



Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo para Agricultura

Hidropónica Modular en tiempo real

Alcívar Sacon, Helen Lissete y Pineda Hermosa, Jorge Antonio

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero/a en

Tecnologías de la Información

Ing. Rodríguez Galán, German Eduardo, Mgtr

06 de septiembre 2023

Reporte de verificación de contenido



Plagiarism and AI Content Detection Report

TesisHidroponiav1.pdf

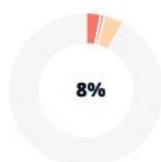
Scan details

Scan time:
September 6th, 2023 at 14:4 UTC

Total Pages:
49

Total Words:
12148

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.9%	347
Minor Changes	0.8%	96
Paraphrased	3.7%	454
Omitted Words	7.4%	903

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	11245

[Learn more](#)

Firma



GERMAN EDUARDO
RODRIGUEZ GALAN

Ing. Rodríguez Galán, Germán Eduardo. Mgtr

Director



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo para Agricultura Hidropónica Modular en tiempo real”** fue realizado por la señorita **Alcívar Sacon, Helen Lissete** y el señor **Pineda Hermosa, Jorge Antonio**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 06 de septiembre de 2023



.....
Ing. Rodríguez Galán, Germán Eduardo. Mgtr

C.C: 0603431685



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Alcivar Sacon, Helen Lissete y Pineda Hermosa, Jorge Antonio**, con cédulas de ciudadanía N° 2351071473 y N° 1718506601, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular **“Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo para Agricultura Hidropónica Modular en tiempo real”** es de mi/nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 06 de septiembre de 2023

Firmas

.....
Helen Lissete

Alcivar Sacon, Helen Lissete

C.C.: 2351071473

.....
Jorge Antonio Pineda Hermosa

Pineda Hermosa, Jorge Antonio

C.C.: 1718506601



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Autorización de Publicación

Nosotros **Alcivar Sacon, Helen Lissete y Pineda Hermosa, Jorge Antonio**, con cédulas de ciudadanía N° 2351071473 y N° 1718506601, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular, “**Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo para Agricultura Hidropónica Modular en tiempo real**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 06 de septiembre 2023

Helen Lissete

Alcivar Sacon, Helen Lissete

C.C.: 2351071473

Firmas

Jorge

Pineda Hermosa, Jorge Antonio

C.C.: 1718506601

Dedicatoria

Con gran cariño y gratitud, dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres, Lissette y Washington, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y en mis estudios, proporcionándome orientación y apoyo incondicional para lograr tanto mis metas personales como académicas.

También quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis hermanas, Littsay, Ivanova y Valentina, quienes han sido mi fuente constante de fuerza y apoyo

Con mucho amor y agradecimiento, para ustedes

Helen Alcivar

A mis queridos padres y querida esposa.

Este trabajo, esta tesis, es el resultado de muchos años de esfuerzo, aprendizaje y constancia. Pero más que un logro personal, es un homenaje a ustedes que han sido la base de mi vida.

Para mis padres, Virginia Hermosa y Jorge Pineda, su amor incondicional, sacrificio y valor han sido mi guía a lo largo de mi trayectoria educativa. Cada paso que doy en este viaje ha sido posible gracias a su continuo apoyo. Su confianza en mí es mi motivación y su ejemplo es mi inspiración.

Para mi esposa, Milena Mora, su amor y comprensión han sido mi refugio durante mis momentos difíciles de estudio y dedicación. Su apoyo inquebrantable y su paciencia infinita me han levantado en tiempos de duda. Has sido mi compañero en cada paso de este viaje y mi fuente de alegría con cada éxito.

Esta tesis lleva su nombre, porque cada página escrita, cada idea investigada y cada logro alcanzado es un homenaje a su amor y confianza en mí. Gracias por ser mi familia, inspiración y motivo para esforzarnos siempre por ser mejor.

Con amor y gratitud eternos,

Jorge Pineda

Agradecimiento

Primero, quiero agradecer a Dios por la salud que he alcanzado hasta este momento de la vida y por ayudarme a alcanzar cada meta que me he planteado. También quiero agradecer a mis padres, cuyo sacrificio y apoyo absoluto me ayudaron durante mis estudios y siempre me proporcionaron palabras de aliento.

Mi profundo agradecimiento a mis profesores quienes diariamente impartieron sus conocimientos durante etapa de mi vida académica. Quiero reconocer especialmente a mi tutor, el Ingeniero Germán Rodríguez, por compartir sus conocimientos y orientarme en el desarrollo de esta propuesta.

A mis amigos y compañeros, quienes a lo largo de mi carrera contribuyeron con sus saberes, consejos, enseñanzas, momentos de alegría y experiencias, lo que hizo que mi tiempo en la universidad fuera una experiencia enriquecedora.

A Littsay, su apoyo durante mi tesis fue de suma importancia. Como mi hermana mayor, sus consejos y su aliento ha sido un recurso invaluable de inspiración para mí. Tu ejemplo de dedicación y amor me ha motivado a dar lo mejor de mí en este camino académico. Estoy muy agradecida por su contribución a mi éxito.

A mi pareja, Joel, le agradezco por ser mi compañero y amigo en esta etapa de mi vida estudiantil, por brindarme amor, conocimiento, alegría y un apoyo inquebrantable.

A mi compañero de tesis, Jorge, por su colaboración invaluable en este proyecto.

Además, quiero expresar mi gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, influyeron en mi vida y en mi desarrollo como persona y profesional.

Helen Alcivar

Me gustaría tomarme un momento para expresar mi más profundo agradecimiento a las personas más importantes de mi vida:

A mi querida esposa y mis amados padres.

Para mis padres, Virginia Hermosa y Jorge Pineda, ellos fueron el sustento de mi existencia. Desde mi niñez hasta el día de hoy, su amor, consejos y sacrificio han marcado el camino de mi vida. Sus valores, enseñanzas y apoyo constante son tesoros que aprecio mucho. Sin ustedes, no estaría donde estoy hoy y estaré eternamente agradecido por lo que han hecho por mí. A mi esposa Milena Mora, gracias por ser una compañera en mi vida y por tu apoyo incondicional. Tu amor, comprensión y paciencia me han apoyado en momentos de alegría y prueba. Eres mi inspiración y felicidad, y no puedo agradecerte lo suficiente por todo lo que haces.

En cada éxito, en cada desafío superado y en cada momento feliz, sé que siempre tengo a mi esposa y a mis padres a mi lado. son mi fuerza y razón de ser, y no puedo expresar mi gratitud por tenerlos en mi vida.

También me gustaría agradecer a mis maestros que me han brindado valiosos conocimientos y herramientas a lo largo de mi trayectoria académica. Sus enseñanzas son la base de este proyecto.

Con todo mi amor y gratitud,

Jorge Pineda

Índice de contenido

Caratula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	8
Índice de figuras.....	13
Índice de tablas.....	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Capítulo I: Introducción	17
Antecedentes	18
Justificación.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo General</i>	20
<i>Objetivos Específicos</i>	20
Capítulo II: Marco teórico	21
Marco Conceptual	21
<i>Agricultura hidropónica modular</i>	21
<i>Riego Hidropónico</i>	21
<i>Sustrato</i>	22
Solución nutritiva.....	22
<i>Principios básicos de la agricultura hidropónica</i>	22
Ventajas y desafíos	23
Control y monitoreo en agricultura hidropónica	24
<i>Temperatura Ambiental</i>	24
<i>Humedad ambiental</i>	25
<i>Conductividad eléctrica</i>	25
<i>Iluminación artificial para fotosíntesis</i>	26
<i>Temperatura de Riego</i>	26
Tecnologías y herramientas utilizadas.....	27
<i>SCRUM</i>	27

Estado del Arte.....	28
<i>Identificación de la necesidad de la revisión</i>	28
<i>Planteamiento de la pregunta de investigación</i>	28
<i>Construcción de la cadena de búsqueda</i>	29
<i>Criterios de Inclusión y Exclusión</i>	29
<i>Proceso de revisión</i>	29
Capítulo III: Materiales y métodos.....	36
Estudio y Requerimientos.....	36
Requerimientos Funcionales	36
Requerimientos No Funcionales.....	37
Definición de Roles.....	38
Planificación del Backlog del Sistema.....	38
Definición de los Sprint.....	39
Programación de las Etapas.....	41
Criterios de aceptación por Sprint.....	44
Implementación del sprint 1	47
Evaluación de diseños que cumplan con una estructura modular	48
Impresión en 3D del sistema hidropónico modular seleccionado	49
Implementación del sprint 2.....	50
Implementación de sensores sobre el ESP-WROOM-32	50
Etiqueta de los datos	51
Sensor DTH11.....	52
Sensor TDS	52
Sensor DS18B20	53
Sensor HC-SR04	54
Módulo LDR.....	54
Implementación del sprint 3.....	55
<i>Burndown Chart primer sprint</i>	57
<i>Burndown Chart segundo sprint</i>	58
Burndown Chart tercer sprint	59
Capítulo IV: Resultados	60
Resultado del sprint 1	60
Resultado del sprint 2.....	60
Resultado del sprint 3	61

Factibilidad Económica.....	62
Capítulo VI: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.....	65
Conclusiones.....	65
Referencias.....	68

Índice de figuras

Figura 1	48
Figura 2	49
Figura 3	50
Figura 4	52
Figura 5	52
Figura 6	53
Figura 7	54
Figura 8	55
Figura 9	56
Figura 10	57
Figura 11	58
Figura 12	59
Figura 13	60
Figura 14	61
Figura 15	62

Índice de tablas

Tabla 1	34
Tabla 2	36
Tabla 3	37
Tabla 4	38
Tabla 5	39
Tabla 6	40
Tabla 7	40
Tabla 8	41
Tabla 9	42
Tabla 10	43
Tabla 11	44
Tabla 12	45
Tabla 13	45
Tabla 14	47
Tabla 15	51
Tabla 16	63
Tabla 17	63
Tabla 18	63
Tabla 19	64

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de control y monitoreo para agricultura hidropónica modular en tiempo real. Se utilizó el marco de gestión de proyectos SCRUM, mediante el cual hemos estructurado y gestionado todo un conjunto de tareas de manera colaborativa para alcanzar el mejor resultado para el objetivo planteado. En conjunto, hemos configurado una serie de sensores que coordinan mediciones de variables importantes en la agricultura hidropónica como la temperatura ambiental, humedad ambiental, temperatura del agua de riego, sólidos disueltos totales para evaluar la cantidad de nutrientes, cantidad de agua de riego, y niveles óptimos de luz para la fotosíntesis. Para la recolección y transporte de datos hemos utilizado el protocolo de mensajería ligero llamado Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), además, se implementó un servidor en donde se ejecutó el servicio Mosquitto que fue el broker que proporcionó un método ligero de publicación/suscripción de mensajes, y el software NODERED, que es un editor de flujos para conectar y establecer comunicación entre los sensores. Para la presentación y visualización de los datos, se diseñó un dashboard amigable, para ofrecer a los usuarios la capacidad de monitorear y controlar con precisión las condiciones adecuadas de un cultivo hidropónico de lechuga. Los resultados muestran que la implementación de este sistema afecta de manera positiva al rendimiento de la agricultura hidropónica, específicamente con un cultivo de lechuga, porque se controlaron variables como la cantidad de nutrientes requeridos para que el cultivo crezca de forma satisfactoria.

