-05:00	889	39.00	22.60	57.00	0
12	2024-02-28T17:47:18-05:00	890	39.00	22.60	57.00	0
13	2024-02-28T17:48:24-05:00	891	39.00	22.60	55.00	0
14	2024-02-28T17:49:30-05:00	892	39.00	22.60	58.00	0
15	2024-02-28T17:50:36-05:00	893	39.00	22.60	61.00	0
16	2024-02-28T17:51:42-05:00	894	38.00	22.60	59.00	0
17	2024-02-28T17:52:48-05:00	895	39.00	22.60	60.00	0
18	2024-02-28T17:53:54-05:00	896	39.00	23.00	61.00	0
19	2024-02-28T17:55:00-05:00	897	39.00	23.00	63.00	0

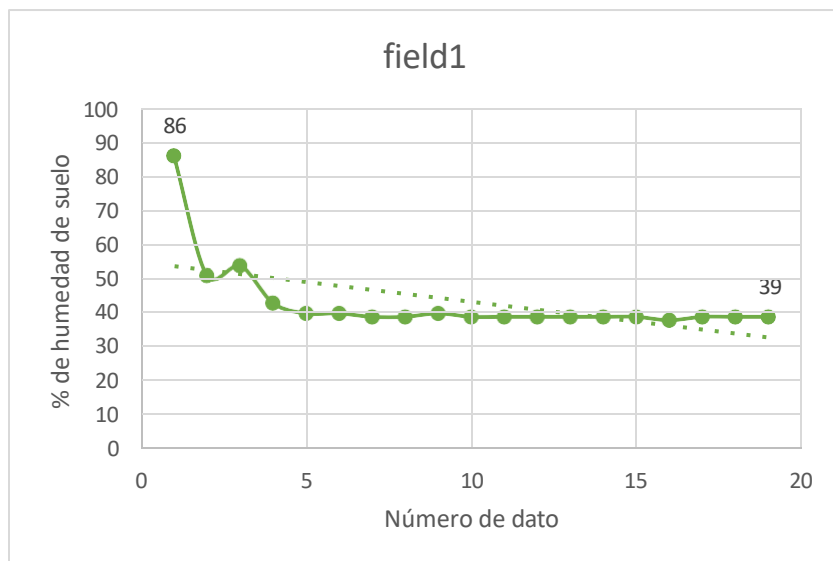
Fuente. Elaboración propia, Bogotá 2024.

A continuación, se presentan las gráficas que muestran la evolución de cada variable desde el primer dato hasta el decimonoveno. Cada gráfica proporciona una representación visual de cómo cambian los valores de cada variable a lo largo del tiempo, permitiendo una mejor comprensión de su comportamiento y posibles relaciones entre ellas:

1. Gráfica de evolución de la humedad de suelo

Figura 43

Análisis Humedad de Suelo



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Dado que los datos proporcionados representan la humedad del suelo medida por el sensor FC-28, donde un valor más alto indica que el suelo está más seco y un valor más bajo indica que está más húmedo, se pueden hacer las siguientes observaciones:

El primer dato inicial de 86% indica que el suelo está muy por encima del límite superior del rango ideal, lo que sugiere que está demasiado seco.

