



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

Título del artículo

SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO CON MONITOREO IOT PARA UNA PARCELA DE PASTOS DEL EMPRENDIMIENTO CUYES FESA.

Línea de Investigación:

Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable.

Campo amplio de conocimiento:

Ingeniería, industria y construcción.

Autor:

Fernández Sarmiento Edgar Jamil

Tutor/a:

**PhD. Urdaneta Herrera Maryory
Mg. Albarracín Guarochico Wilmer Fabián**

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, PhD. Maryory Urdaneta Herrera con C.I: 1759316126 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO CON MONITOREO IOT PARA UNA PARCELA DE PASTOS DEL EMPRENDIMIENTO CUYES FESA.

Elaborado por: Edgar Jamil Fernández Sarmiento, con C.I: 0302036561, estudiante de la Maestría: en Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 11 de marzo de 2024

Firma

CARTA DE DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN



Yo, Edgar Jamil Fernández Sarmiento portador de C.C. 0302036561, autor del Trabajo de titulación: **TEMA: SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO CON MONITOREO IOT PARA UNA PARCELA DE PASTOS DEL EMPRENDIMIENTO CUYES FESA.** Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 11 de marzo de 2024

Firma

TABLA DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
CARTA DE DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN.....	iii
TABLA DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INFORMACIÓN GENERAL.....	8
Contextualización del tema.	8
Problema de investigación.....	9
Objetivo general.	10
Objetivos específicos.	10
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	10
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO PROFESIONAL	12
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	12
1.2. Proceso investigativo metodológico.	15
1.3. Análisis de resultados.....	17
CAPÍTULO II: ARTÍCULO PROFESIONAL	18
2.1. Resumen.....	18
2.2. Abstract.	18
2.3. Introducción.	19
2.4. Metodología	20
2.4.1. Ubicación.	20
2.4.2. Sistema de riego.	21
2.4.3. Sistema electrónico y de control.	22
2.4.4. Esquema del circuito.....	23
2.4.5. Programación del sistema de control.....	24
2.5. Resultados – Discusión.....	25
2.5.1. Escenario 1.....	27
2.5.2. Escenario 2.....	27
2.5.3. Escenario 3.....	28
2.5.4. Escenario 4.....	30
2.5.5. Escenario 5.....	31
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	34

BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXOS	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Valores adquiridos en el escenario 1</i>	27
Tabla 2 <i>Valores adquiridos en el escenario 2 H1.</i>	27
Tabla 3 <i>Valores adquiridos en el escenario 2 H2.</i>	28
Tabla 4 <i>Valores adquiridos en el escenario 2 H3.</i>	28
Tabla 5 <i>Valores adquiridos en el escenario 2 H4.</i>	28
Tabla 6 <i>Valores adquiridos en el escenario 3 H1.</i>	29
Tabla 7 <i>Valores adquiridos en el escenario 3 H2.</i>	29
Tabla 8 <i>Valores adquiridos en el escenario 3 H3.</i>	29
Tabla 9 <i>Valores adquiridos en el escenario 3 H4.</i>	30
Tabla 10 <i>Valores adquiridos en el escenario 4 H1.</i>	30
Tabla 11 <i>Valores adquiridos en el escenario 4 H2.</i>	30
Tabla 12 <i>Valores adquiridos en el escenario 4 H3.</i>	31
Tabla 13 <i>Valores adquiridos en el escenario 4 H4.</i>	31
Tabla 14 <i>Valores adquiridos en el escenario 5</i>	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Versión final del prototipo de sistema de riego	13
Figura 2. Diagrama de bloques del funcionamiento.....	14
Figura 3. Parcela agrícola de Rye Grass	20
Figura 4. Dimensiones del terreno.....	21
Figura 5. Esquema del Sistema de Riego	21
Figura 6. Modelo estructural	22
Figura 7. <i>Esquema de conexión</i>	23
Figura 8. Diagrama de flujo base para Programación.....	25
Figura 9. Tendencia de sensores en ThingSpeak	26

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema.

En el escenario actual de cambio climático al que se enfrenta el planeta, la gestión del agua se ha convertido en un desafío crucial para la humanidad. En este contexto, se reconoce la necesidad imperante de encontrar soluciones innovadoras para optimizar el riego agrícola y mitigar los impactos adversos en la producción de alimentos para animales domésticos, es así que este proyecto surge como una respuesta estratégica a la optimización de recursos y a las condiciones climáticas a las cuales el sector se encuentra expuesto, todo este conjunto de condiciones adversas afectan directamente la producción de pastos, generando la urgencia de replantear las prácticas de riego actuales.

El diseño del riego automático para pasto se sitúa en el ámbito del conocimiento dentro del área de ingeniería agrícola y tecnología de irrigación. La ingeniería agrícola se enfoca en la aplicación de principios para la producción agrícola, incluyendo la gestión del agua, la maquinaria agrícola y la tecnología de la irrigación. Por su parte la tecnología de irrigación se refiere al conjunto de técnicas y herramientas utilizadas para aplicar agua de forma controlada y eficiente en la agricultura y la jardinería (Abraham, 2020). Además, se relaciona con el área de investigación de sistemas de riego automático. La automatización del sistema de regadío hace referencia al uso de tecnología para controlar y optimizar el suministro de agua a las plantas, con ello se mejora la eficiencia del uso del agua para disminuir considerablemente el costo de producción de la agricultura. Otra de las áreas de conocimiento que se va a trabajar es la tecnología de los sensores, lo cual se refiere al uso de dispositivos electrónicos para medir y monitorear con tecnología IoT las variables ambientales, tales como, la humedad que posee el suelo, la temperatura del aire y el volumen de agua que se tiene; en el caso de este proyecto los sensores de humedad se usan para verificar qué tan seco está el suelo y determinar la cantidad de agua que se requiere para mantener el pasto saludable y verde.

El proyecto se va a desarrollar en un emprendimiento familiar (Cuyes FESA) que se dedica a la crianza de cuyes para su posterior comercialización, por ahora en el mercado local y con miras a expansión, dentro del cantón y la provincia del Cañar. La PYME cuenta con una base de personal corta ya que se está en los inicios como empresa, lo que conlleva a prescindir únicamente con personal de producción, personal administrativo y ventas. Para la puesta en funcionamiento del proyecto a desarrollar se lo realizará en una parcela propia de una de las socias, debido a su factibilidad de implementación ya que cuentan con las facilidades como son energía eléctrica, internet y lo más importante que el suministro de agua, con ello mejorar la calidad de pasto en época de verano (6 meses consecutivos) que es la más crítica por la baja presencia de lluvia en la región.

Sistema automático de riego con monitoreo IoT para una parcela de pastos es una iniciativa que puede ser valorada de manera positiva en el ambiente empresarial. En primer lugar, este proyecto puede mejorar sustancialmente su eficiencia y productividad de la PYME Cuyes FESA. Al automatizar el riego del pasto, se puede disminuir los tiempos y los recursos inevitables para llevar a cabo esta tarea, permitiendo al personal de producción enfocarse en otras actividades que contribuyan al crecimiento de la empresa. Además, la puesta en práctica de un sistema automático de riego puede ser vista como una estrategia de inversión de largo plazo para Cuyes FESA debido a sus miras de crecimiento. Al contar con un sistema de riego eficiente, se puede mejorar la calidad del pasto, lo que a su vez puede contribuir a una mayor calidad en los productos que Cuyes FESA oferta, con ello se puede aumentar la satisfacción de la clientela, de manera que resulte un incremento en la popularidad de los productos de la empresa para tener una mayor demanda.

El monitoreo con IoT del sistema de riego automático brinda los datos en tiempo real y de manera remota que puede ayudar a tomar mejores decisiones para a la empresa en cuanto a la cosecha del pasto y la programación de los cortes del pasto por parcela, lo que llevaría a una mejor planificación del suministro alimentario para la PYME Cuyes FESA. Por último, el diseño del sistema con la finalidad de automatizar el riego también puede ser valorado como una iniciativa innovadora y sostenible. Al utilizar tecnología de automatización para mejorar la eficiencia del riego, se puede disminuir el gasto de agua y reducir el consumo de energía, impactando positivamente en el medio ambiente. Esto puede ayudar a que la empresa tenga una mejor percepción pública y aumentar su atractivo para los consumidores que buscan productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Problema de investigación.