Palabras clave: Agricultura Hidropónica, IoT, Mosquitto, MQTT.

Abstract

This degree project aims to design and implement a control and monitoring system for real-time modular hydroponic agriculture. The SCRUM Project management framework has been used, through which we have structured and managed a whole set of tasks in a collaborative way to achieve the best result for the stated objective. Overall, we have implemented a series of sensors that coordinate measurements of important variables in hydroponic agriculture such as ambient temperature, ambient humidity, irrigation water temperature, total dissolved solids to assess the amount of nutrients, amount of irrigation water, and optimal light levels for photosynthesis. For data collection and transport, we used the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) lightweight messaging protocol, and implemented a server running the Mosquitto service, which is a broker providing a lightweight method of publishing/subscribing messages, and the NODERED software, which is a stream editor for connecting and communicating between sensors. For data presentation and visualization, a user-friendly dashboard was designed to provide users with the ability to accurately monitor and control the appropriate conditions of a hydroponic lettuce crop. The results show that the implementation of this system positively affects the performance of hydroponic agriculture, specifically with a lettuce crop, because variables such as the amount of nutrients required for the crop to grow satisfactorily were controlled.

Keywords: Hydroponics, IoT, Mosquitto, MQTT.

Capítulo I: Introducción

La hidroponía constituye de un conjunto de técnicas, que permiten ejecutar un cultivo vegetal en donde los nutrientes son esenciales para el crecimiento del mismo. La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO que significa agua y PONOS trabajo, haciendo referencia a un trabajo con agua. La hidroponía es un método de cultivo en el cual no se utiliza tierra, en su lugar se implementa agua en la cual se adicionan soluciones nutritivas que contienen los elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las mismas. No obstante, para lograr maximizar los beneficios de esta técnica de cultivo es necesario poseer un monitoreo constante y preciso de los parámetros ambientales de las plantas. (José Beltrano, 2015)

Las tecnologías revolucionarias permiten la conexión y comunicación entre dispositivos, los dispositivos inteligentes que se conectaran a una red de la internet de las cosas (IoT) y toman distintos datos, los sensores que van a medir las variables físicas, ya que los datos son integrados a través de protocolos de comunicación y luego son enviados a una base de datos para ser analizados, después del análisis se utilizaran para activar o desactivar sistemas inteligentes con funciones específicas. Por ende, al implementar IoT en los cultivos hidropónicos se podrá tener un control más eficiente y se lograrán automatizar los factores que influyen en el crecimiento de las plantas, tales como la humedad, la temperatura, el pH, la calidad de agua, entre otros. (Karen Rose, 2015)

El objetivo de esta investigación se basa en el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de un cultivo Hidropónico modular, buscando crear un ambiente idóneo para el crecimiento de lechuga crespa, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental asociado a la agricultura tradicional. Por ello se busca desarrollar un sistema integral que permita el monitoreo en tiempo real de las condiciones del cultivo, así como la automatización de acciones correctivas para mantener un ambiente idóneo para nuestro cultivo hidropónico.

Antecedentes

La agricultura hidropónica ha ganado creciente interés en todo el mundo debido a su capacidad para producir alimentos de manera eficiente y sostenible en entornos urbanos y rurales. En el contexto específico de Santo Domingo de los Tsáchilas, la implementación de un sistema de control y monitoreo en la agricultura hidropónica de lechuga encuentra su justificación en una serie de antecedentes que destacan la pertinencia y los beneficios de esta tecnología innovadora.

Santo Domingo de los Tsáchilas se encuentra en una región con un clima tropical húmedo, que puede presentar variaciones en las condiciones climáticas a lo largo del año. Un sistema de control y monitoreo permitiría adaptar las variables ambientales como la temperatura, humedad y luz artificial a las necesidades óptimas de crecimiento de la lechuga, contrarrestando los desafíos climáticos y aprovechando los recursos disponibles de manera eficiente.

La hidroponía, por naturaleza, utiliza menos agua que los métodos tradicionales. Al implementar un sistema de control, se puede optimizar aún más el riego, evitando el desperdicio de agua y contribuyendo a la conservación de este recurso valioso.

La agricultura hidropónica es conocida por su menor impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales, ya que reduce la necesidad de pesticidas y evita la erosión del suelo. La implementación de un sistema de control podría fortalecer estos aspectos al permitir un uso más preciso de nutrientes y minimizar la generación de residuos.

La adopción de sistemas de control y monitoreo en la agricultura es un ejemplo claro de la integración de la tecnología en la producción de alimentos. Esto no solo moderniza las prácticas agrícolas, sino que también atrae la atención y el interés de inversores, instituciones educativas y organismos gubernamentales.

Justificación

La aplicación de sistemas de monitoreo y control empleando la Internet de las cosas (IoT) en la agricultura hidropónica proporciona múltiples ventajas que respaldan su integración con esta área agrícola.

La agricultura hidropónica ya es reconocida por su eficiencia en el aprovechamiento del agua, pero con el IoT, se puede elevar esta eficiencia a un nivel aún más alto. Los sensores conectados pueden medir de forma precisa y en tiempo real la cantidad de agua, el nivel de nutrientes, la temperatura y otros aspectos ambientales, lo que posibilita un aprovechamiento más preciso y óptimo de los recursos, evitando el desperdicio de agua y maximizando el rendimiento del cultivo.

El IoT permite a los agricultores supervisar y controlar sus sistemas de cultivo desde cualquier ubicación con acceso a Internet. Esto es beneficioso especialmente para los agricultores que operan en áreas remotas o que tienen múltiples ubicaciones de cultivo.

Gracias a la recopilación y análisis de datos en tiempo real, los agricultores pueden obtener información valiosa sobre el comportamiento del cultivo y el ambiente en el que se encuentra. La agricultura hidropónica se ha convertido en una opción sostenible en comparación con los métodos tradicionales. Con el uso de dispositivos IoT, esta sostenibilidad se puede mejorar aún más al asegurar un uso más responsable de los recursos naturales y reducir la huella ambiental.

En resumen, la implementación de sistemas de monitoreo y control mediante el Internet de las cosas en la agricultura hidropónica brinda ventajas significativas en términos de eficiencia, productividad y sostenibilidad. Esta tecnología prometedora está transformando la forma en que los agricultores administran sus cultivos, abriendo un camino hacia un futuro agrícola más inteligente y eficiente.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e Implementar un Sistema de Control y Monitoreo para Agricultura Hidropónica Modular en tiempo real.

Objetivos Específicos

Diseñar e implementar el componente hardware para el control y monitoreo de Agricultura Hidropónica Modular.

Desarrollar el componente software de control y monitoreo en tiempo real

Realizar una comparativa entre los resultados obtenidos a través del sistema de control y monitoreo implementado y los métodos tradicionales de cultivo hidropónico

Ejecutar pruebas y validaciones del sistema con el propósito de evaluar su precisión y eficacia en la recolección de datos.

Capítulo II: Marco teórico

Marco Conceptual

Agricultura hidropónica modular

La hidroponía es un método de cultivo de plantas diferente al cultivo tradicional. En el cual, es imprescindible utilizar soluciones acuosas ricas en nutrientes para alimentar directamente las raíces de las plantas, permitiendo un control preciso de las condiciones de crecimiento. Logrando un crecimiento eficiente y rápido de las plantas en comparación con la agricultura convencional en suelo.

La agricultura hidropónica modular es un sistema de cultivo que utiliza unidades independientes y escalables para cultivar plantas en un entorno controlado. Cada módulo consta de su propio sistema hidropónico, lo que permite ajustar las condiciones de crecimiento de manera individual. Esta modularidad facilita la expansión y la gestión eficiente de cultivos en diferentes espacios, al tiempo que ofrece un control detallado sobre factores como el agua, los nutrientes y la iluminación para optimizar el rendimiento de las plantas.

Cada módulo podría equiparse con su propio sistema de iluminación y climatización, lo que le brinda la oportunidad de optimizar las condiciones de crecimiento de las plantas.

Riego Hidropónico

El riego hidropónico es una técnica de cultivo de plantas basado en el abastecimiento de nutrientes y agua directamente a las raíces sin el uso de la tierra. Asimismo, la ausencia de tierra previene problemas con enfermedades transmitidas por el suelo y malas hierbas. De igual forma se sabe que este es el método más eficiente de cultivo de agua debido a que circula a través del sistema y genera menos desperdicio.

Sustrato

En la agricultura hidropónica el sustrato ocupa un papel principal para el soporte de las raíces de las plantas. A discrepancia del cultivo tradicional en el cual las plantas crecen en el suelo. Estos sustratos, como lana de roca, fibra de coco o perlita, proveen refuerzo y duración a las raíces, logrando que la planta adquiera la solución nutritiva circundante de los nutrientes necesarios. El sustrato en hidroponía actúa como pie para las raíces y ayuda a nutrir la distribución apropiada

Solución nutritiva

La solución nutritiva es una composición líquida de nutrientes esenciales que son beneficiosos para las plantas en los sistemas hidropónicos. Además, este mecanismo es fundamental porque proporciona a la flora los nutrientes que necesitan sin tierra. Por otra parte, estos nutrientes son fundamentales para el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. En la hidroponía, la solución nutritiva es administrada directamente a las raíces de las plantas, logrando una rápida absorción de los nutrientes.

Principios básicos de la agricultura hidropónica

La agricultura hidropónica se fundamenta en principios esenciales que posibilitan el crecimiento de las plantas de manera positiva y regulada, sin la necesidad de utilizar tierra y abonos orgánicos. Además, este sistema permite que las raíces de las plantas no entren en contacto inmediato con la tierra, sino que son empapadas o retenidas en una solución nutritiva líquida.