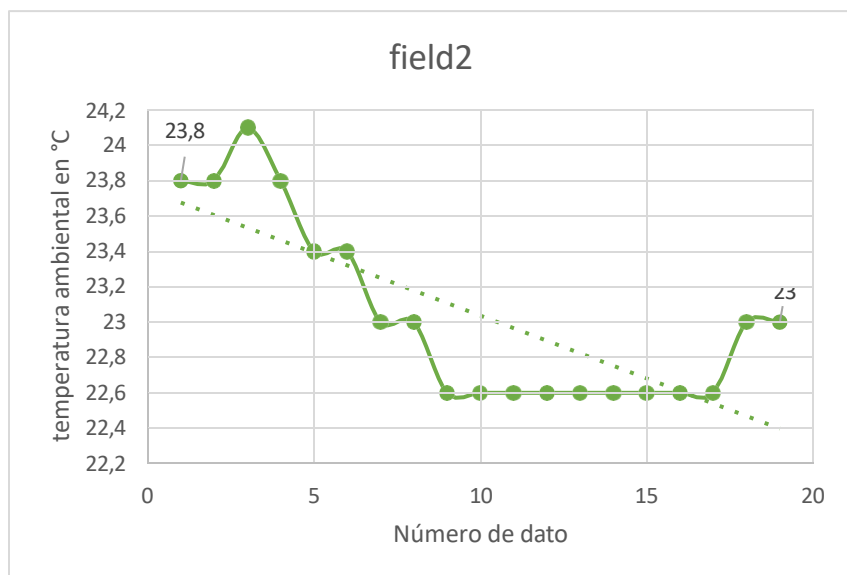
A medida que avanza la serie de datos, los valores disminuyen gradualmente, lo que indica que el suelo se está humedeciendo con el riego.

Hasta el último dato tomado se puede suponer que puede llevar un tiempo antes de que la humedad se distribuya de manera uniforme en el suelo. Durante este proceso de distribución, los valores de humedad del suelo pueden fluctuar hasta que se alcance un equilibrio y la humedad se estabilice dentro de los rangos óptimos.

Gráfico de evolución de la temperatura ambiental

Figura 44

Análisis temperatura humedad



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Dado que los datos proporcionados representan la temperatura ambiental medida en el entorno del sistema de riego, podemos observar lo siguiente:

La serie de datos comienza con valores alrededor de 23-24 grados Celsius, indicando una temperatura inicial relativamente estable.

A medida que avanzan los datos, se observa una ligera tendencia a la baja en la temperatura, con valores que disminuyen gradualmente hasta alcanzar alrededor de 22-23 grados Celsius hacia el final de la serie.

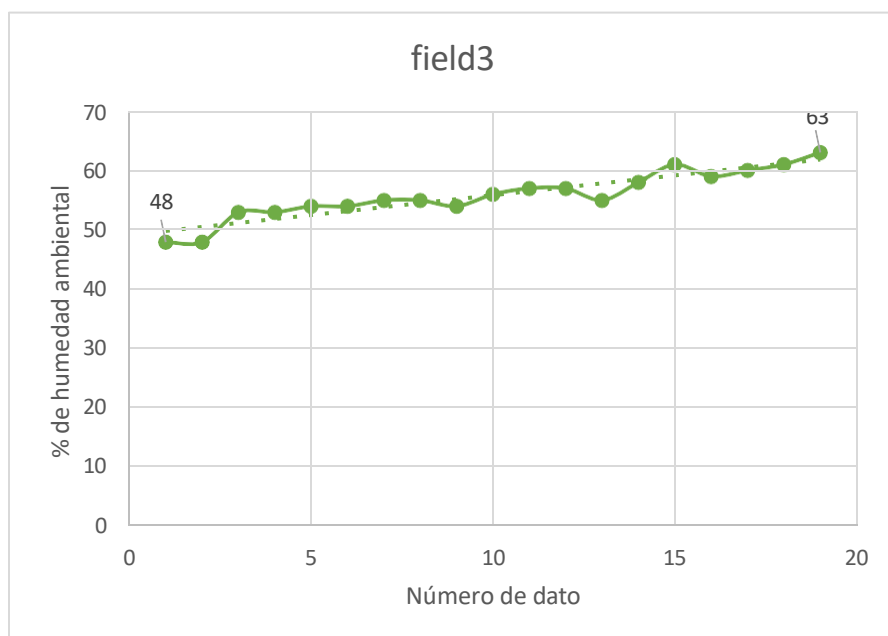
Esto sugiere que, durante el período de monitoreo, la temperatura ambiental ha tendido a disminuir. Esta disminución en la temperatura puede estar relacionada con el proceso de riego y el aumento correspondiente en la humedad del suelo. Cuando se lleva a cabo el riego, el suelo se

humedece, lo que puede conducir a una disminución en la temperatura ambiente debido a efectos de enfriamiento asociados con la evaporación del agua y la transferencia de calor.