La situación actual de la PYME Cuyes FESA en cuanto al manejo del riego de sus parcelas de pasto se caracteriza por la carencia de personal de trabajo y la ausencia de tecnificación en el uso de los recursos hídricos. La empresa cuenta con poco personal para realizar las tareas de riego de forma manual, lo que limita su capacidad de producción y afecta la calidad del pasto. Además, la zona en la que se encuentra ubicada la empresa tiene un verano de seis meses casi sin lluvia, lo que agrava aún más la situación.

Adicionalmente, la empresa se encuentra en una zona ganadera donde el abastecimiento de agua es escaso y la producción de pastos no cuenta con ninguna tecnificación. Esto genera una situación de ineficiencia en el uso de los recursos hídricos y una baja productividad en la producción de pastos. La falta de tecnificación en el riego también puede llevar a una sobreexplotación del agua en las parcelas, lo que puede tener algunos efectos adversos en el entorno natural y en la calidad del pasto.

De continuar con esta situación Cuyes FESA estará obligada a realizar contratación de personal que se dedique a esta actividad de riego manual, lo que conlleva a un aumento de los costos para la producción y con ello el aumento en el valor final del producto al cliente, llegando a un estado donde la empresa no podrá ser competente con otras empresas que ya están plasmadas en el mercado cantonal y provincial.

Por lo tanto, la problemática principal que se plantea es la falta de un sistema de riego eficiente y automatizado que permita a la empresa Cuyes FESA obtener una mejor calidad y mayor cantidad de producción de pasto, reducir los costos de producción y aumentar su competitividad en el mercado. En este contexto, el desarrollo de este proyecto para regar de manera automática los pastos se convierte en una solución innovadora y sostenible que puede contribuir significativamente al crecimiento y desarrollo de la empresa, mejorando la eficiencia en el uso del agua y reduciendo los costos de producción.

Objetivo general.

Implementar un sistema automático de riego con monitoreo IoT para una parcela de pastos del emprendimiento Cuyes FESA en la parroquia Gualleturo del cantón Cañar, que mantenga la productividad en los meses de verano.

Objetivos específicos.

- Determinar la mejor solución respecto al regadío de pastos y los elementos electrónicos que formarán el sistema de control y automatización.
- Diseñar la automatización del sistema de riego y el circuito de control por medio de una placa controladora ESP 32.
- Implementar el sistema de riego automatizado con monitoreo IoT.
- Validar los resultados del sistema de riego por medio de pruebas de funcionamiento.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La propuesta de implementar un Sistema Automático de Riego con Monitoreo IoT para pastos adquiere una relevancia particular en un contexto caracterizado por ser una zona ganadera, distante geográficamente de la ciudad, con fuentes hídricas limitadas y un extenso período de verano intenso. Este proyecto no solo representa un avance tecnológico para la cría de cuyes en el emprendimiento CUYES FESA, sino que también se erige como un modelo innovador y replicable para otras organizaciones y entidades del sector y la comunidad en general.

La automatización del riego en una zona ganadera como la nuestra reviste un valor estratégico crucial. Dada la distancia geográfica de la ciudad y los desafíos climáticos, especialmente la escasez de fuentes hídricas durante seis meses de verano intenso, la incorporación del mencionado sistema automatizado de riego con monitoreo IoT se presenta como una solución integral. Este proyecto no solo beneficia al emprendimiento de cuyes FESA, sino que establece un precedente innovador para la optimización del riego en la región, impactando positivamente la eficiencia hídrica y la sostenibilidad en la gestión de pastos. La propuesta no se limita a proporcionar tecnología avanzada; también ofrece oportunidades significativas de capacitación y asesoría para diversas partes interesadas en la comunidad; Tanto los integrantes de la Asociación de Ganaderos José Peralta, como los del Canal de Riegos Buquear-Gualleturo y el GAD Parroquial Gualleturo pueden beneficiarse de la adopción de este modelo. La capacitación se extiende más allá de los profesionales del sector agrícola, alcanzando a otros actores fundamentales en la industria y la comunidad en general. La posibilidad de adquirir conocimientos en el manejo de tecnologías agrícolas avanzadas se convierte en un activo valioso para el desarrollo sostenible de la región.

La magnitud de los beneficiarios directos es significativa y abarca diversos roles esenciales en la implementación y operación eficiente del sistema. Desde los propios emprendedores encargados del día a día hasta especialistas en gestión de pastos, cuyas funciones se verán simplificadas y potenciadas por la automatización. Además, aunque la mano de obra directa en el emprendimiento sea limitada, el proyecto proporciona herramientas valiosas para la toma de decisiones, lo que beneficia directamente a los administrativos involucrados en el monitoreo y análisis de datos, así como a la gerencia del emprendimiento. Este enfoque asegura que incluso con un equipo reducido, se maximice el rendimiento y la eficiencia de la gestión de pastos. La comunidad en su conjunto experimentará mejoras significativas en términos de eficiencia, productividad y sostenibilidad ambiental. Además, la posibilidad de replicar este modelo en otras iniciativas, como la cría de ganado en las Asociaciones de Ganaderos, consolidará este proyecto como un catalizador para el progreso regional.

Esta vinculación directa con las necesidades específicas de la comunidad y la adaptabilidad del proyecto a las condiciones locales subraya su pertinencia y potencial impacto transformador en la sociedad y el entorno ganadero.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO PROFESIONAL

1.1. Contextualización general del estado del arte.

En el proyecto a implementar, se tratarán temas automatización, riego de pasto, sensores para determinar las variables del suelo; para la obtención de información relacionada con los mencionados temas se utilizará la Web, debido a que ahí se puede encontrar información de revistas, tesis, libros, etc., además se utilizará la plataforma de IDE Arduino para la lógica de programación.

El riego automático es una técnica que se utiliza para regar plantas de manera eficiente y sin la necesidad de intervención humana. El pasto es una planta de las más comunes que se riegan de esta manera, ya que requiere una cantidad constante de agua para mantenerse saludable. La elaboración de un modelo automático de riego para forraje es un tema de investigación relevante y existen antecedentes que demuestran que esta técnica es eficaz para disminuir considerablemente la utilización de agua y la preservación de la salud de las plantas.

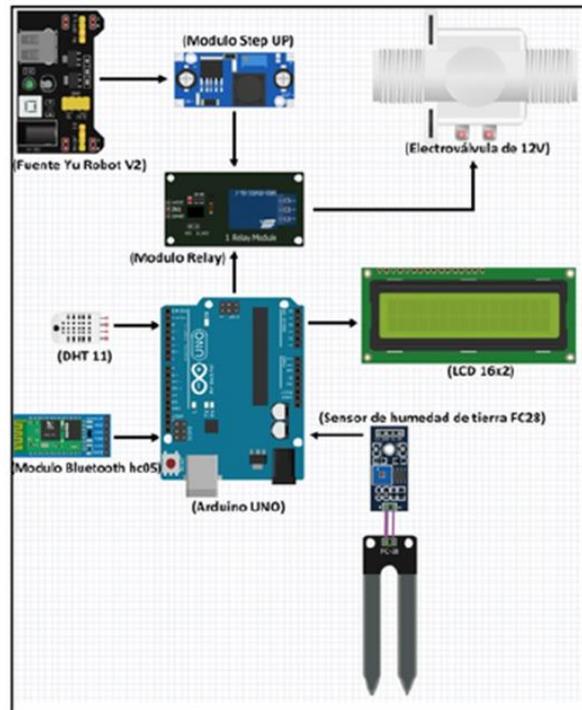
Como antecedentes se tiene algunos trabajos que ya se han desarrollado para que las plantas posean una mejor calidad por medio de la automatización del riego, tales como: La tesis de titulación de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, aborda el tema del diseño de un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la hacienda San Alfonso del Cantón Ponce Enríquez. El objetivo principal del trabajo es desarrollar un sistema de riego tecnificado que permita optimizar el uso del agua disponible. Para ello, se diseñó un sistema mecánico de bombeo de agua para el suministro y la posterior aplicación del riego por aspersión. La elección del riego por aspersión surge tras análisis exhaustivos que determinaron su idoneidad para los pastizales destinados a la cría de ganado, este trabajo no solo busca mejorar la eficiencia del riego en la hacienda San Alfonso, sino que también sienta las bases para la exploración de nuevas metodologías que incorporen tecnologías avanzadas en el ámbito agrícola (Veintimilla y Lalanguí, 2021). Este proyecto marca el inicio de un análisis teórico sobre la tecnificación del riego agrícola, ya que hasta el momento se habían empleado exclusivamente técnicas de irrigación convencionales sin automatización electrónica, este enfoque abre la puerta a futuras investigaciones y desarrollos que puedan mejorar aún más la productividad y sostenibilidad del sector ganadero con la inclusión de la electrónica.