Un sistema de agricultura hidropónica podría contener el cargo de sustratos inorgánicos, estructuras de soporte, la entrega precisa de nutrientes mediante soluciones nutritivas, el monitoreo y control del pH y la conductividad eléctrica, así como

la optimización de las condiciones de luz, temperatura y humedad. Por lo que este enfoque accede a un mayor control del crecimiento de las plantas, uso eficiente de los recursos, producción sin problemas de enfermedades del suelo y la capacidad de cultivar en áreas limitadas o en condiciones desfavorables para la agricultura convencional.

Ventajas y desafíos

La agricultura hidropónica indica que el desperdicio de agua se resta a través del riego controlado y la recirculación de soluciones nutritivas. Además, el uso de la hidroponía cuenta con sistemas que benefician directamente en el rendimiento y crecimiento de los cultivos. Otra ventaja es que permite realizar el cultivo en áreas limitadas, lo cual es especialmente valioso en áreas urbanas donde la tierra es escasa. De igual forma, la hidroponía disminuye el riesgo de enfermedades transmitidas por el suelo logrando cultivos sanos.

Uno de los desafíos que posee la agricultura hidropónica es que los costos iniciales pueden ser más altos que la agricultura tradicional. Así mismo, la instalación de un sistema hidropónico requiere una inversión significativa en equipos y tecnología especializados. Además, la hidroponía requiere de conocimientos técnicos especiales. Es necesario adquirir conocimientos de hidroponía para poder diseñar y manejar apropiadamente el sistema, así como para manejar aspectos relacionados con la nutrición de las plantas.

Control y monitoreo en agricultura hidropónica

Sistemas de monitoreo

Los sistemas de monitoreo son herramientas utilizadas para recopilar y analizar datos en tiempo real y así obtener información precisa y actualizada sobre un proceso, sistema o fenómeno específico.

Estos sistemas están diseñados para recopilar datos de forma continua o periódica, lo que permite un seguimiento y una toma de decisiones instruida. En relación con la hidroponía, estos sistemas brindan un papel clave en el control y la optimización de las condiciones del cultivo. En hidroponía, los sensores se utilizan para medir y controlar variables claves como el pH del agua, la conductividad eléctrica, la temperatura, la humedad y los niveles nutritivos.

Control en tiempo real usando IoT

El control en tiempo real a través de IoT (Internet de las cosas) significa la capacidad de monitorear y controlar dispositivos de forma remota y en tiempo real utilizando una conexión a Internet. Al implementar sensores y dispositivos enlazados, se puede seleccionar variables con sus respectivos datos en tiempo real como la temperatura, la humedad, el pH del agua, los niveles de nutrientes y la luz. Asimismo, estos datos se envían a través de una red IoT a una plataforma de monitoreo donde se pueden ver y analizar los datos para tomar decisiones.

Temperatura Ambiental

La temperatura ambiental de la lechuga cressa describe la condición de temperatura ambiente en el que la planta de hoja verde ascenderá y se desarrollará de forma óptima. Además, se conoce que esta planta crece en un rango de temperatura de 15 °C a 25 °C y es de clima templado. Sin embargo, al poseer altas temperaturas

provocan un estrés térmico y esto promueve que la lechuga sea amarga, mientras tanto las temperaturas bajas inhiben el crecimiento y perturban la calidad. Mantener la temperatura ambiental adecuada desempeña un papel fundamental en la preservación de la salud y la calidad de los cultivos de lechuga, asegurando la producción de productos nutritivos y atractivos para el consumo humano.

Humedad ambiental

La humedad ambiental es un factor climático esencial para el cultivo de lechuga. Este indica la cantidad de vapor de agua presente en el sistema que rodea las plantas. Mantener un nivel adecuado de humedad ambiental resulta crucial para el crecimiento óptimo. Un equilibrio cuidadoso entre la humedad y la transpiración de las plantas es vital, ya que un exceso de humedad puede dificultar la regulación térmica y la transpiración eficiente. Por otro lado, una humedad insuficiente puede causar deshidratación y estrés en las plantas. En el caso de la lechuga, se busca mantener una humedad ambiental moderada, preferiblemente entre el 50\% y el 70%, para asegurar su desarrollo saludable y la producción de hojas de alta calidad.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la lechuga es un factor clave que indica la cantidad de sal disuelta en el medio de cultivo (es decir agua). Esta medida es esencial para concretar la agrupación y disponibilidad de nutrientes, impidiendo carencias o excesos que puedan afectar de manera negativa al desarrollo del cultivo. El nivel de conductividad general puede variar según la etapa de crecimiento de la lechuga y el tipo de variedad sembrada, puede variar entre estas cantidades 1,5 y 2,5 mS/cm. Así mismo, la conductividad de los sistemas hidropónicos debe contar con un monitoreo regular para garantizar que la lechuga alcance su máximo potencial de crecimiento de manera eficiente y sostenible

Iluminación artificial para fotosíntesis

La iluminación para la fotosíntesis cumple un papel fundamental en el óptimo crecimiento del cultivo en hidroponía. La fotosíntesis es un proceso de creación de energía y biomasa que depende de la suficiente cantidad, intensidad y calidad de la luz. Además, se recomienda una intensidad de luz de 200 a 400 micromoles por metro cuadrado por segundo para la lechuga y así asegurar una tasa eficaz en la fotosíntesis. Para extender el proceso de crecimiento y rendimiento se recomienda que las plantas reciban de 12 a 16 horas de luz al día. Por otra parte, la disposición de la luz también es importante, siendo la luz blanca la más apropiada para la fotosíntesis. Uno de los beneficios de las luces LED específicas es que ayuda al crecimiento vegetal y proporciona la luz óptima requerida que la lechuga necesita en cada etapa de su ciclo de vida.

Temperatura de Riego

La temperatura de riego en hidroponía de lechuga es un punto favorable en el éxito del cultivo. De igual manera, para un incremento óptimo, se recomienda que el agua se mantenga en una temperatura de riego entre 18°C y 22°C. La temperatura correcta origina la absorción eficaz de nutrientes por parte de las raíces y protege a la planta de posibles daños o falta de agua. Además, si el agua de riego está demasiado fría, ralentizará el metabolismo de la lechuga, lo que repercutirá negativamente en su desarrollo. Por otro lado, si la temperatura del agua es demasiado alta, originará la reproducción de microorganismos no deseados en el sistema hidropónico.

Importancia y beneficios

La siembra tradicional de lechuga implica cultivar la planta en suelos agrícolas mediante la plantación directa de semilla en el terreno, y su desarrollo depende de las condiciones naturales. Esta técnica ofrece un mayor control de los nutrientes y el riego, logrando un crecimiento rápido y eficaz de la planta. De igual forma, la hidroponía ofrece la ventaja adicional de poder efectuarse en espacios pequeños y en áreas con suelos poco convenientes para la agricultura tradicional.

Tecnologías y herramientas utilizadas

SCRUM

SCRUM es un marco de trabajo que permite ejecutar un conjunto de tareas con el objetivo principal de trabajar de manera colaborativa. Con este método de trabajo su puede alcanzar el mejor resultado de un proyecto determinado.

Scrum se enfoca en maximizar la productividad y la entrega de valores, mediante la adaptación continua. En el desarrollo de esta propuesta, se aplica esta metodología para conformar los "sprints" que son los equipos que trabajan en iteraciones cortas y podrían durar de una a cuatro semanas. Durante cada sprint, se definen las tareas del proyecto y se trabajará en ellas inmediatamente. A lo largo del sprint, el equipo realizará reuniones de sincronización para mantener actualizado el progreso y así identificar cualquier impedimento que pueda surgir.

De la misma forma, scrum se enfoca en ciertos roles, siendo los principales "Product Owner" o propietario del producto y el "Scrum Master" o coordinador del equipo de proceso y desarrollo. Los requerimientos funcionales y no funcionales son esenciales para guiar el desarrollo del producto. Los requerimientos funcionales permiten planificar las necesidades del cliente y los usuarios finales. Estos

requerimientos se definen y priorizan a la mano con el "Product Owner", quien personifica los intereses y perspectivas del cliente.

Estado del Arte

En este apartado se presentan los trabajos desarrollados y que tienen relación con el monitoreo y control de sistemas hidropónicos usando IoT. Se revisó de forma sistemática la literatura científica (SLR) siguiendo las pautas de Barbara Kitchenham (Kitchenham Y Brereton, 2013), mediante la planificación, ejecución y documentación de la revisión para elaborar el estado del arte. Los trabajos relacionados deben estar enfocados en métodos y herramientas IoT que se hayan propuesto para el control y monitoreo de sistemas hidropónicos.

Identificación de la necesidad de la revisión

Esta revisión sistemática es necesaria para sintetizar y analizar de manera objetiva y exhaustiva toda la información relevante existente sobre el control y monitoreo de sistemas hidropónicos. Esto permite identificar tendencias, lagunas en el conocimiento y enfoques exitosos previos. Además, ayuda a establecer una base sólida de evidencia y comprender el estado actual del campo de estudio. Con este resumen queremos aportar rigor y coherencia al análisis de la literatura, ofreciendo una perspectiva completa y confiable sobre nuestra propuesta.

Planteamiento de la pregunta de investigación

RQ1: ¿Cómo afecta la implementación de un sistema de control y monitoreo en tiempo real al rendimiento de la agricultura hidropónica modular?

Construcción de la cadena de búsqueda

ES: (Control) AND (Monitoreo OR Supervisión) AND Tiempo Real AND (Agricultura OR Cultivo) AND (Hidroponico OR hidroponía) AND (Rendimiento OR productividad)

EN: (Control) AND (Monitoring OR Supervision) AND (Real-Time) AND (Agriculture OR Cultivation) AND (Hydroponics OR hydroponics) AND (Yield OR Productivity)

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión:

- Artículos desde el año 2018 al 2023
- Artículos escritos en Inglés
- Artículos con una metodología clara y con resultados
- Artículos cuya propuesta se enfoque en la agricultura hidropónica
- Artículos de la librería científicas IEEE, Springer Link

Criterios de Exclusión

- Artículos que no tengan una metodología clara
- Artículos sin resultados
- Artículos que no se enmarquen en agricultura hidropónica

Proceso de revisión

De acuerdo con los autores (Vineeth, 2023) han utilizado tecnologías IoT para medir y controlar las siguientes variables: PH, Sólidos disueltos totales (TDS), Temperatura ambiental, humedad, iluminación. Según los autores la medición se hace en tiempo real utilizando una aplicación móvil en conjunto con una cámara y aplicando

el protocolo MQTT. El tipo de cultivo sembrado ha sido cilantro y fue monitoreado por 18 días.