2. Gráfico de evolución de la humedad ambiental

Figura 45

Análisis humedad ambiental



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Dado que los datos representan la humedad ambiental medida en el entorno del sistema de riego utilizando el sensor DHT11, es importante tener en cuenta que este sensor mide la humedad de manera que un valor más alto indica una mayor humedad ambiental. Esta métrica es opuesta a la manera en que se mide la humedad del suelo con el sensor FC-28. Se realizan las siguientes observaciones:

La serie de datos comienza alrededor de 48-55%, indicando una humedad inicial en el aire.

A medida que avanzan los datos, se observa una tendencia general al aumento en la humedad ambiental, con valores que aumentan progresivamente hasta alcanzar alrededor de 61-63% hacia el final de la serie.

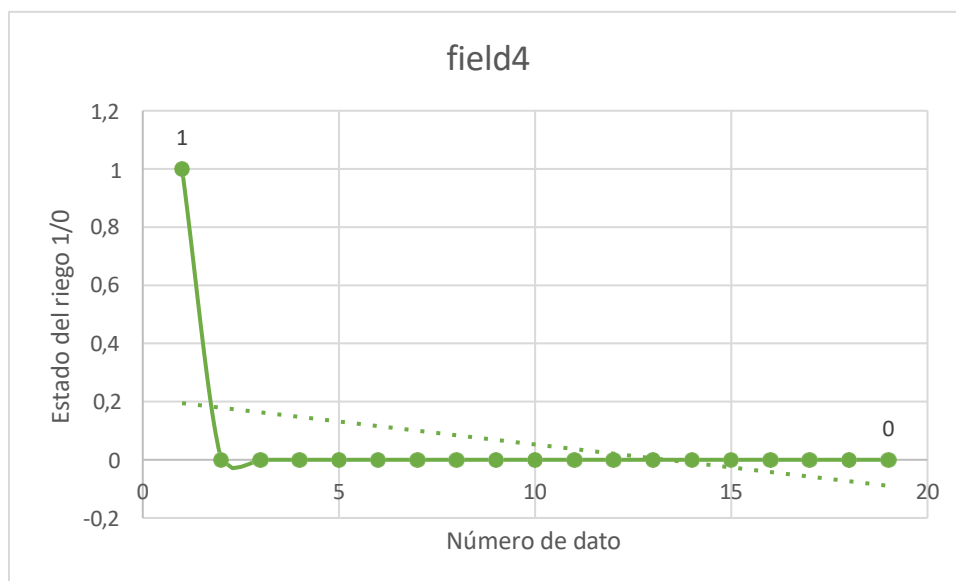
Esta tendencia al aumento en la humedad ambiental puede estar influenciada por varios factores, incluyendo el proceso de riego y el aumento correspondiente en la humedad del suelo. Cuando se riega el suelo, el agua evaporada puede aumentar la humedad en el aire circundante.

Además, la relación observada entre la humedad del suelo, la temperatura y la humedad ambientales puede estar interconectada. Por ejemplo, un aumento en la humedad del suelo debido al riego puede conducir a un aumento en la humedad ambiental a medida que el agua se evapora y se distribuye en el entorno. Del mismo modo, la disminución en la temperatura ambiental puede estar relacionada con el proceso de riego y la evaporación asociada.

3. Gráfico de la evolución del estado del riego

Figura 46

Análisis Estado del Riego



Fuente. Autoría Propia, Bogotá 2024.