En un artículo publicado en la revista ESPACIOS con el tema, Sistema de riego automatizado con Arduino, básicamente trata sobre la obtención de los datos de humedad del suelo y con ellos determinar mediante un algoritmo de programación en Arduino el momento adecuado para realizar el riego de la planta de forma automática sin la intervención humana, con ello optimizar el recurso hídrico evitando desperdicio del mismo y contribuir a que la planta se conserve saludable, obtenido unos resultados favorables y cumpliendo con el objetivo propuesto para el proyecto, el cual es

mantener a la planta con una hidratación adecuada reduciendo el desperdicio del recurso hídrico (Guijarro et al., 2018). Este proyecto se puede ver en la figura 1. Se relaciona básicamente en la estructura de la parte de control ya que se está empleando sensor de humedad, Arduino, electroválvulas, etc.

Figura 1.

Versión final del prototipo de sistema de riego.



Nota. Adaptado de “sistema de riego automatizado con Arduino”, (pág. 27) por Guijarro et al., Revista Espacios.

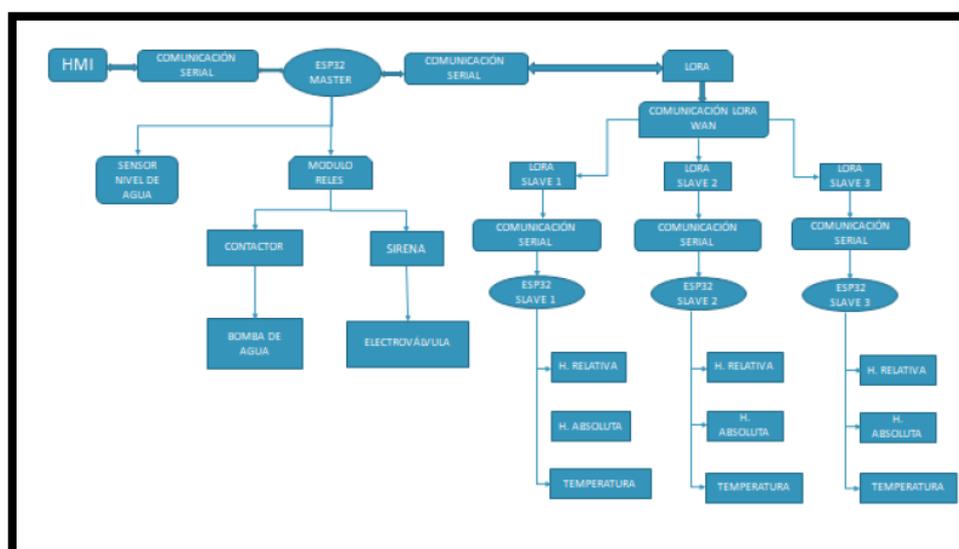
En la tesis de titulación de ingeniero electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana, con el tema, diseño y automatización de un sistema de riego para una parcela ganadera de 9 hectáreas, en general trata de diseñar un sistema de riego que usa aspersores para pulverizar el agua e irrigar los pastos en época de sequía en Floridablanca Colombia, con ello aprovechar el tiempo de 28 días que se tiene después de que el ganado vaya consumiendo el pasto, para realizar un abonado y riego del terreno y obtener un pasto de calidad; el proyecto está conformado por la parte de control electrónica que se basa en el uso de un microcontrolador controlado desde un sistema GSM-GPRS (hace relación a la transferencia de datos en redes de telefonía móvil), mencionado sistema de riego se lo realizó de forma rotativa dependiendo del tipo de pasto que vaya a regar; además en el proyecto se realiza un diseño de la disposición de los aspersores por la geografía del terreno para cubrir la totalidad del terreno a regar, la disposición de la bomba de presión para que el riego sea más eficiente. Como resultados del proyecto se tiene que los costos para una aplicación de este tipo de proyectos en terrenos de gran extensión con sistemas fijos de riego no son muy viables por los elementos a utilizar,

pero, empleando el riego automatizado se mejoró las condiciones del pasto para una alimentación más apropiada del ganado (Marín, 2018).

La tesis de titulación del ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones de la Universidad Israel aborda la implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos utilizando tecnología LoRa con ESP32. El enfoque principal del proyecto es desarrollar un sistema automatizado de riego para invernaderos de tomate, empleando la tecnología LoRa. Se monitorea la humedad del suelo y el nivel del tanque de agua, donde el sensor de humedad controla la activación y desactivación de la bomba y una electroválvula para realizar riegos por goteo según las necesidades del tomate. Por otro lado, el sensor de nivel del tanque permite encender el sistema cuando hay agua disponible. Los valores monitoreados se visualizan en un HMI (Haro, 2019). Este trabajo representa un avance significativo en la automatización del riego en invernaderos, brindando una solución eficiente y precisa para el cultivo de tomates. La integración de tecnologías como LoRa y ESP32 proporciona una plataforma robusta para el monitoreo y control remoto, lo que contribuye a una gestión más eficiente de los recursos hídricos y a la mejora de los rendimientos agrícolas en entornos de invernadero, en la Figura 2 se presenta el diagrama de bloques del funcionamiento esquemático del proyecto.

Figura 2.

Diagrama de bloques del funcionamiento.



Nota. Adaptado de "implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología lora con esp32", (pág. 58) por Haro., Tesis.

La investigación desarrollada como parte de la tesis de titulación del ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones de la Universidad Israel se enfoca en la automatización del sistema de riego en la florícola Los Ángeles Roses. El proyecto busca diseñar y automatizar el sistema de riego de

una superficie de 1000 m² utilizando un método de riego por goteo para gestionar de manera efectiva el limitado recurso hídrico disponible. Se realiza un análisis exhaustivo de la situación actual, las variables relevantes y las necesidades. El enfoque central radica en la optimización de recursos en la actividad agrícola, mediante la integración de tecnologías que posibilitan un control eficiente y remoto del sistema de riego. En este sistema se utiliza dos electroválvulas para tener líneas de regadío independientes, la integración con el módulo CMR2020 permite el control remoto a través de mensajes de texto, aprovechando la red GSM/GPRS que tenga señal adecuada, una vez que llega el mensaje de texto desde un móvil el Logo destinado al control y monitoreo del riego en un cultivo de hortalizas, procesa la información y ejecuta el comando ya sea de apertura o cierre de la electroválvula y el encendido o apagado de la bomba, el riego se realiza de manera secuencial una vez finalizada el riego de la línea 1 se procede con el riego de la línea 2 (Tibanquiza, 2020).

Relacionando con el proyecto en desarrollo está el riego por aspersión y la inclusión del control de una bomba de presión para activar los aspersores de forma rotatoria y así cubrir el terreno a regar con mejor eficiencia y para el monitoreo en este proyecto se lo realizará con la plataforma IoT ThingSpeak.

1.2. Proceso investigativo metodológico.

El presente proyecto de titulación se enmarca en una investigación aplicada, donde se utiliza un enfoque de diseño y desarrollo de proyectos, combinando técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas para evaluar el desempeño del sistema de riego orientada a abordar un problema específico en un entorno real. La naturaleza de esta investigación se centra en la implementación y evaluación de un Sistema Automático de Riego con Monitoreo IoT para optimizar el manejo de pastos en el emprendimiento de Cuyes FESA, con el propósito de mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad en condiciones específicas de una zona ganadera con escasez de recursos hídricos.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se emplean métodos tanto teóricos como prácticos. Desde el punto de vista teórico, se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura relacionada con sistemas de riego automático, tecnologías IoT en la agricultura y casos de aplicación en entornos similares, se utilizó la plataforma de búsqueda de Google Académico, ya que ahí se puede recopilar una vasta cantidad de información que contiene buena calidad, tales como libros, tesis, revistas, etc. que proporcionan la base del marco teórico para el desarrollo de este proyecto, también se usa la página oficial de Arduino para la base teórica y de más prestaciones que sean necesarias para el desarrollo del proyecto. En el ámbito práctico, se diseñó e implementó el sistema de riego, adaptándolo a las necesidades específicas del emprendimiento de Cuyes FESA y evaluando su eficacia en condiciones reales. Para la recolección de datos se usa sensores de humedad de suelo Arduino y sensores de nivel de agua Arduino, con estos dispositivos de recolecta los datos para en base a esa

data proceder con las acciones necesarias para realizar el riego automático en base de la programación realizada en el microcontrolador ESP32 y monitoreada de forma remota en la plataforma IoT ThingSpeak; es decir si hay agua en el tanque y la humedad del suelo esta baja se procedería a activar las electroválvulas caso contrario se desactivan.