Según los investigadores del estudio presentado en (Kumar, 2023), han empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para la evaluación y gestión de las siguientes variables: la reducción del consumo de agua, la optimización del uso del espacio y un mayor seguimiento de los niveles de nutrientes. Según estos autores, esta evaluación se lleva a cabo en tiempo real, aunque no se detalla ningún protocolo específico de supervisión. Además, no se ha especificado del tipo de cultivo ni el periodo de tiempo de monitoreo.

Según lo indicado por los autores (Swarup Sahoo, 2022), han empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para la monitorización y gestión de diversas variables, incluyendo la temperatura, la humedad, la calidad del aire y el nivel de agua. Los autores señalan que esta medición se realiza en tiempo real a través de una aplicación llamada Blynk y una pantalla LCD, aunque no proporcionan detalles específicos sobre el protocolo utilizado. Además, no se ha mencionado el tipo de cultivo y la frecuencia de monitoreo.

Según los investigadores (Sobri, 2022), han empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para la medición y gestión de diversas variables, como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica (EC) y el nivel de agua. Los autores indican que esta medición se realiza en tiempo real mediante el uso de las aplicaciones ThingSpeak y Spreadsheet. Sin embargo, no han proporcionado detalles específicos sobre el protocolo IoT utilizado, ni han especificado el tipo de cultivo y/o la frecuencia de monitoreo correspondiente.

De acuerdo con los autores (Sherubha, 2022), se han utilizado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para monitorear el pH y la conductividad eléctrica. No obstante, en el artículo no se ha detallado si esta medición se realiza en tiempo real o cómo se ejecuta su

seguimiento. Además, los autores no han proporcionado información específica sobre el protocolo IoT empleado, el tipo de cultivo y la frecuencia de monitoreo correspondiente.

De acuerdo con los autores (Shirsekar, 2021), se han utilizado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para medir los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, en el artículo no se ha detallado si esta medición se realizó en tiempo real. Además, los autores no han proporcionado información específica sobre el protocolo IoT empleado, el tipo de cultivo y/o la frecuencia de monitoreo correspondiente.

Según los autores (Firdaus, 2021), se han empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para la evaluación de ciertas variables en la agricultura, incluyendo la nutrición de las plantas, el nivel de pH del agua y la temperatura del entorno de cultivo. Además, estos autores han señalado que esta evaluación se llevó a cabo en tiempo real a través de aplicaciones web y Android. Sin embargo, los autores no han detallado información específica sobre el protocolo IoT empleado, aunque mencionan que el tipo de cultivo utilizado fue la col rizada, no han especificado la frecuencia de monitoreo.

De acuerdo con los autores (Bakhtar, 2018), se han utilizado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para evaluar diversas variables en la agricultura, como el pH, el nivel del agua, la humedad, la conductividad eléctrica y la concentración de dióxido de carbono. Los autores han destacado que esta evaluación se realizó en tiempo real, pero no han proporcionado detalles sobre el monitoreo específico. A pesar de ello, en el artículo no se ofrece información detallada sobre el protocolo IoT utilizado. Aunque mencionan que la espinaca es el cultivo empleado, no han especificado la frecuencia de monitoreo.

En la propuesta de (Thakur, 2019), se han aplicado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para analizar diversas variables en el ámbito agrícola. Estas variables incluyen la humedad, la temperatura, la humedad del suelo y el valor de pH del suelo. Los autores han

hecho hincapié en que este análisis se ejecutó en tiempo real y que se utilizó ZigBee para el monitoreo. Sin embargo, el artículo no ha proporcionado información detallada sobre el protocolo IoT utilizado. Se han enfocado en viñedos como el cultivo de interés, no han especificado la frecuencia con la que se realizó el monitoreo.

El estudio de los autores (Alex, 2023) ha empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para analizar diversas variables en el sector agrícola. Estas variables comprenden la gestión de recursos, planificación de cultivos, estrategias de comercialización, selección de pesticidas y predicción de precios. Los autores resaltan que este análisis se efectuó en tiempo real, aunque no han proporcionado detalles específicos sobre una aplicación concreta para el monitoreo. No obstante, el artículo no ofrece información detallada acerca del protocolo IoT utilizado. A pesar de mencionar que se enfocaron en el cultivo de algodón, no se ha especificado la frecuencia con la que se realizó dicho monitoreo.

El estudio de los autores (Elsallam, 2021) se ha apoyado de la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para realizar una evaluación de diversas variables en el ámbito agrícola. Estas variables abarcan elementos como la humedad, la temperatura, la temperatura del líquido nutritivo, los niveles de oxígeno, la temperatura del aire, los niveles de dióxido de carbono, el valor del pH y la conductividad eléctrica. Los autores han enfatizado que este análisis se ejecutó en tiempo real, aunque no han detallado una aplicación concreta para el monitoreo. Sin embargo, el artículo carece de información precisa sobre el protocolo IoT empleado. Aunque indican que se han centrado en el cultivo de cebada, se ha ejecutado un monitoreo quincenal.

En el estudio presentado en (Park, 2009) se han empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para analizar variables como la temperatura de las hojas, la humedad en las hojas, así como la temperatura y la humedad en un invernadero, entre otros factores

ambientales. Los autores resaltan que este análisis se efectuó en tiempo real, utilizando el sistema de control remoto a través de Internet como aplicación específica para el monitoreo. Sin embargo, el artículo no proporciona detalles precisos sobre el protocolo IoT utilizado. A pesar de mencionar que se enfocaron en el cultivo de un invernadero, no han especificado la frecuencia con la que se realizó dicho monitoreo.

En el trabajo de los autores (Gnauer, 2019) se describe un estudio que ha empleado tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para realizar un análisis de diversas variables como la humedad, la temperatura, la temperatura del líquido nutritivo, el nivel de oxígeno, la temperatura del aire, el nivel de dióxido de carbono, el valor de pH y la conductividad eléctrica. Los autores han enfatizado que este análisis se ejecutó en tiempo real y que utilizaron una plataforma basada en Node-RED, meteor.js y meteor kitchen en la nube para el monitoreo. El protocolo de IoT específico utilizado en este estudio fue COAP, aunque el artículo no ha detallado más información relacionada

El proyecto de los autores (Betancourt, 2020) presenta un estudio que ha medido la temperatura y la humedad en las hojas de los cultivos. Los autores destacan que este análisis se realizó en tiempo real y utilizaron un navegador web como herramienta de monitoreo. En cuanto a los protocolos IoT empleados en este estudio, se mencionan MQTT, HTTP y CoAP, aunque el artículo no profundiza en los detalles relativos al tipo de cultivo en particular, y tampoco proporcionan información acerca de la frecuencia con la que se ejecutó el monitoreo.

Tabla 1

Revisión de los atributos para comparar los estudios encontrados en IEEE y Springerlink.

Referencia	VARIABLES Ambientales	Monitoreo	Cultivo	Tiempo
(Vineeth, 2023)	PH, Sólidos disueltos totales (TDS), Temperatura ambiental, humedad, iluminación	App móvil, cámara	Cilantro	18 días
(Kumar, 2023)	Menor consumo de agua, un uso mínimo del espacio, un mayor control sobre los nutrientes	No específicos	No específicos	No específicos
(Swarup Sahoo, 2022)	Temperatura, humedad, calidad del aire, nivel de agua	App Blynk, pantalla LCD	No específicos	No específicos
(Sobri, 2022)	pH, temperatura, EC y nivel de agua	App ThingSpeak y Spreadsheet	No específicos	No específicos
(Sherubha, 2022)	El pH y la conductividad eléctrica	No específicos	No específicos	No específicos
(Shirsekar, 2021)	Niveles de Nitrógeno, Fósforo y Potasio	No específicos	No específicos	No específicos
(Firdaus, 2021)	Nutrición vegetal, el pH del agua y la temperatura del entorno de la planta	App web, Android	Col rizada	No específicos
(Bakhtar, 2018)	Ph, nivel del agua y la humedad, la conductividad eléctrica y la concentración de dióxido de carbono	App web, Android	Espinaca	No específicos
(Thakur, 2019)	La humedad, la temperatura, la humedad del suelo, el valor de PH del suelo	ZigBee	Viñedos	No específicos
(Alex, 2023)	Recursos, la planificación y el cultivo, la comercialización, la selección de pesticidas, la predicción de precios	App web, Android	Algodón	No específicos
(Elsallam, 2021)	Humedad, temperatura, pH y ciclos de luz/oscuridad	No específicos	Cebada	2 semanas
	Temperatura de las hojas, humedad en las hojas, temperatura y humedad en el invernadero, entre otros factores ambientales	sistema de control remoto a través Internet	Invernadero	No específicos
(Gnauer, 2019)	Humedad, temperatura, temperatura del líquido nutritivo, nivel de oxígeno, temperatura del aire, nivel de dióxido de carbono, valor de pH	Meteor.js y meteor kitchen en una nube	Microgreens	7 a 9 días
(Betancourt, 2020)	Temperatura de las hojas y la humedad en las hojas del cultivo	sistema de control remoto a través Internet	No específicos	No específicos

Nota. En cada propuesta se determinó la información para cada uno de los atributos, sin embargo, para algunos trabajos fue complejo encontrar el artículo sin restricciones de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

- **Variables ambientales:** atributo para encontrar los parámetros comunes que se han medido o controlado por los autores, entre los que destacan: temperatura ambiental, humedad, PH, consumo de agua, espacio, calidad de aire, conductividad eléctrica, niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrición vegetal, la selección de pesticidas.
- **Monitoreo:** atributo para encontrar las herramientas comunes de monitoreo y control en un sistema hidropónico, entre las que destacan: Aplicaciones web, Sistema operativo Android, Protocolos de comunicación como Zigbee, Meteor.js, Meteor kitchen, Tecnologías Cloud, Cámaras, App Blynk, Pantallas LCD, App ThingSpeak.
- **Cultivo:** atributo para encontrar el tipo de cultivo que se ha monitoreo y/o controlado, destacan el cilantro, la col rizada, espinaca, viñedos, algodón, cebada.
- **Tiempo de monitoreo:** atributo para encontrar el tiempo de monitoreo o control de los cultivos en horas o días.

Capítulo III: Materiales y métodos

Estudio y Requerimientos

Nuestro principal objetivo es mejorar la gestión y supervisión del cultivo mediante la implementación de un sistema de control y monitoreo para agricultura hidropónica. Para lograrlo, se ha ejecutado una fase inicial de análisis de requerimientos funcionales, esto para garantizar que el sistema cumpla con todas las necesidades operativas (monitoreo y control). Estos requisitos se obtuvieron a través de una entrevista con el Ingeniero Javier Romero, profesor de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, quien nos apoyó y proporcionó toda la información fundamental para el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, se adoptaron prácticas ágiles del marco de trabajo SCRUM, para lograr un enfoque eficiente, adaptable y colaborativo en la implementación de todo el sistema.