Considerando los umbrales de activación y desactivación del riego establecidos previamente en función de la variable “humedad de suelo”, así como los resultados obtenidos en el presente análisis, a continuación, se presentan las observaciones pertinentes:

Al inicio de la serie, el riego se activa (dato 1) debido a que la humedad del suelo está por encima del umbral de activación del 80%. Esto concuerda con la observación de que el suelo estaba muy seco al principio, como se indicó en el análisis de la humedad del suelo.

A partir del segundo dato en adelante, el riego se desactiva (dato 0) y permanece así durante el resto de la serie. Esto sugiere que, después de la primera activación del riego, el suelo alcanzó niveles de humedad aceptables y no fue necesario continuar con el riego.

La desactivación del riego coincide con la disminución gradual de la humedad del suelo observada a lo largo de la serie, lo que indica que el riego cumplió su función de aumentar la humedad del suelo hasta alcanzar un nivel óptimo.

Comparación y Evaluación de Resultados con Métricas Establecidas en los objetivos

Durante el período de recopilación de datos, se compararon los resultados obtenidos con las métricas establecidas en los objetivos del proyecto. Se observó que el sistema de riego automatizado cumplió con éxito los objetivos establecidos. Se logró mantener los rangos óptimos de humedad del suelo y se monitorearon las variables ambientales relevantes para proporcionar condiciones ideales de crecimiento para obtener la siguiente evaluación de impacto:

Reducción de Enfermedades

Durante la implementación del prototipo de sistema de riego automatizado, se observó un control y monitoreo efectivo sobre las condiciones ambientales que afectan el cultivo de fresas. Es importante destacar que, si bien el objetivo de este proyecto no es medir la reducción de enfermedades, el control y monitoreo sobre las condiciones ambientales es un factor crucial en la

prevención de enfermedades en las plantas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los resultados específicos sobre la reducción de enfermedades requerirían un estudio más extenso y específico, lo cual puede ser considerado en investigaciones futuras e interdisciplinarias.

El control preciso de la humedad del suelo proporcionado por el sistema de riego automatizado ha contribuido a crear un ambiente menos favorable para el desarrollo de enfermedades como la botritis, la antracnosis, el fusarium , entre otras. De acuerdo con Gestiriego (2024), mantener los niveles óptimos de humedad del suelo, evitando el encharcamiento y garantizando un drenaje adecuado, es fundamental para prevenir la proliferación de patógenos y la aparición de enfermedades. El sistema de riego automatizado ha demostrado su eficacia en proporcionar un suministro constante de agua, evitando fluctuaciones bruscas que puedan estresar a las plantas y aumentar su vulnerabilidad a enfermedades.

Mejora en la Productividad del Cultivo

Se espera un aumento en la productividad del cultivo de fresas debido al sistema de riego automatizado. Al mantener los rangos óptimos de humedad del suelo y monitoreo de las variables ambientales relevantes, como la temperatura y la luminosidad, es posible crear un entorno de crecimiento ideal para las plantas, lo que sugiere un aumento en la producción y una mejora en la calidad de la cosecha. Estos beneficios se proyectan como resultados futuros gracias al sistema de riego automatizado, ya que según el director de agricultura de la cadena de tecnología Netafim (2023), la tecnificación del riego puede conllevar a un incremento del 25% - 30% del rendimiento agrícola.

Beneficios Futuros del Análisis Predictivo de Variables Ambientales

El monitoreo continuo de las variables de temperatura y humedad ambientales se realiza con el propósito de realizar un análisis predictivo a futuro. Este análisis busca entender en

profundidad cómo estas variables afectan la humedad del suelo y, por consiguiente, el funcionamiento del sistema de riego. El objetivo es anticipar cómo variaciones en la temperatura y humedad ambiental influirán en la humedad del suelo, permitiendo ajustes precisos en el riego para garantizar condiciones óptimas de crecimiento de las plantas de fresa. Además, este análisis predictivo tendrá un impacto significativo en la producción agrícola al permitir prever y gestionar de manera más eficiente el consumo de agua en diferentes condiciones climáticas, ya sea durante el verano o el invierno. Esta capacidad de anticipación ayudará a optimizar el uso de recursos hídricos y a mantener una producción estable y de alta calidad a lo largo del año, independientemente de las variaciones climáticas.