Se utilizaron diversas técnicas de recolección de información para obtener datos valiosos. La observación directa permitió registrar el funcionamiento del sistema de riego en tiempo real. Además, se llevaron a cabo conversatorios con los beneficiarios directos, como los operarios del emprendimiento y especialista agropecuario.

En el caso de este proyecto, la población son los pastos, específicamente el Ray Grass que se desea regar para mejorar su calidad en época de verano, en la parcela de terreno donde se implementa el sistema de riego automático con monitoreo IoT, riego que se realiza mediante la técnica de aspersión.

La metodología del trabajo utilizada se describe a continuación:

Identificación de requerimientos: En esta etapa se identifican los requerimientos del sistema de riego automatizado para los pastos, tales como la cantidad que se necesita de agua para regar los pastos, la frecuencia de riego, acceso a energía eléctrica, internet, entre otros.

Diseño conceptual: En esta etapa se desarrollará un diseño conceptual o la base teórica con la que se cuenta para el desarrollo del presente proyecto, considerando los requerimientos identificados en la etapa anterior.

Diseño detallado: En esta etapa se procede a realizar un diseño detallado del mencionado sistema automático, considerando aspectos como la selección de componentes, la disposición de estos, la programación del sistema, entre otros.

Construcción del sistema: En esta etapa se construye el sistema de riego, siguiendo el diseño detallado desarrollado en la etapa anterior. Se usan las herramientas de Arduino IDE para realizar la programación necesaria, la plataforma IoT ThingSpeak para el monitoreo del sistema y otras herramientas de simulación con las que se va realizando las pruebas de programación.

Implementación: En esta etapa se implementa el sistema de riego automático para los pastos en la parcela seleccionada, y se realiza un monitoreo continuo de su desempeño.

Pruebas y validación: En esta etapa se realizan las pruebas y validaciones del sistema, para evaluar su desempeño en términos de eficiencia de riego, ahorro de agua, y crecimiento saludable de los pastos.

Optimización: En esta etapa se realizan los ajustes necesarios y mejoras al sistema, con el objetivo de optimizar su desempeño y eficiencia.

1.3. Análisis de resultados.

Para el análisis de resultados se va a realizar de la siguiente manera:

- Prueba de funcionamiento del sistema de riego por aspersión.
- Prueba de funcionamiento del sistema de control y su comunicación con Thinkspeak.
- Pruebas de funcionamiento en condiciones reales del sistema de riego automatizado, los resultados se van a ir tabulando, dependiendo las diferentes condiciones a las que se le va a someter al sistema, tales como:
 - Sensores de humedad dentro del rango de activación < 35% de humedad del suelo.
 - Sensores de humedad dentro del rango de desactivación > 70% de humedad del suelo.
 - Sensor de nivel <30% de agua en el tanque de reserva.
 - El horario de activación que tiene que ser de 18H00 a 24H00 y 00H00 a 06H00.

Luego de ir adquiriendo los datos de las pruebas se realiza el análisis de los respectivos resultados.

CAPÍTULO II: ARTÍCULO PROFESIONAL

2.1. Resumen.

Este proyecto surge como respuesta a una combinación de factores, como el cambio climático y las limitaciones temporales, específicamente seis meses de intenso verano en el sector, que afectan la producción de pastos en Cuyes FESA. Ante la práctica manual actual, se propone la implementación de un sistema de riego automático, respaldado por tecnología IoT. Este sistema incorpora sensores de humedad del suelo y nivel de agua, junto con actuadores como bombas de presión y electroválvulas, todo gestionado por medio de un ESP32. Además, se establece una conexión con una plataforma de IoT (ThingSpeak) para la monitorización en tiempo real desde cualquier ubicación. Con este enfoque integral, el proyecto busca mitigar el consumo excesivo de agua y simplificar las operaciones en Cuyes FESA, brindando una solución eficaz y sostenible para enfrentar los desafíos ambientales y operativos actuales. Los resultados de las pruebas realizadas fueron alentadores, especialmente en el funcionamiento del sistema, ya que se pudo evidenciar que la lógica de programación impuesta para la automatización en el regadío y la comunicación con ThingSpeak es la adecuada, permitiendo monitorizar el sistema de forma remota y en tiempo real.

a. Palabras clave:

Cambio climático, Esp32, gestión del agua, riego automático, tecnología IoT, ThingSpeak.

2.2. Abstract.

This project emerges in response to a combination of factors, such as climate change and temporal limitations, specifically six months of intense summer in the sector, which affect grass production in Cuyes FESA. In response to the current manual practice, the implementation of an automatic irrigation system backed by IoT technology is proposed. This system incorporates soil moisture and water level sensors, along with actuators such as pressure pumps and solenoid valves, all managed through an ESP32. Additionally, a connection is established with an IoT platform (ThingSpeak) for real-time monitoring from any location. With this comprehensive approach, the project aims to mitigate excessive water consumption and simplify operations at Cuyes FESA, providing an effective and sustainable solution to address current environmental and operational challenges. The results of the conducted tests were encouraging, especially in the system's operation, as it was evident that the programming logic imposed for irrigation automation and communication with ThingSpeak is appropriate, allowing remote and real-time system monitoring.

a. Keywords:

Automatic irrigation, climate change, Esp32, IoT technology, ThingSpeak, water management.

2.3. Introducción.

El desafío de gestionar el agua en un contexto de cambio climático representa uno de los mayores retos para la humanidad en la actualidad. La necesidad de encontrar soluciones innovadoras que optimicen el riego agrícola y mitiguen los efectos adversos en la producción de alimentos para animales domésticos es cada vez más urgente. En este contexto, el presente artículo aborda la implementación de un sistema automatizado de riego con monitoreo IoT para una parcela de pastos, como respuesta estratégica a la optimización de recursos y a las condiciones climáticas desafiantes a las que se enfrenta el sector agrícola.

El diseño del riego automático para pasto se inscribe en el ámbito de la ingeniería agrícola y la tecnología de irrigación, disciplinas dedicadas a la aplicación de principios para la producción agrícola y la gestión eficiente del agua. Este proyecto se centra en la investigación de sistemas de riego automático, aprovechando la automatización y la tecnología de los sensores para mejorar la eficiencia del riego y optimizar el uso del agua.

El estudio se lleva a cabo en el contexto de un emprendimiento familiar, Cuyes FESA, dedicado a la crianza de cuyes para su comercialización en el mercado local, con proyecciones de expansión en el cantón y la provincia del Cañar. La falta de personal y la escasez de recursos hídricos en la región durante los meses de verano plantean desafíos significativos para la producción de pastos, lo que motiva la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles.

En la presente investigación se aborda la problemática principal de la empresa, que radica en la carencia de un sistema de riego eficiente y automatizado. Se plantea la implementación de un sistema automatizado de riego con monitoreo IoT como una solución innovadora que puede mejorar la productividad de la empresa, reducir los costos de producción, aumentar su competitividad en el mercado y servir como la base y modelo para nuevos proyectos que se desarrollen en la localidad, para lograr esto, el estudio se enfoca en determinar la solución óptima para el riego de pastos, diseñar e implementar un sistema automatizado de riego, y validar los resultados mediante pruebas de funcionamiento, con el fin de desarrollar un sistema eficiente y funcional.

Para el desarrollo de este artículo se tomó como referencia la Tesis “diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IoT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poussepin”, la misma que realiza un sistema de riego automatizado para tomates Cherry y hortalizas en general con un microcontrolador Arduino Uno y un módulo wifi separado para su comunicación con la nube y de esta manera monitorizar el sistema de riego por goteo (Cortes y Vargas, 2020). El Arduino Uno, cuenta con un microcontrolador AVR de 8 bits, es básico y adecuado para proyectos simples, mientras que el ESP32 que se usará en esta

investigación, cuenta con un microcontrolador de 32 bits, ofrece mayor potencia de procesamiento y conectividad avanzada, siendo más apropiado para aplicaciones IoT y proyectos que requieren capacidades avanzadas.

2.4. Metodología.

En este trabajo se tiene involucradas varias tecnologías entre ellas la tecnología agrícola con la se adquiere la base teórica del pasto (Rye Grass) con sus características y manejo (Jácome et al., 2015), ya que este es el pasto en el que aplica el sistema de riego, para mantener una adecuada humedad para que el pasto se hidrate y pueda desarrollar su crecimiento. Sumado a ello se adquiere la base teórica sobre los sistemas de riego (Bonifacio, 2020) y cómo calcular la tubería, aspersores y demás elementos que involucran en la tecnificación del riego (Guerrero et al., 2018). Todo este análisis y sumado a que Cuyes FESA realiza el riego de forma manual se vio la necesidad de automatizar y monitorear de manera remota con la IoT.