Requerimientos Funcionales

En la Tabla 2, se aprecian cada uno de los requerimientos funcionales definidos después de mantener una entrevista con el Ing. Javier Romero.

Tabla 2

Definición de los requerimientos funcionales del sistema

ID	Descripción del requerimiento
RF1	Monitorear y registrar la temperatura ambiental en tiempo real
RF2	Monitorear y registrar la humedad ambiental en tiempo real
RF3	Monitorear y registrar la temperatura del agua en tiempo real
RF4	Monitorear y controlar el sistema de fotosíntesis artificial (luz roja y luz azul)
RF5	Monitorear y controlar el nivel de agua consumida en tiempo real RF6

ID	Descripción del requerimiento
RF6	Monitorear y controlar la conductividad eléctrica del agua de riego para evaluar la cantidad de nutrientes
RF7	El sistema de agricultura hidropónica debe ser modular, acoplable, de fácil instalación e impreso en 3D

Nota. Como se observa en la Tabla 2, hemos enlistados los requerimientos funcionales del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos No Funcionales

En la Tabla 3, se han definido los requerimientos no funcionales, los cuales se determinaron basándonos en el aprendizaje adquirido en el transcurso de la carrera.

Tabla 3

Requerimientos no funcionales del sistema

ID	Nombre	Descripción
RNF1	Interfaz amigable e intuitiva	El sistema contará con una interfaz web amigable para presentar los valores de todos los sensores y establecer indicadores.
RNF2	Conexión Wifi	El sistema se conectará a través de una conexión wifi para el envío y recepción de datos de todos los sensores a través de un módulo NODEMCU.
RNF3	Actualización y visualización de datos	El sistema permitirá la visualización y actualización en tiempo real de los datos.
RNF4	Integridad	Se utilizarán materiales duraderos y de calidad para impedir daños anticipados en los módulos y componentes del sistema.

Nota. Como se observa en la Tabla 3, hemos enlistados los requerimientos no funcionales del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Definición de Roles

Se han establecido los distintos roles y participantes que formarán parte del proyecto, siguiendo las pautas de la metodología SCRUM.

Tabla 4

Descripción de los roles que forman parte del proyecto

Responsabilidad	Asignación
Product Owner	Ing. Javier Romero
SCRUM Master	Ing. Germán Rodríguez Helen Alcivar
Development Team	Jorge Pineda

Nota. Como se observa en la Tabla 4, se describe los roles de las personas participantes que forman parte del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Planificación del Backlog del Sistema

Es una lista de actividades establecidas en los requisitos funcionales, con su respectiva duración en días y su importancia. Esto es requerido para definir las tareas para el diseño del sistema de control y monitoreo hidropónico modular.

Tabla 5*Planificación del backlog del sistema*

Nota. Como se observa en la Tabla 5, se describe una lista de requerimientos con su

Código	Descripción	Prioridad	Estimación	Orden
RF1	Implementar el sistema de monitoreo y registro de temperatura ambiental	ALTA	1	2
RF2	Implementar el sistema de monitoreo y registro de humedad ambiental	ALTA	1	3
RF3	Implementar el sistema de monitoreo y registro de temperatura del agua	ALTA	2	4
RF4	Implementar el sistema de monitoreo y control de fotosíntesis artificial (luz roja y luz azul)	ALTA	5	5
RF5	Implementar el sistema de monitoreo y control del nivel de agua consumida	ALTA	5	6
RF6	Implementar el sistema de monitoreo y control de la conductividad eléctrica del agua para evaluar la cantidad de nutriente	ALTA	12	7
RF7	Impresión 3D del sistema de agricultura hidropónico modular	ALTA	20	1
RNF1	Diseño e Implementación de la Interfaz amigable e intuitiva usando Node-RED y Mosquitto.	MEDIA	20	8

respectiva prioridad. Fuente: Elaboración propia.

Definición de los Sprint

De acuerdo con la jerarquía de los requerimientos funcionales del sistema, se han definido tres Sprints, cada uno con un límite de 34 días y una carga horaria diaria máxima de 6 horas.

Tabla 6*Propuesta de ejecución para el Sprint 1*

Sprint 1			
Duración del Sprint	8 de mayo al 07 de junio de 2023		
Días de trabajo	30		
Miembros del equipo	Días laborables	Horas laborables/día	Horas laborables/sprint
Helen Alcívar	30	6	180
Jorge Pineda	30	6	180
Total			360

Nota. Como se observa en la Tabla 6, visualizamos la propuesta del primer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7*Propuesta de ejecución para el Sprint 2*

Sprint 2			
Duración del Sprint	12 de junio al 15 de julio de 2023		
Días de trabajo	34		
Miembros del equipo	Días laborables	Horas laborables/día	Horas laborables/sprint
Helen Alcívar	34	6	204
Jorge Pineda	34	6	204
Total			408

Nota. Como se observa en la Tabla 7, visualizamos la propuesta del segundo sprint. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8*Propuesta de ejecución para el Sprint 3*

Sprint 3			
Duración del Sprint	17 de julio al 22 agosto del 2023		
Días de trabajo	37		
Miembros del equipo	Días laborable	Horas laborables/día	Horas laborables/sprint
Helen Alcívar	37	6	222
Jorge Pineda	37	6	222
Total			444

Nota. Como se observa en la Tabla 8, visualizamos la propuesta del tercer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Programación de las Etapas

Después de obtener las horas de trabajo de cada miembro del equipo, se asignaron las actividades en función de los requisitos y tareas necesarias para completar el proyecto, junto con sus objetivos.

Sprint 1

Durante el primer Sprint se organizaron las actividades, como primer punto tenemos la impresión 3D del sistema de agricultura hidropónica modular. En la Tabla 9, se observa las actividades que componen el Sprint 1.

Tabla 9*Programación de las etapas del sprint 1*

Sprint N°	1		
Fecha de inicio	08/05/2023		
Fecha de finalización	07/06/2023		
Código	Descripción	Tareas	Tiempo estimado en días
RF7	Construcción del sistema hidropónico modular utilizando tecnología de impresión 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar y evaluar modelos y sistemas 3D de hidroponía modular. • Seleccionar el diseño que tenga propiedades para un armado modular. • Evaluar el funcionamiento de las canastas que portarán las lechugas. • Evaluar los módulos de la torre principal. Evaluar los módulos finales o tapas de distribución de goteo. 	30

Nota. Como se observa en la Tabla 9, visualizamos la programación de las etapas del primer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Sprint 2

Durante el segundo Sprint se organizaron las actividades para cumplir con el control y monitoreo de la temperatura, la humedad ambiental, la temperatura del agua, el sistema de fotosíntesis artificial, nivel de agua consumida y la conductividad eléctrica. En la Tabla 10, se resumen las actividades que componen el Sprint 2

Tabla 10*Programación de las etapas del sprint 2*

Sprint N°	2		
Fecha de inicio	08/05/2023		
Fecha de finalización	07/06/2023		
Código	Descripción	Tareas	Tiempo estimado en días
RF1	Implementar el sistema de monitoreo y registro de temperatura ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Analizar e Investigar los distintos sensores que permitan medir la temperatura ambiental 	3
RF2	Implementar el sistema de monitoreo y registro de la humedad ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Investigar y Analizar los distintos sensores que permitan medir la humedad ambiental 	3
RF3	Implementar el sistema de monitoreo y registro de la temperatura del agua	<ul style="list-style-type: none"> Investigar y Analizar los distintos sensores que permitan medir la temperatura del agua 	4
RF4	Implementar el sistema de monitoreo y control de fotosíntesis artificial	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar e implementar el sistema de luces led que permita emular la fotosíntesis artificial. 	5
RF5	Implementar el sistema de monitoreo y control de nivel de agua consumida	<ul style="list-style-type: none"> Investigar y Analizar los distintos sensores que permitan medir el nivel de agua consumida 	7
RF6	Implementar el sistema de monitoreo y control de la conductividad eléctrica del agua	<ul style="list-style-type: none"> Investigar y Analizar los distintos sensores que permitan medir la conductividad eléctrica del agua 	12

Nota. Como se observa en la Tabla 10, visualizamos la programación de las etapas del segundo sprint. Fuente: Elaboración propia.

Sprint 3

Durante el tercer Sprint se organizaron las actividades para cumplir con el diseño e implementación de la interfaz amigable e intuitiva usando NODERED y Mosquitto. En la Tabla 11, se observa las actividades que componen el Sprint 3.

Tabla 11

Programación de las etapas del sprint 3

Sprint N°	3		
Fecha de inicio	17/07/2023		
Fecha de finalización	22/08/2023		
Código	Descripción	Tareas	Tiempo estimado en días
RNF1	Diseño e Implementación de la interfaz amigable e intuitiva usando NODE- RED y Mosquitto	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar, evaluar el funcionamiento del protocolo Mosquitto. • Analizar y evaluar el funcionamiento del software Node-RED y Mosquitto para programar los flujos de comunicación con los sensores • Implementar una interfaz web para presentar todos los datos mediante NODE- RED Dashboard 	37

Nota. Como se observa en la Tabla 11, visualizamos la programación de las etapas del tercer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Criterios de aceptación por Sprint

Sprint1

Los criterios de aceptación presentados por las partes involucradas para validar producto del sistema de monitoreo del primer Sprint se describen en la Tabla 12.

Tabla 12*Planificación de los criterios de aceptación del Sprint1*

Cód. requerimientos	ID del criterio	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado esperado
RF7	CAS7-1	Módulos del cultivo hidropónico que aseguren la escalabilidad y el modularidad	Reducir el uso de materiales para mejorar el acoplamiento de piezas	Evaluar los diseños que cumplan con un armado modular utilizando Thinkercad y Cura	Piezas de acoplamiento modular y escalable

Nota. Como se observa en la Tabla 12, visualizamos los criterios de aceptación del primer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Sprint2

Los criterios de aceptación presentados por las partes involucradas para validar el sistema de monitoreo del segundo Sprint se describen en la Tabla 13.