Propuesta de Plan de Mejoras del Prototipo de Sistema de Riego Automatizado

Después de obtenidos los resultados del proyecto, se contemplan algunas acciones futuras que contribuyan a la reducción de las enfermedades en las plantas de fresa y aumentar la producción, optimizando el uso de recursos hídricos, tiempo y energía.

Propuestas

Monitoreo del pH del Agua y del Suelo

Integrar sensores de pH al sistema para monitorear continuamente el nivel de acidez en el agua de riego y en el suelo. Esto ayudará a garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de las fresas y prevenir problemas relacionados con el pH desequilibrado.

Detección de Nutrientes en el Suelo

Implementar sensores de nutrientes en el suelo para monitorear los niveles de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Esto permitirá ajustar la fertilización de manera precisa y mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo.

Sensores de Detección de Plagas

Incorporar tecnología de detección de plagas con el uso de sensores ópticos y/o acústicos al sistema para identificar y monitorear la presencia de insectos y enfermedades que puedan afectar las plantas de fresa. Esto permitirá una respuesta temprana y eficaz ante posibles brotes de plagas, reduciendo la necesidad de pesticidas y minimizando el daño a los cultivos.

Dispositivos de Disuasión de Aves

Integrar sensores de movimiento o de sonido para detectar la presencia de aves en el área del cultivo. Además, implementar dispositivos de disuasión como espantapájaros automáticos, reflectores de luz intermitente o dispositivos de emisión de sonidos de depredadores naturales de

aves. Esto ayudará a proteger las fresas de los daños causados por los pájaros y a mantener altos niveles de producción.

Monitoreo Remoto y Control

Desarrollar capacidades de monitoreo remoto que permitan a los agricultores supervisar y controlar el sistema de riego automatizado desde cualquier ubicación a través de una aplicación móvil o una plataforma en línea. Esto facilitará la gestión y el seguimiento continuo del cultivo, permitiendo ajustes rápidos en función de las condiciones ambientales y de las necesidades de las plantas.

Cuantificación Precisa del Uso de Agua

Integrar medidores de flujo de agua al sistema para cuantificar de manera precisa el uso de agua durante el proceso de riego. Esto permitirá llevar un registro detallado del consumo de agua en cada ciclo de riego, identificar posibles excesos o deficiencias, y optimizar el uso de este recurso de manera más eficiente.

Automatización Completa del Sistema

Evaluar la viabilidad de una automatización completa del sistema de riego, incluyendo tanto los registros principales como los nodos distribuidos en el cultivo. Esto implicaría implementar tecnologías avanzadas de control y monitoreo que permitan una gestión integral del riego en tiempo real, ajustando automáticamente los niveles de agua según las necesidades específicas de cada área del cultivo. La automatización completa podría mejorar la uniformidad del riego, optimizar el uso de recursos y reducir la intervención manual requerida, aumentando así la eficiencia y la productividad del sistema de riego automatizado.

Capacitación y Soporte Técnico

Proporcionar capacitación y soporte técnico a los agricultores sobre el uso y mantenimiento del sistema de riego automatizado. Esto garantizará un uso adecuado del sistema y maximizará sus beneficios en términos de productividad y rentabilidad.

Resultados Esperados

Mediante la implementación del plan de mejoras, se espera lograr una reducción significativa en las enfermedades que afectan a las plantas de fresa, así como un aumento notable en la producción y calidad de las fresas cosechadas. Este plan de mejoras también tiene como objetivo optimizar el uso de recursos hídricos y energéticos, lo que se traducirá en una mejora en la eficiencia operativa y una reducción de los costos de mantenimiento. Asimismo, se espera que estas mejoras proporcionen una mayor resiliencia ante condiciones climáticas adversas y brotes de plagas en el futuro. Con ello, se anticipa una mejora en la calidad de vida de los agricultores y un aumento en su rentabilidad económica a largo plazo.