Se empleó la plataforma de desarrollo de software IDE Arduino, la cual se seleccionó debido a su enfoque multiplataforma y a la simplicidad de su lenguaje de programación en comparación con alternativas. Además, se usó ThingSpeak para la monitorización de las variables del sistema en tiempo real.

En el ámbito de la electrónica se obtuvo la base teórica de los elementos para el desarrollo del sistema de control que se implementa en la parcela para el análisis. (Haro, 2019).

2.4.1. Ubicación.

Para el estudio realizado, se desarrolla en una parcela de CUYES FESA la misma que tiene ya sembrado Rye Grass, lo cual se visualiza en la figura 3.

Figura 3.

Parcela agrícola de Rye Grass.



La parcela está ubicada en la parroquia Gualleturo del cantón y provincia del Cañar con las siguientes coordenadas: Lat: -2.525077°, Long: -79.128062° y Alt: 1936 m.s.n.m, tiene una área de 194 m² y las dimensiones son las que se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Dimensiones del terreno.



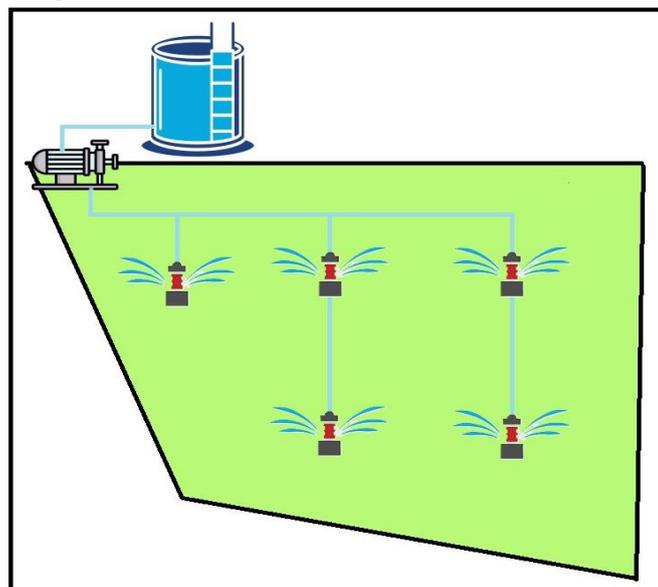
2.4.2. Sistema de riego.

Para el sistema de riego se instala un tanque de almacenamiento de agua, una bomba y los aspersores distribuidos, para cubrir la mayor cantidad del lote posible, el análisis técnico determinará si la propuesta será exitosa en el desarrollo, operatividad y tecnología empleada. (Ayala, 2019), en la figura 5 se muestra el esquema del sistema de riego.

En el Anexo 1 se evidencia el sistema de riego instalado.

Figura 5.

Esquema del Sistema de Riego.

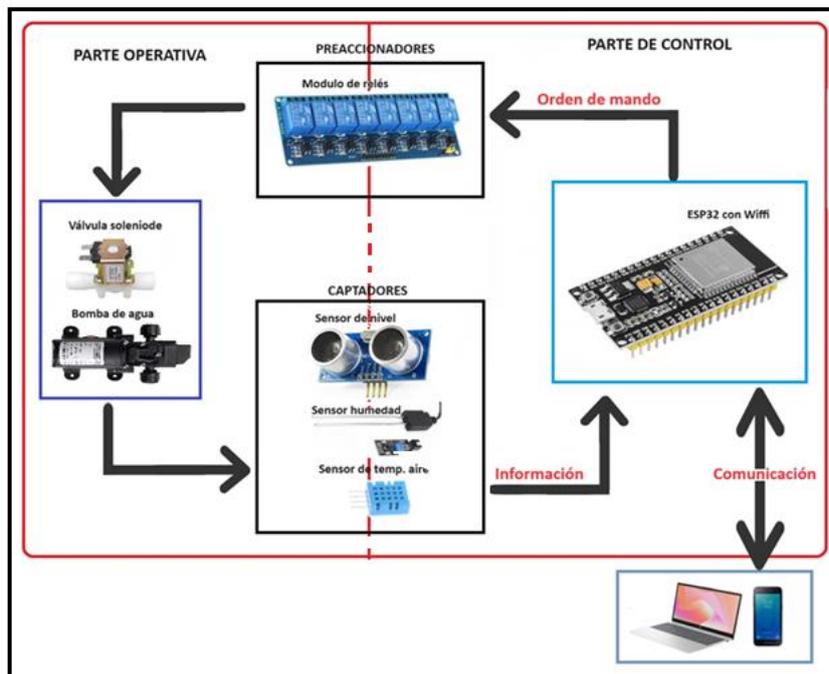


2.4.3. Sistema electrónico y de control.

Para el sistema de electrónico de automatización se tiene un modelo estructural como se muestra en la figura 6, dividido en dos zonas la de control y la operativa, donde se tiene los captadores a los sensores de nivel de agua y de humedad del suelo, como dispositivo lógico de control se usa un esp32 y un Arduino uno para las entradas analógicas, como preaccionadores el módulo de relés, en el proceso las electroválvulas y la bomba de presión, finalmente en la parte de comunicaciones una pantalla, una laptop y un celular para su monitoreo a través de IoT con el protocolo de comunicación HTTP desde el esp32 a la plataforma ThingSpeak. La plataforma IoT ThingSpeak se centra en la recopilación, visualización y análisis de datos de sensores a través de HTTP, aunque puede interactuar con otros servicios y dispositivos a través de HTTP, ThingSpeak no proporciona soporte nativo para enviar y recibir datos desde dispositivos que utilizan MQTT, se optó por el uso de esta plataforma ya que su registro en la versión gratuita cumplía con los requerimientos necesarios para esta investigación.

Figura 6.

Modelo estructural.



El protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) es un protocolo que facilita el intercambio de información entre servidores HTTP y la World Wide Web. Este protocolo facilita la interacción entre clientes, como navegadores web, y servidores web al permitir que los clientes envíen solicitudes para acceder a recursos en los servidores, los cuales luego responden con los recursos solicitados junto con un código de estado. HTTP opera en un modelo cliente-servidor, es sin estado y utiliza texto plano

para sus solicitudes y respuestas, lo que lo hace altamente legible y compatible con diversas plataformas (EDteam, 2020). El servidor por medio del puerto de comunicación TCP (por lo general, el puerto 80) escucha y espera hasta que los clientes web realicen solicitudes de conexión. Una vez establecida la conexión, el protocolo TCP/IP asegura la comunicación continua y el intercambio exitoso de datos sin errores (Narváez, 2022).

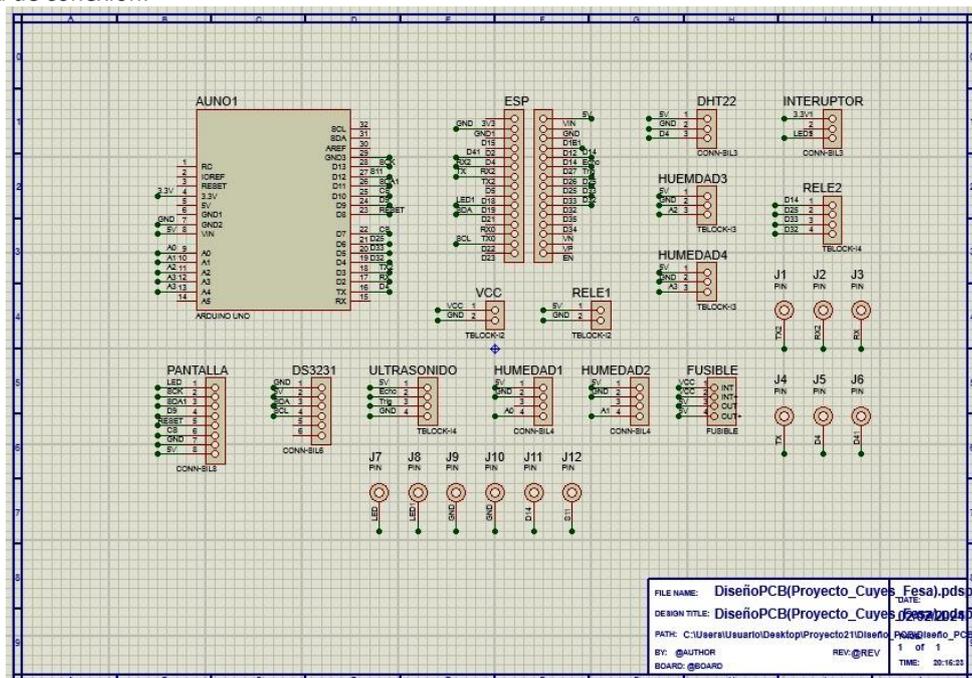
En el contexto de IoT, HTTP se utiliza para enviar y recibir datos entre dispositivos IoT y servidores web o servicios en la nube. Los dispositivos IoT pueden enviar datos como lecturas de sensores, estado de dispositivos, comandos de control, etc., a través de HTTP a un servidor web centralizado (HiveMQ, 2022).