Tabla 13*Planificación de los criterios de aceptación del Sprint 2*

Código de requerimientos	ID del criterio	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado esperado
RF1	CAS1-1	Visualización en tiempo real de la temperatura ambiental	Recolección de datos de un sensor de temperatura en Grados centígrados	Implementar el sistema de monitoreo de temperatura ambiental	Acceso web para visualizar datos de temperatura ambiental
RF2	CAS2-1	Visualización en tiempo real de la humedad ambiental	Recolección de datos de un sensor de humedad en G/M3	Implementar el sistema de monitoreo de humedad ambiental	Acceso web para visualizar datos de la humedad ambiental

Código de requerimientos	ID del criterio	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado esperado
RF3	CAS3-1	Visualización en tiempo real de la temperatura del agua	Recolección de datos de un sensor de humedad en Grados centígrados	Implementar el sistema de monitoreo de la temperatura del agua	Acceso web para visualizar datos de temperatura del agua
RF4	CAS4-1	Control en tiempo real del sistema de fotosíntesis artificial	Recolección de datos de un sensor de luz en LX	Implementar el sistema de control y monitoreo de la fotosíntesis artificial	Acceso web para visualizar datos de la luz ambiental para el control de fotosíntesis artificial
RF5	CAS5-1	Visualización en tiempo real del nivel de agua consumida	Recolección de datos de un sensor ultrasonido en Cm.	Implementar el sistema para monitorear la cantidad de agua de riego.	Acceso web para visualizar datos de la cantidad de agua de riego
RF6	CAS6-1	Visualización en tiempo real la conductividad eléctrica	Recolección de datos de un sensor TDS en PPM	Implementar el sistema de monitoreo de conductividad eléctrica	Acceso web para visualizar datos de la conductividad eléctrica

Nota. Como se observa en la Tabla 13, visualizamos los criterios de aceptación del segundo sprint. Fuente: Elaboración propia.

Sprint3

Los criterios de aceptación presentados por las partes involucradas para validar la interfaz del tercer Sprint se describen en la tabla 14

Tabla 14

Planificación de los criterios de aceptación del Sprint 3

Código de requerimientos	ID del criterio	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado esperado
RFN1	CASN1-1	Utilizar el protocolo MQTT para establecer la comunicación del procesador principal (NODE MCU) con un servidor MQTT	Implementación de la comunicación MQTT entre NODE-MCU y Servidor MQTT	Establecer una comunicación fiable y eficiente con un servidor MQTT para el intercambio de datos.	Comunicación bidireccional usando el protocolo MQTT entre el Node-MCU y el servidor MQTT.
	CASN1-2	Usar Node-RED para establecer los flujos de comunicación	Implementación de Flujos de Comunicación utilizando Node-RED	Crear flujos de comunicación eficientes y automatizados entre los sensores.	Implementación exitosa de flujos de comunicación utilizando Node-RED.
	CASN1-3	Implementar un dashboard interactivo online utilizando Node-RED	Crear un dashboard que permita a los usuarios interactuar y visualizar los datos en tiempo real o históricos	Implementación de un dashboard Interactivo utilizando Node-RED	Dashboard funcional e interactivo

Nota. Como se observa en la Tabla 14, visualizamos los criterios de aceptación del tercer sprint. Fuente: Elaboración propia.

Implementación del sprint 1

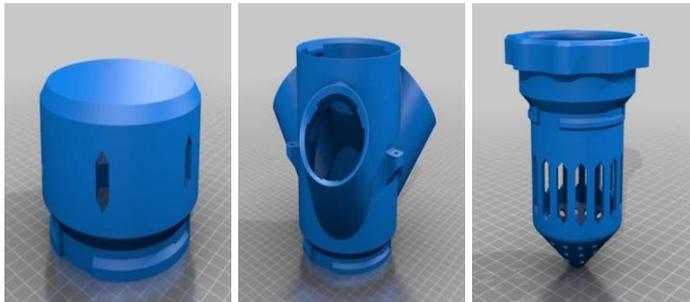
A continuación, se detallan las actividades ejecutadas en cada sprint para alcanzar los criterios de aceptación.

Evaluación de diseños que cumplan con una estructura modular

Este evento se enfocó en la impresión de un sistema de cultivo hidropónico de diseño modular para aprovechar las capacidades de la tecnología de impresión 3D y así fabricar cada uno de los componentes. Para cumplir con esta actividad se han evaluado algunos diseños que se encuentran en páginas como: Thingiverse <https://www.thingiverse.com> y 3dcults <https://cults3d.com> con el objetivo de seleccionar el que mejor se acople a nuestras necesidades (piezas de acoplamiento modular y escalable). Después de evaluar las características de cada propuesta hemos seleccionado el siguiente modelo:

Figura 1

Modelo 3D del sistema hidropónico para armado modular



Nota. Se observa los modelos que usaremos para implementar el sistema modular. Fuente:

Elaboración propia.

Impresión en 3D del sistema hidropónico modular seleccionado

La herramienta que hemos empleado para evaluar la funcionalidad del diseño del sistema hidropónico modular fue el software CURA Ultimaker. En esta plataforma, hemos evaluado el diseño de los módulos que contienen las canastas, las canastas que contendrán las plantas de lechuga, el acoplamiento de la tapa base para instalar un tanque contenedor de agua.

Figura 2

Modelo impreso en 3D utilizando fibra PLA.

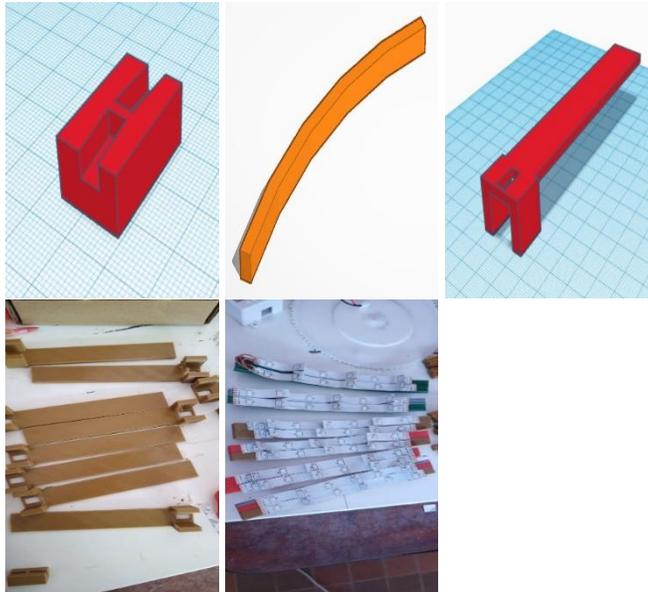


Nota. Se observan los modelos ya impresos con filamento PLA que serán usado para armar el sistema hidropónico. Fuente: Elaboración propia.

Para mejorar la propuesta seleccionada, hemos diseñado e impreso en 3D un conjunto de soportes para la instalación del sistema de fotosíntesis artificial, usando el software Tinkercad y CURA Ultimaker. De igual manera, diseñamos un contenedor que se acople a toda la estructura y que permita almacenar los nutrientes que serán agregados de forma controlada al tanque de agua principal.

Figura 3

Diseño e implementación de los soportes para el sistema de fotosíntesis artificial.



Nota. Nos indica los modelos e impresiones para poder implementar la luz artificial en el sistema hidropónico. Fuente: Elaboración propia.

Implementación del sprint 2

Implementación de sensores sobre el ESP-WROOM-32

En una primera fase del proyecto, hemos probado la funcionalidad y operatividad de todos los sensores con el módulo ESP-WROOM-32 en un protoboard. Los sensores se han conectado cuidadosamente mediante cables de conexión. Además, hemos conectado el sensor DTH11 para medir la humedad y temperatura ambiental, el sensor DS18B20 para medir la temperatura del agua, así como el sensor TDS (Total Dissolved Solids) para medir la cantidad de partículas sólidas solubles presentes en el agua, esto permitió observar la cantidad de nutrientes que tiene el agua de riego. De igual forma el sensor HC-SR04 permite medir la distancia del sensor colocada en la tapa del colector hasta el nivel del agua, con este valor calculamos la cantidad de agua de riego. Por último, hemos incorporado un módulo LDR que nos proporciona información sobre el

brillo ambiental y la intensidad de la luz necesaria para el crecimiento de las plantas. De igual forma se implementaron dos motores, uno para el flujo del riego de agua y otro para la inyección de nutrientes.

Etiqueta de los datos

Las etiquetas se basan en las características de medida de cada sensor detalladas en la Tabla 15. Se describen las propiedades como la característica, etiqueta y medida del sensor para medir factores ambientales. Al sistema hidropónico hay conectados un total de 5 sensores.

Tabla 15

Estudio del sprint 3

Característica	Medida	Sensor
Temperatura y Humedad Ambiental	°C	DHT11
Temperatura/Agua	°C	DS18B20
Nutrientes	PPM	TDS
Luz	LX	Modulo LDR
Nivel Agua	mg/l	HC-SR04

Nota. En la presente tabla describe el estudio del Sprint 3. Fuente: Elaboración propia

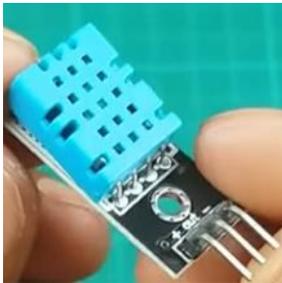
Funcionamiento de cada sensor En este apartado se describen los componentes electrónicos y librerías utilizados para los sensores

Sensor DTH11

Este sensor es un componente que nos ayuda a medir la temperatura y humedad ambiental. No tiene salidas analógicas, ya que su comunicación es digital.

Figura 4

Vista previa del sensor de temperatura y humedad ambiental DTH11



Nota. Sensor utilizado para medir las variables de temperatura y humedad ambiental. Los valores óptimos para el cultivo de lechuga son de 25 a 30 grados.

Fuente: Elaboración propia.

Sensor TDS

Es un dispositivo que mide la concentración de sólidos disueltos en una solución. Aunque opera digitalmente, su salida es analógica, y esta puede variar en función de la cantidad de sólidos en la solución.

Figura 5

Vista previa del sensor de calidad del agua TDS



Nota. El sensor TDS mide en partes por millón (ppm) cuantos miligramos de solido soluble hay disuelto en el agua. Permitiendo obtener la cantidad nutrientes que tiene el agua, la cantidad óptima para la lechuga ronda los 900 ppm. Fuente: Elaboración propia.

Sensor DS18B20

Este sensor es un componente que nos ayuda con la medición de la temperatura del agua y cuenta con una entrada/salida analógica para transmitir señales.