Conclusiones

El desarrollo del prototipo de sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías de telemetría y IoT en la agricultura de precisión. Este sistema no solo integra eficazmente dispositivos y tecnologías para adaptar el riego según las condiciones ambientales y de terreno, sino que también sienta las bases para futuras innovaciones en el campo de la agricultura sostenible y la gestión eficiente de recursos en el sector agrícola.

La investigación detallada sobre el estado actual del sistema de riego en el cultivo de fresa en Subachoque, Cundinamarca, y la identificación de escenarios críticos relacionados con el uso del agua que impactan negativamente en las plantas fueron fundamentales. Estos hallazgos sirvieron como punto de partida para comprender a fondo las necesidades específicas del riego en la región, orientando así el diseño de un sistema de riego automatizado.

La definición meticulosa de los rangos óptimos y parámetros de control del sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, se basó en un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales y de suelo que propician enfermedades en las plantas. Estos criterios de diseño posibilitaron la mitigación de los riesgos asociados a la humedad del suelo.

El diseño del prototipo de sistema de riego automatizado para el cultivo de fresas en Subachoque, Cundinamarca, se caracterizó por una integración cuidadosa y eficiente de recursos tecnológicos avanzados, como el NodeMCU y la plataforma ThingSpeak. Esta elección estratégica de tecnologías adecuadas no solo optimizó el funcionamiento del sistema, sino que también lo hizo más accesible y adaptable para su implementación en el sector agrícola, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible y la promoción de prácticas agrícolas innovadoras.

La evaluación exhaustiva del impacto del prototipo de sistema de riego automatizado en la eficiencia del uso del agua y en la optimización del tiempo, mediante un monitoreo detallado de variables ambientales y de terreno, arrojó resultados significativos. Estos resultados respaldan la efectividad del sistema en la gestión eficiente del recurso hídrico, y la generación de ambientes menos propicios para el desarrollo de enfermedades en la planta de fresa.

Referencias Bibliográficas

Corponor. (2018). Pamplona. *Diagnóstico Rural*.

<https://corponor.gov.co/pot/Pamplona/Formulacion/Pamplona%20Diagnostico%20Rural.pdf>

Izaguirre Castellanos, E. (2012). *Sistemas de automatización*. Editorial Fijó. [https://elibro-](https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/124330?page=10)

[net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/124330?page=10](https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/124330?page=10)

Vargas Gaitán (2016). *La agricultura colombiana en el contexto de la globalización*. El

Campesino.co. [https://elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-](https://elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion/#:~:text=La%20agricultura%20juega%20un%20papel,el%20desarrollo%20sostenible%20de%20Colombia.)

[globalizacion/#:~:text=La%20agricultura%20juega%20un%20papel,el%20desarrollo%20sostenible%20de%20Colombia.](https://elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion/#:~:text=La%20agricultura%20juega%20un%20papel,el%20desarrollo%20sostenible%20de%20Colombia.)

Pérez. (2021). *El agua en la agricultura: importancia y manejo*. Club Agua.

[https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-](https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-manejo#:~:text=Los%20contaminantes%20en%20el%20agua%20agr%C3%ADcola%20pueden%20da%C3%B1ar%20la%20calidad,los%20suministros%20de%20agua%20agr%C3%ADcolas.)

[manejo#:~:text=Los%20contaminantes%20en%20el%20agua%20agr%C3%ADcola%20pueden%20da%C3%B1ar%20la%20calidad,los%20suministros%20de%20agua%20agr%C3%ADcolas.](https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-manejo#:~:text=Los%20contaminantes%20en%20el%20agua%20agr%C3%ADcola%20pueden%20da%C3%B1ar%20la%20calidad,los%20suministros%20de%20agua%20agr%C3%ADcolas.)