2.4.4. Esquema del circuito.

Con el propósito de enriquecer la experiencia del lector se brinda una guía detallada y comprensible para replicar el diseño propuesto, se presenta un íntegro diagrama de conexión dispuesto en la figura 7. El esquema desarrollado en Proteus no solo sirve como una herramienta ilustrativa, sino que también actúa como un mapa detallado que facilita la implementación práctica del diseño. Además de que contribuye a una comprensión más profunda del conjunto, también mejora la accesibilidad del proceso, permitiendo al lector interpretar de manera efectiva las instrucciones y seguir los pasos de conexión con mayor confianza. El diseño de la PCB se puede ver en el Anexo 2. Y en el Anexo 3 de evidencia el sistema instalado.

Figura 7.

Esquema de conexión.



2.4.5. Programación del sistema de control.

Con la ayuda del Ing. Andrés Molina técnico de campo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se determinó que la textura de los suelos en la región de Gualleturo son semi arcillosos y basándonos en la información del Libro “El suelo y sus características agronómicas”, se obtuvo que el rye Grass necesita estar a una humedad entre el 25% al 75% preferiblemente y no menor al 15%, sumado a esto se debe tener consideración en que la temperatura no debe exceder de 35°C ya que ocasiona un retardo en el crecimiento del pasto (Gaucher, 1971), además, para que el pasto no se marchite por efectos del golpe del agua y el sol lo recomendable es realizar el regadío en horas de la noche de esta manera se tiene un crecimiento óptimo del pasto.

Durante la elaboración de un sistema de riego automatizado mediante ESP32, es crucial entender y seguir un procedimiento bien definido para garantizar la eficacia y la funcionalidad del sistema. En este contexto, se detalla paso a paso el procedimiento empleado en la elaboración de este sistema, centrándose particularmente en la programación que rige el control de las electroválvulas y la bomba de presión. La electroválvula desempeña un papel fundamental, siendo la encargada de regular el flujo de agua esencial para la adecuada hidratación del pasto. En la activación de estos actuadores se usa un módulo de relés.

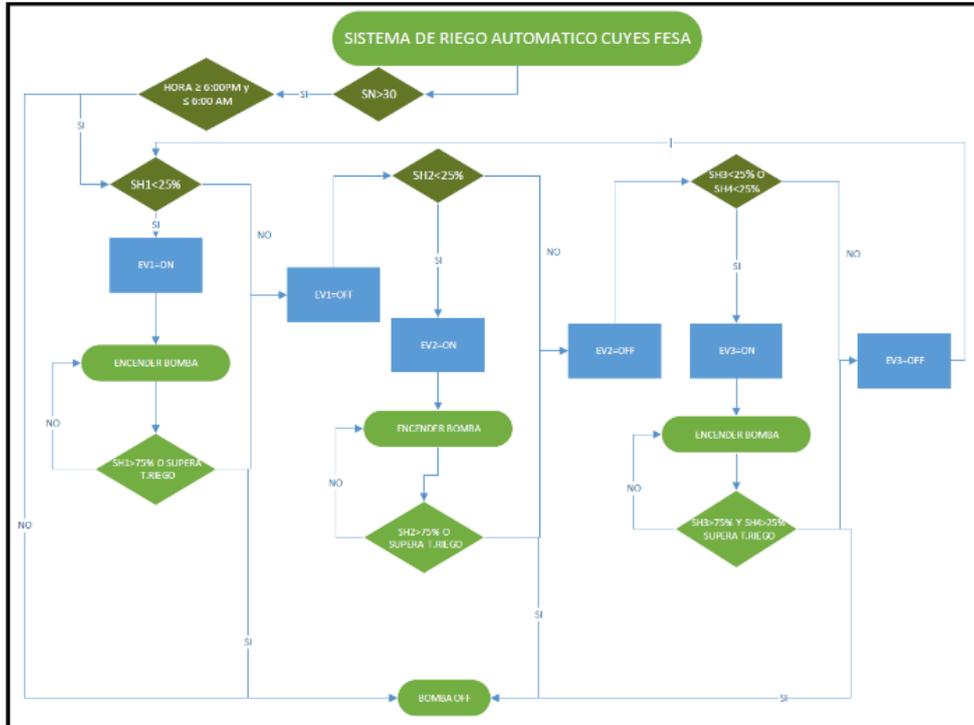
Para la adquisición de datos, se inicia definiendo los pines que serán utilizados como entradas. El ESP32 se emplea para capturar los datos de los sensores, incluyendo los niveles de agua del tanque y la información del sensor de humedad y temperatura ambientales. En el caso de los sensores de humedad, se recurre al uso de un Arduino Uno, el cual cuenta con los pines analógicos necesarios para abordar los cuatro sensores distribuidos en la parcela de investigación. Una vez recopilados los datos, se establece la comunicación entre el ESP32 y el Arduino Uno mediante el puerto serial, el cual también facilita la transmisión de los datos visualizados en la pantalla del sistema de control. Esta configuración permite una integración efectiva de los dispositivos, garantizando una recopilación precisa y oportuna de la información ambiental y del nivel de agua, aspectos críticos para la gestión eficiente del sistema de riego automatizado.

La fase siguiente comprende la programación del sistema, que comienza con la configuración del ESP32 para establecer una interfaz efectiva con los demás componentes y la plataforma IoT. Durante este proceso, se determina y establece la lógica necesaria para facilitar la comunicación eficiente entre el ESP32, las electroválvulas y la bomba. Esta etapa fundamental sienta las bases para el control preciso y automatizado del riego. En la figura 8 se incluye el diagrama de flujo base que servirá como referencia para la programación.

Algunos fragmentos relevantes del código de programación se encuentran en el Anexo 4.

Figura 8.

Diagrama de flujo base para Programación.



2.5. Resultados – Discusión.

La primera prueba que se llevó a cabo fue el funcionamiento del sistema hídrico, en el cual se obtuvieron buenos resultados ya que el sistema está funcional y alcanza las zonas de riego proyectadas de manera eficiente, y se evidenció que las zonas de riego que no son alcanzadas por los aspersores se riegan por salpicadura y por inundación. Esto proporciona un regadío óptimo para cumplir con las necesidades de la parcela.

En la segunda prueba se tuvieron resultados satisfactorios del sistema de control ya que se puso en funcionamiento en el banco de pruebas donde se pudo ir evidenciando el funcionamiento adecuado de los sensores tanto de nivel, humedad y de temperatura; así como también, la comunicación del ESP32 con el Thinkspk, lo cual se evidencia en la figura 9.

Figura 9.

Tendencia de sensores en ThingSpeak.



Se llevaron a cabo pruebas en diversos escenarios para comprobar el correcto funcionamiento del sistema y observar cómo se comportaba en diferentes condiciones.

Escenario 1: trata de realizar una prueba de funcionamiento en horario de riego (18:00 a 06:00) como en horario no apto para riego (06:00a 18:00), con los sensores de humedad en suelo húmedo y el sensor de nivel del tanque mayor al 30% y verificar que no se active ninguna electroválvula ni la bomba.

Escenario 2: esta prueba se irá verificando con cada uno de los sensores al momento que den un valor menor al 25% de humedad y el sensor de nivel del tanque mayor al 30%, que no se active ninguna electroválvula ni la bomba, esto se hace en horario de 06:00 a 18:00 (No apto para riego).

Escenario 3: esta prueba se irá verificando con cada uno de los sensores al momento que den un valor menor al 25% de humedad y el sensor de nivel del tanque mayor al 30%, que se active la electroválvula correspondiente y la bomba, esto se hace en horario de 18:00 a 06:00 (apto para riego).