Figura 6

Vista previa del sensor de temperatura del agua DS18B20



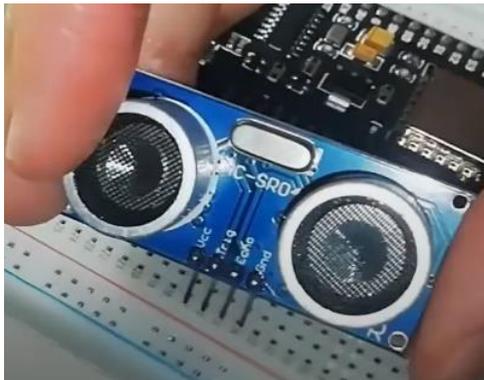
Nota. Sensor utilizado para medir la variable de la temperatura del agua. Los valores óptimos de temperatura de agua rondan los 10 a 20 grados. Fuente: Elaboración propia.

Sensor HC-SR04

Es un componente utilizado para medir distancias de manera precisas este aplica pulsos ultrasónicos para calcular la distancia entre el sensor y un objeto cercano y además emite y recibe señales analógicas durante este proceso.

Figura 7

Vista previa del sensor de ultrasonido HC- SR04



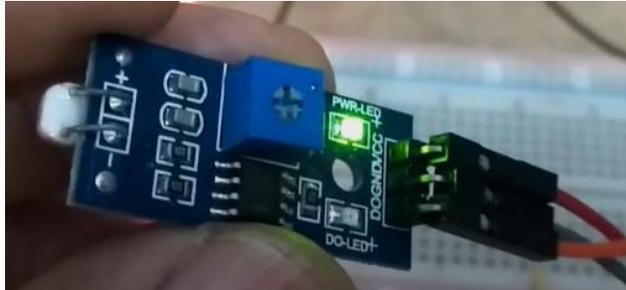
Nota. El sensor HC-SR04 permite medir la distancia por medio de ultrasonidos en un rango de 2cm a 250cm. Permitiendo medir el nivel del agua del tanque del sistema hidropónico. Fuente: Elaboración propia.

Módulo LDR

Es un dispositivo utilizado para medir la intensidad de la luz en su entorno. Así mismo cuenta con entradas y salidas analógicas compatibles con dispositivo como Arduino.

Figura 8

Vista previa del módulo de luminiscencia LDR



Nota. El módulo LDR es un módulo sensor con una foto resistencia que permite medir la intensidad de la luz en lúmenes. Controlando el tiempo de luz artificial que se necesita para la fotosíntesis de la lechuga. Fuente: Elaboración propia

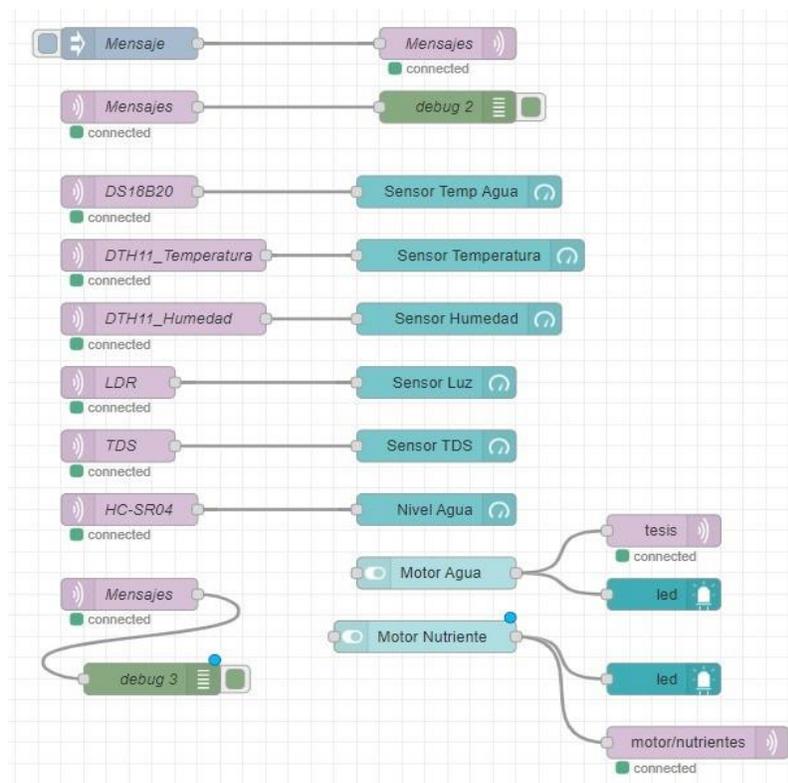
Implementación del sprint 3

Inicialmente, hemos configurado los módulos MQTT en Node-RED para establecer la comunicación bidireccional con el broker MQTT. Además, se implementaron los módulos requeridos para el panel de control (dashboard) con el propósito de mostrar los datos procedentes de MQTT de manera efectiva. Para mejorar la experiencia de visualización en dispositivos móviles, adaptamos los módulos del panel de control para que se optimicen en pantallas más pequeñas.

Se realizó una modificación en la seguridad de Node-RED para activar las credenciales, tanto en Node-RED como en el panel de control (dashboard). Esto se hizo con el objetivo de fortalecer la protección y controlar el acceso a ambas interfaces. De igual manera se implementó un sistema de verificación de usuario tanto para el dashboard como para el Node-RED.

Figura 9

Configuración de los nodos y flujos de comunicación en Node-RED



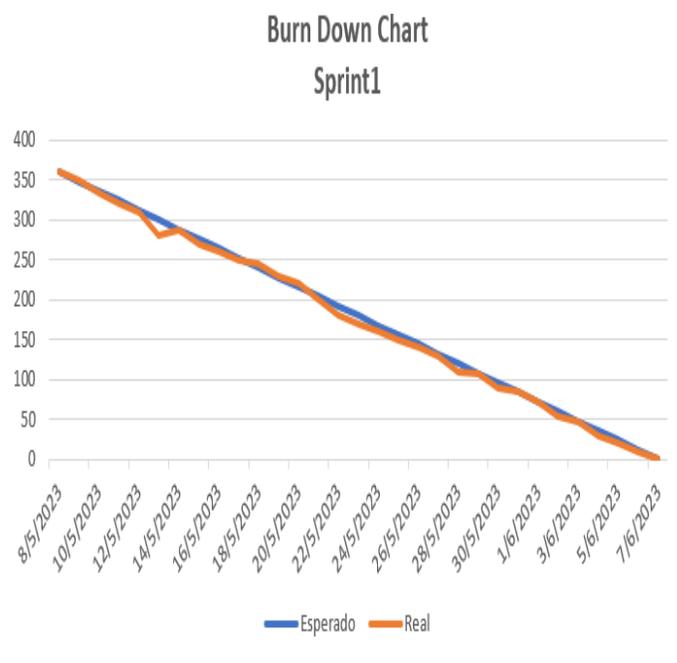
Nota. La implementación de estos nodos permitió la interrelación entre el módulo esp- wroom-32 con el dashboard de Node-RED, esto permitió ver en tiempo real los datos de nuestro sistema de cultivo. Fuente: Elaboración propia.

Burndown Chart primer sprint

En la figura se muestra la secuencia de la ejecución del primer sprint en donde se evidencia el desarrollo de cada tarea paso a paso.

Figura 10

Primer Sprint



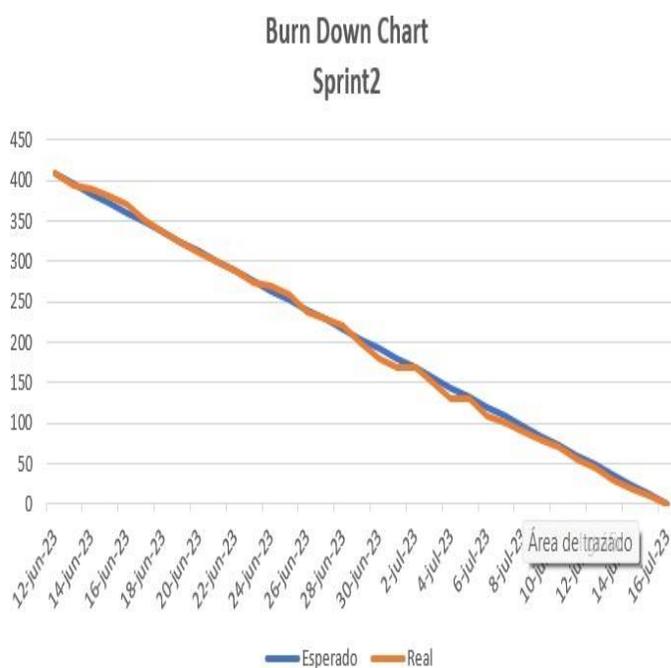
Nota. Muestra el avance de las tareas establecida en el Sprint 1. Fuente: Elaboración propia

Burndown Chart segundo sprint

En la figura se muestra la secuencia de la ejecución del segundo sprint en donde se ha desarrollado paso a paso cada tarea.

Figura 11

Segundo Sprint



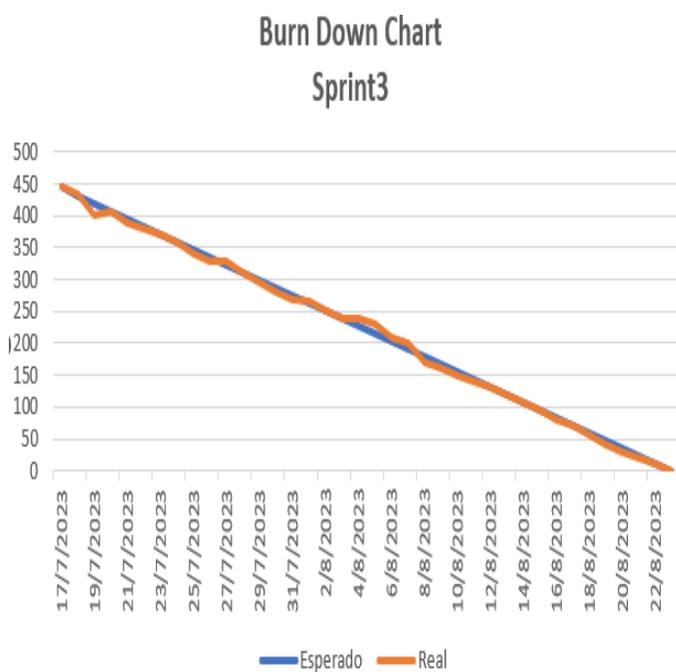
Nota. Visualizamos el avance de las tareas establecida en el Sprint 2. Fuente: Elaboración propia

Burndown Chart tercer sprint

En la figura se muestra la secuencia de la ejecución del tercer sprint en donde se ha desarrollado paso a paso cada tarea.