Parra Pamplona. (2018). *Cadena Nacional de la Fresa*. Ministerio de Agricultura.

[https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2018-11-](https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2018-11-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

[30%20Cifras%20Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2018-11-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

Linares Lozano. (2021). *Cifras sectoriales – Fresa*. Ministerio de agricultura.

[https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-](https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

[31%20Cifras%20Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

Tesfaendrias, M. (2022). *Diseases Diagnosed On Plant Samples Submitted To The New Brunswick Department Of Agriculture, Aquaculture And Fisheries Plant Disease Diagnostic Laboratory In 2021*. *Inventaire Des Maladies Des Plantes Au Canadá*, 52.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07060661.2022.2076342#page=52>

InfoAgro.com, (2021). *El cultivo de fresa. Frutas Tradicionales*. Sitio Web:
https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/fresas.htm#:~:text=La%20fresa%20es%20un%20cultivo,algo%20inferiores%20a%200%20%C2%BAC.

BASF Agro Colombia. (2023). *Gestión agrícola y eficacia en la agricultura. Producción agrícola eficaz y análisis de datos BASF*. Sitio Web:
<https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/produccion-agricola-analisis-de-datos.html>

EOS DATA ANALYTICS. (2023). *Tecnología Agrícola: Evolución, Retos Y Su Impacto. Prácticas Agrícolas*. Sitio Web: <https://eos.com/es/blog/tecnologias-en-la-agricultura/#>

Flavio Capraro, Santiago Tosetti, Vicente Mut. (2018). *Telemetría Agrícola. Un acercamiento hacia las nuevas tecnologías disponibles en riego de precisión. Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa. Repositorio institucional de la UNLP*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/71432>

Rojas, L. (2020). *Sistema de sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana de Bogotá*. [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33791>

Santos, L. K. C. (2018). *El uso de la tecnología en la agricultura*. Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación, 2(14), 25-32.

<https://scholar.archive.org/work/q6447dhn6fed3dqby7qiie2xvq/access/wayback/http://journalprosciences.com/index.php/ps/article/download/70/231>

Aux, J., & Benavides, L. (2015). *Control automatizado de un sistema de riego y fertirriego*.

<http://sired.udenar.edu.co/1591/>

AWS. (2023). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?*. Centro de conceptos de computación en la nube. Sitio Web: <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20IoT%2C%20o%20Internet,como%20entre%20los%20propios%20dispositivos>.

Alfonso-Ruiz, O. I., Pérez-Marroquín, G. J., Berdeja-Arbeu, R., García-García, M. D., &

Desiderio-Lorenzo, J. (2021). *Implementar un sistema SCADA para controlar el riego en la producción de fresa en invernadero. Sexto Congreso Nacional De Riego, Drenaje Y Biosistemas*.

<https://www.riego.mx/congresos/comeii2021/files/ponencias/extenso/COMeII-21008.pdf>

Gavilanes Pilco, A. D. (2022). *Optimización del sistema de riego usando agricultura 4.0 para el cultivo de fresas en la Asociación de Campesinos de Miñarica (Bachelor's thesis, Ambato: Universidad Tecnológica Indoamérica)*.

<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/4458>

Altamirano H. (2004). *El Cultivo De La Fresa Para El Ciclo Otoño-invierno, En California, Estados Unidos De Norte América. Repositorio Biblioteca Central del CUCBA, México*.

http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43/Altamirano_Hernandez_Rosa_Celia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Portal agrario regional de Perú (2020). *Ficha Técnica para el Cultivo de la Fresa*. Agro La Libertad. Sitio Web:

http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Ficha%20T%C3%A9cnica%20para%20el%20Cultivo%20de%20la%20Fresa_0.pdf

ITSC. (2018). *Manual De Producción De Fresa En Coalcomán Michoacán*. Ingeniería En Desarrollo Comunitario. Instituto Tecnológico Superior De Coalcomán