Escenario 4: esta prueba una vez que este activado el riego se irá verificando con cada uno de los sensores al momento que den un valor mayor al 75% de humedad o que transcurra más de 30 minutos, que se desactive la electroválvula correspondiente y la bomba.

Escenario 5: esta prueba se verificará con uno de los sensores al momento que de un valor menor al 25% de humedad y que el nivel del tanque este menor al 30%, no se active ninguna electroválvula y la bomba, esto se hace en horarios de 18:00 a 06:00 (apto para riego) y 06:00 a 18:00 (No apto para riego).

En todos los escenarios se constata que el sensor de temperatura del ambiente esté enviando los datos acordes, debido a que la temperatura influye en el crecimiento del pasto cuando esta sobrepasa los 35°C, en el peor escenario llegando a detener el crecimiento, por lo que, esto servirá para que el personal de CuyesFesa pueda tomar las decisiones acertadas para el suministro de pasto a los cuyeros.

2.5.1. Escenario 1.

Tanto en horario de 17:50 como en 18:10, se ubicaron los sensores en suelo húmedo, visualizando los valores en la plataforma ThingSpeak y se comprobó que los actuadores no se activaron, los datos se observan en la tabla 1.

Tabla 1.

Valores adquiridos en el escenario 1.

Escenario 1				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	81%	Electroválvula 1	OFF	Al arrancar el sistema como los valores de humedad están sobre el 25% no se activa el riego, prueba superada
Humedad 2	85%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	80%			
Tempe. ambiente	13.8°C			

2.5.2. Escenario 2.

Se ubicaron uno por uno los sensores en suelo seco, los demás se ubicaron en suelo húmedo, visualizando los valores en la plataforma ThingSpeak y se comprobó el estado de los actuadores correspondientes, para el caso del sensor de humedad 1 (H1) se observa en la tabla 2.

Tabla 2.

Valores adquiridos en el escenario 2 H1.

Escenario 2				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	15%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen para que se active la electroválvula 1 y la bomba, lo cual no ocurrió debido a que el horario de riego no estaba dentro del permitido de 18H00 a 06H00
Humedad 2	85%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	65%			
Tempe. ambiente	16.4°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H2) se observa en la tabla 3.

Tabla 3.

Valores adquiridos en el escenario 2 H2.

Escenario 2				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	82%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen para que se active la electroválvula 2 y la bomba, lo cual no ocurrió debido a que el horario de riego no estaba dentro del permitido de 18H00 a 06H00
Humedad 2	17%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	58%			
Tempe. ambiente	16.4°C			

Para el caso del sensor de humedad 3 (H3) se observa en la tabla 4.

Tabla 4.

Valores adquiridos en el escenario 2 H3.

Escenario 2				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	82%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen para que se active la electroválvula 3 y la bomba, lo cual no ocurrió debido a que el horario de riego no estaba dentro del permitido de 18H00 a 06H00
Humedad 2	84%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	19%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	58%			
Tempe. ambiente	16.4°C			

Para el caso del sensor de humedad 4 (H4) se observa en la tabla 5.

Tabla 5.

Valores adquiridos en el escenario 2 H4.

Escenario 2				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	82%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen para que se active la electroválvula 3 y la bomba, lo cual no ocurrió debido a que el horario de riego no estaba dentro del permitido de 18H00 a 06H00
Humedad 2	77%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	16%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	56%			
Tempe. ambiente	16.4°C			

2.5.3. Escenario 3.

En horario de riego de 18H00 a 06H00, se ubicaron uno por uno los sensores en suelo seco, los demás se ubicaron en suelo húmedo, visualizando los valores en la plataforma ThingSpeak y se

comprobó el estado de los actuadores correspondientes, para el caso del sensor de humedad 1 (H1) se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

Valores adquiridos en el escenario 3 H1.

Escenario 3				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	14%	Electroválvula 1	ON	Las condiciones cumplen y se activó la electroválvula 1 y la bomba, lo cual está obedeciendo a lo programado.
Humedad 2	85%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	48%			
Tempe. ambiente	13.2°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H2) se observa en la tabla 7.

Tabla 7.

Valores adquiridos en el escenario 3 H2.

Escenario 3				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	85%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen y se activó la electroválvula 2 y la bomba, lo cual está obedeciendo a lo programado.
Humedad 2	15%	Electroválvula 2	ON	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	48%			
Tempe. ambiente	13.2°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H3) se observa en la tabla 8.

Tabla 8.

Valores adquiridos en el escenario 3 H3.

Escenario 3				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	86%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen y se activó la electroválvula 3 y la bomba, lo cual está obedeciendo a lo programado.
Humedad 2	81%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	15%	Electroválvula 3	ON	
Humedad 4	57%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	46%			
Tempe. ambiente	13.2°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H4) se observa en la tabla 9.

Tabla 9.

Valores adquiridos en el escenario 3 H4.

Escenario 3				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	86%	Electroválvula 1	OFF	Las condiciones cumplen y se activó la electroválvula 3 y la bomba, lo cual está obedeciendo a lo programado.
Humedad 2	81%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	85%	Electroválvula 3	ON	
Humedad 4	14%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	46%			
Tempe. ambiente	13.2°C			

2.5.4. Escenario 4.

Una vez que el sistema esta activado una línea de riego se ubicaron uno por uno los sensores en suelo húmedo, visualizando los valores en la plataforma ThingSpeak y se comprobó el estado de los actuadores correspondientes, para el caso del sensor de humedad 1 (H1) se observa en la tabla 10.

Tabla 10.

Valores adquiridos en el escenario 4 H1.

Escenario 4				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	78%	Electroválvula 1	OFF	El sensor de humedad 1 marca más de 75%, por lo tanto, se desactivan la electroválvula 1 y bomba. Prueba satisfactoria.
Humedad 2	85%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	44%			
Tempe. ambiente	13.3°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H2) se observa en la tabla 11.

Tabla 11.

Valores adquiridos en el escenario 4 H2.

Escenario 4				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	85%	Electroválvula 1	OFF	El sensor de humedad 2 marca más de 75%, por lo tanto, se desactivan la electroválvula 2 y bomba. Prueba satisfactoria.
Humedad 2	79%	Electroválvula 2	ON	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	41%			
Tempe. ambiente	13.6°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H3) se observa en la tabla 12.

Tabla 12.

Valores adquiridos en el escenario 4 H3.

Escenario 4				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	86%	Electroválvula 1	OFF	El sensor de humedad 3 marca más de 75%, por lo tanto, se desactivan la electroválvula 3 y bomba. Prueba satisfactoria.
Humedad 2	81%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	76%	Electroválvula 3	ON	
Humedad 4	57%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	40%			
Tempe. ambiente	13.8°C			

Para el caso del sensor de humedad 2 (H4) se observa en la tabla 13.

Tabla 13.

Valores adquiridos en el escenario 4 H4.

Escenario 4				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	86%	Electroválvula 1	OFF	El sensor de humedad 4 no llego aun al 75% pero ya transcurrieron los 30min., por lo tanto, se desactivan la electroválvula 3 y bomba. Prueba satisfactoria.
Humedad 2	81%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	85%	Electroválvula 3	ON	
Humedad 4	74%	Bomba	ON	
Nivel de tanque	40%			
Tempe. ambiente	13.8°C			

2.5.5. Escenario 5.

En horario de riego de 18H00 a 06H00, se ubicó uno de los sensores en suelo seco, los demás se ubicaron en suelo húmedo, visualizando los valores en la plataforma ThingSpeak, se baja el nivel del tanque de agua a menos del 30% y se comprobó el estado de los actuadores correspondientes, se observa en la tabla 14.

Tabla 14.

Valores adquiridos en el escenario 5.

Escenario 5				
Sensor	Valor sensor	Actuador	Estado actuador	Conclusión
Humedad 1	14%	Electroválvula 1	OFF	Una de las condiciones para que entre en funcionamiento el sistema es que el nivel del tanque este sobre el 30%, por lo tanto, no se activó ningún actuador.
Humedad 2	85%	Electroválvula 2	OFF	
Humedad 3	59%	Electroválvula 3	OFF	
Humedad 4	57%	Bomba	OFF	
Nivel de tanque	20%			
Tempe. ambiente	13.5°C			

En las pruebas cada escenario fue diseñado para evaluar aspectos específicos del funcionamiento del sistema y su capacidad para responder a condiciones variables. Los resultados de las pruebas reflejan un diseño cuidadoso y una implementación efectiva del sistema hídrico, que demuestra una capacidad sólida para adaptarse a diversas condiciones y garantizar un suministro óptimo de agua para el cultivo de pasto, crucial para la crianza de los cuyes. Con la dificultad de que la presión de agua no fue la ideal en las líneas de riego de mas de 2 aspersores. Además, el monitoreo continuo de la temperatura ambiente en todos los escenarios subraya la importancia de las condiciones ambientales en el proceso de riego y el crecimiento del pasto, ofreciendo al personal la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre el suministro de alimento para los cuyes.