Figura 12

Tercer Sprint



Nota. La figura muestra el avance de las tareas establecida en el Sprint 3. Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV: Resultados

Resultado del sprint 1

Se logró ensamblar de manera exitosa los módulos del sistema hidropónico empleando piezas impresas en 3D. Del mismo modo, se desarrolló un diseño de iluminación artificial con el fin de promover la fotosíntesis.

Figura 13

Implementación del sistema hidropónico.



Nota. Observamos el funcionamiento de las luces rojas y azules para ayudar a realizar la fotosíntesis durante la noche, permitiendo tener un cultivo eficiente.

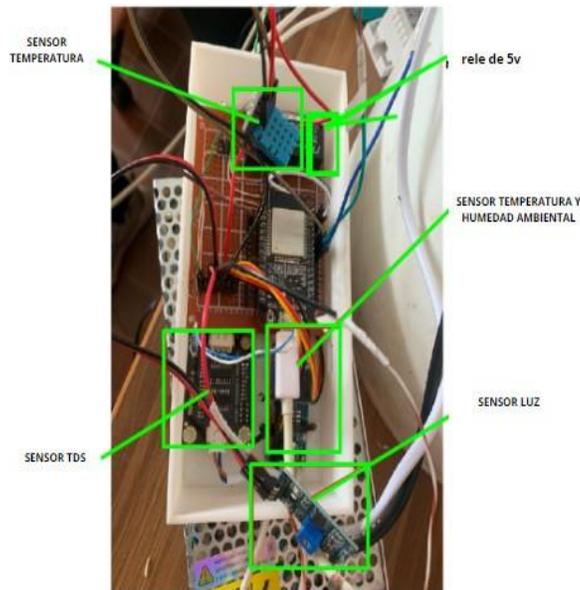
Fuente: Elaboración propia.

Resultado del sprint 2

Mediante la integración de los sensores se estableció el sistema de comunicación y monitoreo, cuyo objetivo fue la obtención de datos del cultivo en tiempo real. Cada uno de los sensores se integraron de forma eficiente con el módulo de procesamiento principal Node-MCU para el intercambio de datos analógico/digital. Estos datos se visualizarán posteriormente en el dashboard.

Figura 14

Vista previa del circuito de sensores interconectados para el monitoreo del cultivo hidropónico.



Nota. Observamos los diversos sensores necesarios para la implementación del desarrollo del sistema hidropónico. Fuente: Elaboración propia.

Resultado del sprint 3

En el proceso de desarrollo del software se diseñó una interfaz intuitiva, que consta de un panel de control (dashboard) y posee una alta funcionalidad y un diseño atractivo. La interfaz tiene como objetivo proporcionar los diversos parámetros del cultivo hidropónico para su monitoreo y control en tiempo real, además se implementaron gráficos que simplificaron la comprensión del sistema. En Node-RED y en el panel de control se realizaron diversas modificaciones en la seguridad para la activación de credenciales.

Los sensores tienen la funcionalidad de medir en tiempo real cada parámetro establecido en los requerimientos funcionales, se implementaron las características de medición de temperatura ambiente y de agua, que se miden en grados °C, la humedad

relativa medida en g/m, el nivel de agua medido en cm y la luz medida en Lx. Por ende, el sensor TDS nos indicará las partes por millón de solidos disueltos, y se obtiene la concentración del sustrato/nutrientes en el agua colocada para el riego del cultivo. Para el control de bombas se implementó un switch ON/OFF con el objetivo de controlar el funcionamiento de las bombas en el caso de que falle el sistema de control principal.

Figura 15

Visualización de la interfaz



Nota. Visualización de la interfaz intuitiva y amigable que el usuario utilizara para el monitoreo del sistema hidropónico. Fuente: Elaboración propia.

Factibilidad Económica

Hemos incluido una sección para calcular la factibilidad económica que conlleva la construcción de todo el sistema hidropónico, los valores se muestran en las Tablas 16,17,18,19, se calculó tomando como referencia el valor de horas hombre, costo de materiales (componentes electrónicos) y de herramientas (laptop, etc.).

Tabla 16*Especificaciones de rubros recursos humanos*

Descripción	N. de Horas	Valor por hora	Total
Helen Alcívar	1.212	\$3,00	\$3.636
Jorge Pineda	1.212	\$3,00	\$3.636
Tutor: Ing. Germán Rodríguez	50	\$5,00	\$25
Total			\$7.297

Nota. En la presente tabla se visualiza los rubros de recursos humanos que

se utilizarán para el desarrollo del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*Especificaciones de rubros materiales*

Descripción	Cantidad	Valor	Total
Laptop	2	\$800	\$1600
Transporte	20	,50	\$30
Pieza 3D	22	\$24,00	\$528
Total			\$2.158

Nota. Se visualiza en la siguiente tabla los rubros materiales que se utilizaron para el desarrollo del proyecto Fuente: Elaboración propia

Tabla 18*Especificaciones de rubros de hardware (componentes electrónicos)*

Nombre	Precio/unidad	Cantidad	Total
DTH11	10	1	\$10
DS18B20	3	1	\$3
HC-SR04	4	1	\$4
LDR	10	1	10 \$
TDS	32	1	\$32
ESP-WROOM-32	20	1	\$20
Motor de agua	10	1	\$10
Motor de nutrientes	10	1	\$10
fuentes de iluminación	20	1	\$20
Luces Led	5	1	\$5
Total			\$122

Nota. En la siguiente tabla se visualiza en la siguiente tabla los rubros de hardware

que se utilizarán para el desarrollo del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Resumen del costo del proyecto

Rubro	Valor	Desembolso
Recursos Humanos	\$7.297	\$0,00
Recursos materiales	\$2.158	\$3,00
Hardware	\$122	\$,00
Total		\$131,455

Nota. En la siguiente tabla se visualiza el resumen de costos del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Capítulo VI: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

Conclusiones

El componente hardware de nuestro sistema hidropónico modular cumple con todos los requerimientos de modularidad y escalabilidad, el módulo podría crecer en altura hasta los 3 metros, ya que todos los componentes se acoplan en forma de rompecabezas.

El componente software de nuestro sistema tiene la capacidad de monitorear las variables de temperatura ambiental, humedad ambiental, temperatura de agua, nivel de luminosidad, sólidos solubles (nutrientes), nivel de agua. Sin embargo, solo podemos controlar algunas variables como el nivel de nutrientes, la fotosíntesis artificial y el sistema de riego.

Comparando nuestros resultados con el sistema de hidroponía tradicional, podemos concluir que nuestro sistema al ser modular permitiría el acondicionamiento de nuevos sensores, como, por ejemplo, ventiladores para controlar la humedad ambiental.

En cuanto a la precisión de los datos que se pueden monitorear en tiempo real a través de la interfaz web han sido validados de forma individual y en conjunto, ofreciendo un sistema IoT compacto pero preciso.

Recomendaciones

Realizar pruebas periódicas y validaciones para asegurar que el sistema esté funcionando de manera correcta y no existan fallas en la obtención de datos, para evitar la pérdida del cultivo, o sobre nutrir el agua de riego.

Tomando en cuenta nuestros resultados favorables en el control del cultivo Hidropónico en tiempo real, es fundamental la implementación de un servidor en la nube como AWS, Azure o Google Cloud, nos permitirá acceder al control del cultivo desde cualquier dispositivo conectado a internet.

Se recomienda el análisis de la producción en masa de más estructuras modulares para implementar un huerto hidropónico utilizando tecnologías de impresión 3D e IoT.

Se recomienda mejorar el sistema implementando los actuadores para controlar la humedad y temperatura ambiental a través de un sistema de ventiladores, la temperatura del agua de riego implementando un nuevo motor para el relleno y drenaje del agua.

Se podría mejorar el sistema de luz artificial con la implementación de luces led utilizando placas fotovoltaicas para añadirle más modularidad y autonomía al sistema.

Trabajo futuro

Esta propuesta de control y monitoreo de un sistema hidropónico presenta un horizonte amplio para la implementación de mejoras. Entre los trabajos futuros a desarrollar se pueden mencionar:

- Optimizar el sistema de iluminación artificial diseñado para el sistema hidropónico, lo que podría mejorar significativamente el crecimiento de las plantas y la eficiencia del sistema en general, utilizar paneles fotovoltaicos para añadir independencia a cada uno de los sensores y controladores.
- Implementar un sistema de calefacción para regular la temperatura ambiente y la implementación de un sistema de regulación de la temperatura del agua de riego.
- Mejorar la comunicación de todos los sensores con el módulo procesador NODE-MCU usando tecnología inalámbrica, con el fin de establecer una red de nodos sensores y ampliar la capacidad de monitoreo del sistema.

Referencias

- Alex, N. a. (2023). *A comprehensive study on smart agriculture applications in India*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11277-023-10234-5>
- Bakhtar, N. a. (2018). *IoT based Hydroponic Farm*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8748447>
- Betancourt, J. F. (12 de 11 de 2020). Obtenido de An integrated ROV solution for underwater net-cage inspection in fish farms using computer vision: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03623-z>
- Elsallam, M. E.-M.-A. (2021). *Scaling-up production of cost-effective and eco-friendly bio-fertilizer and its application on Barley green fodder via IoT hydroponic system*. Obtenido de <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00196-1>
- Firdaus, I. S. (2021). *Monitoring And Controlling Smart Hidroponics Using Android and Web Application*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9431896>
- Gnauer, C. a. (7 de 10 de 2019). *Towards a secure and self-adapting smart indoor farming framework*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00502-019-00745-0>
- José Beltrano, D. G. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Karen Rose, S. E. (2015). *LA INTERNET DE LAS COSAS* . Obtenido de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Kumar, A. a. (2023). *2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/10128383>
- Park, D.-H. a.-J.-S.-E.-W.-M. (1 de 12 de 2009). *A study on greenhouse automatic control system based on wireless sensor network*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11277-009-9881-2>
- Sherubha, P. a. (2022). *A Real Time IoT Measurement System for Hydroponics Cultivation*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9711661>
- Shirsekar, V. a. (2021). *NPK And Oxygen Regulation System for Hydroponics*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9697276>
- Sobri, N. A. (2022). *Development of Hydroponics System and Data Monitoring Using Internet of Things*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9928901>
- Swarup Sahoo, R. a. (2022). *Implementation of an Indoor Deep Water Culture Farming System Using IoT*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/10051358>

Thakur, D. a. (2019). *Applicability of wireless sensor networks in precision agriculture: a review*.
Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06285-2>

Vineeth, P. a. (2023). *International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9885261>