<https://www.itscoalcoman.edu.mx/content/descargas/vinculacion/MANUAL%20PARA%20CULTIVO%20DE%20FRESA%20EN%20COALCOMAN.pdf>

Idai nature. (2022). *Botrytis: Causas, Daños y Soluciones*. *Biocontrol Agrícola*. Sitio Web:

<https://www.idainature.com/noticias/biocontrol-agricola/botrytis-causas-danos-y-soluciones/#:~:text=La%20botrytis%20o%20podredumbre%20gris,como%20condiciones%20de%20poca%20luz.>

Dominio Agrícola. (2020). *Antracnosis De La Fresa En Corona Y Fruta (Colletotrichum spp.)*.

Antracnosis en Fresa. Sitio Web: <https://dominioagricola.com/antracnosis-en-fresa/#:~:text=El%20desarrollo%20de%20la%20enfermedad,30%C2%BAC%2C%20temperatura%20%C3%B3ptima%20de%2020%C2%BAC.>

Pedro C. Manuel A. (2022). *Detección temprana de Fusarium en el cultivo de fresa mediante información espectral y modelos de machine learning*. *Horticultura, Interempresas*. Área de Producción Vegetal. Universidad de Sevilla.

<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/407480-Deteccion-temprana-Fusarium-cultivo-fresa-mediante-informacion-espectral-modelos-machine.html>

Antes, todo esto era campo. (2022). *Mildiu: cómo controlar e identificar la enfermedad. Mildiu de la fresa*. Sitio Web:

<https://www.antestodoestoeracampo.net/mildiu/#:~:text=Mildiu%20de%20la%20fresa,-Esta%20enfermedad%20afecta&text=fragariae.,los%20frutos%2C%20con%20depreciaci%C3%B3n%20comercial.>

AgroGM. (2023). *Cómo acabar con la araña roja en el cultivo de la fresa. Frutos rojos*.

Nutrición Vegetal Inteligente. Sitio Web: <https://www.agrogm.com/frutos-rojos/como-acabar-con-la-arana-roja-en-el-cultivo-de-la-fresa/#:~:text=La%20ara%C3%B1a%20roja%20es%20una,hojas%2C%20acabando%20con%20la%20clorofila.>

Sandra Reyes. (2016). *Nematodos En El Cultivo De Fresa. Sintomatología y Control de*

Nemátodos. <https://prezi.com/l6rbzrkihcsy/nematodos-en-el-cultivo-de-fresa/>

Cadavid, A. N., Fernández Martínez, J. D., & Vélez, J. M. (2013). *Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software*. *Prospectiva* (1692-8261), 11(2), 30–39. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.15665/rp.v11i2.36>

TvAgro. (2015). *Cómo Cultivar Fresas en Colombia* - TvAgro por Juan Gonzalo Angel.

[Archivo de video] <https://youtu.be/ULjdAFneKOO>

Proain Teconología Agrícola. (2021). *La humedad del suelo y como monitorearla. Sección:*

clima. Sitio Web: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-y-como-monitorearla#:~:text=La%20humedad%20del%20suelo%20es,no%20crecen%20de%20manera%20id%C3%B3nea.>

Netafim. (2023). Beneficios de la tecnificación del riego en la agricultura. Sitio Web:

<https://www.netafim.co/blog/beneficios-de-la-tecnificacion-del-riego-en-la-agricultura/>

Apéndices

Apéndice A

Código construido para el funcionamiento del sistema

https://drive.google.com/drive/folders/1skkroSI8_pArGDE6LIWZ4v8zibyMefci?usp=sharing

Apéndice B

Data de información de variables recopilada entre el 2024-02-07T18:28:52-05:00 y el 2024-02-

21T09:47:21-05:00 – 912 Datos:

<https://drive.google.com/file/d/1cR2rDt0SwrLKlaJdKTfREwcDHjbaZTnJ/view?usp=sharing>