Con la presente investigación se busca reducir el tiempo de crecimiento del pasto y gestionar de manera eficiente el consumo de agua para evitar desperdicios. Durante el verano de 2023, se observó que el pasto regado manualmente alcanzaba una altura de 50 cm en un promedio de 28 días, con un consumo medio de agua de 2 litros por minuto. Con la implementación del sistema propuesto en esta investigación, se espera reducir el consumo de agua y el tiempo a un promedio de 18 días lo cual se considera óptimo para alcanzar la altura de corte mínima de 50 cm con una hidratación adecuada. Sin embargo, es importante destacar que esta reducción del tiempo de crecimiento aún está sujeta a comprobación, principalmente debido a las condiciones climáticas durante la ejecución del estudio, y también se debe considerar la influencia del fenómeno del Niño en la parroquia de Gualleturo.

CONCLUSIONES

Después de analizar diversas opciones de sistemas de riego, como el riego por inundación, riego por goteo y riego por aspersión, se concluyó que, dadas las características del suelo arcilloso y el tipo de pasto, el Rye Grass, el riego por aspersión es la opción más adecuada. Para asegurar una gestión eficiente del recurso hídrico y un riego automático acorde a las necesidades del cultivo, se optó por tecnología que incluyera la conectividad con el IoT, es fundamental que esta elección tecnológica garantice tanto un rendimiento óptimo como una alta calidad de los componentes utilizados, sin descuidar la viabilidad financiera del emprendimiento que lleva a cabo la investigación. Cabe recalcar que la elección de la bomba de presión no fue la adecuada debido a que no satisficció para la línea de aspersión de más de un aspersor.

La elección de la placa controladora ESP32 ha sido acertada debido a su amplia variedad de capacidades y funcionalidades, incluyendo el manejo de señales analógico-digitales y la conexión wifi para IoT. La automatización del sistema de riego a través de esta placa no solo permite una gestión precisa y oportuna del riego, sino que también facilita futuras expansiones y mejoras del sistema. Este enfoque demuestra la importancia de la innovación tecnológica en la agricultura, impulsando la modernización y mejora de los procesos agrícolas y la eficiencia en el uso del agua, en cuanto a los sensores de humedad la elección no fue la adecuada debido al prematuro desgaste de los mismo.

A través de la integración de la tecnología IoT, se ha logrado crear un sistema que no solo automatiza el proceso de riego, sino que también proporciona capacidades de monitoreo en tiempo real, permitiendo una toma de decisiones más acertada y una respuesta oportuna a las condiciones del cultivo y del entorno. Aunque se reconoce que el protocolo de comunicación HTTP podría no ser ideal para proyectos a mayor escala debido al potencial aumento del tráfico de datos, se constata que para este proyecto en particular funcionó de manera adecuada. Esta implementación representa un paso importante hacia una agricultura más sostenible, eficiente y tecnológicamente avanzada, que busca maximizar la productividad y minimizar el impacto.

Las pruebas de funcionamiento arrojaron resultados satisfactorios en todos los aspectos evaluados, incluyendo el sistema de control, el sistema de riego y la comunicación con la plataforma ThingSpeak para monitorear las variables ambientales. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas invernales, aún queda pendiente la verificación de la optimización del crecimiento del pasto hasta alcanzar el punto de corte deseado. A pesar de este aspecto pendiente, el sistema implementado se muestra viable tanto desde una perspectiva económica como funcional. Además, su éxito sugiere que puede servir como un sólido punto de partida para futuros proyectos en el sector agrícola de la parroquia Gualleturo y áreas adyacentes.

RECOMENDACIONES

El riego por aspersión es la opción más adecuada para el tipo de suelo y el pasto Rye Grass, y considerando la necesidad de una gestión eficiente del recurso hídrico, se recomienda priorizar la implementación de sistemas de riego por aspersión en proyectos agrícolas similares. Sin embargo, al elegir estas soluciones tecnológicas, es fundamental evaluar su costo y garantizar que la inversión sea viable económicamente a largo plazo, en proyectos más extensos. Se sugiere realizar un análisis de suelo y evaluar si el proyecto necesita la incorporación de un sistema de fertilización.

Se sugiere considerar el uso de la Esp32 en futuros proyectos agrícolas que requieran automatización y conectividad con IoT por su versatilidad, lo cual, le convierte en una opción robusta para aplicaciones agrícolas. Además, se recomienda estar atentos a futuras actualizaciones y mejoras en la tecnología de la ESP32, ya que estas pueden ofrecer nuevas oportunidades para optimizar y expandir los sistemas implementados para impulsar la eficiencia y la sostenibilidad en el sector agrícola. Además, se recomienda considerar el uso de PLC o un Raspberry Pi, que podrían ser opciones acertadas para implementaciones a gran escala. También se recomienda seleccionar sensores que sean robustos y capaces de funcionar de manera óptima incluso en condiciones climáticas extremas. Estas alternativas pueden proporcionar soluciones robustas y escalables para proyectos agrícolas que requieran una mayor capacidad y alcance.

La integración de la tecnología IoT ofrece beneficios significativos al proporcionar una gestión más precisa y oportuna del riego, así como una capacidad de monitoreo en tiempo real que permite una respuesta ágil a las condiciones cambiantes del cultivo y del entorno, por lo que se recomienda en futuros proyectos no solo monitorizar sino también realizar control de forma remota con IoT. Esta recomendación refleja un compromiso con la innovación y el progreso en el sector agrícola, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes que puedan contribuir al bienestar tanto económico como ambiental de las comunidades agrícolas.

Es crucial completar esta fase de evaluación para obtener una comprensión completa del rendimiento del sistema implementado. Además, se sugiere continuar explorando y refinando el sistema en términos económicos y funcionales, aprovechando su viabilidad demostrada hasta el momento. El éxito del proyecto hasta la fecha indica un sólido potencial para su aplicación en futuros proyectos agrícolas tanto en la parroquia de Gualleturo como en áreas adyacentes. Esta recomendación subraya la importancia de la perseverancia y el continuo desarrollo en la implementación de soluciones agrícolas innovadoras y efectivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, T. (2020). *Tecnologías de irrigación y fertilización*. Editorial Académica Española.
- Ayala, R. A. (2019). *Sistema de control de riego con monitoreo y administración remota, en el sembrío del plantel educativo Fraternidad y Servicio [Tesis de grado, Universidad Israel]*. Repositorio de la Universidad. <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2074>
- Bonifacio, J. L. (2020). *Sistemas de riego tecnificado para la producción de forrajes [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de Molina]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4606>
- Cortes, V., y Vargas, M. F. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IoT en los cultivos urbanos de la fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin [Tesis de ingeniería, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio de la Universidad. <https://hdl.handle.net/10983/25546>
- EDteam. (29 de mayo de 2020). ¿Qué es y para qué sirve el protocolo HTTP? [Viedo]. Youtube. www.youtube.com/watch?v=VROImVct7YA
- Gaucher, G. (1971). *Tratado de pedología agrícola. El suelo y sus características agronómicas*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Guerrero, C., Escalona Mendoza, R. A., y Tapia Hernández, G. (18 de 12 de 2018). *Diseño e instalación de sistema de riego automatizado para orquídea oncidium sphacelatum en invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional]*. Repositorio Institucional. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27827>
- Guijarro, A. A., Ceballos Torres, L. J., Preciado Maila, D. K., y Zambrano Manzur, B. N. (2018). Sistema de riego automatizado con Arduino. *Revista Espacios*, 39(37), 27. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n37/a18v39n37p27.pdf>
- Haro, V. I. (2019). *Implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología lora con esp32 [Tesis de grado, Universidad Israel]*. Repositorio de la Universidad. <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2142>
- HiveMQ. (17 de agosto de 2022). MQTT frente a HTTP para IoT [Video]. Youtube. www.youtube.com/watch?v=0LBD0-gIA1I
- Jácome, E. A., Coello, M. J., Moreno, F., y Cruz, C. (2015). Metodología para la evaluación del nivel tecnológico del cultivo de Rye grass en los Andes ecuatorianos, microcuenca del río Chimborazo. *Revista Iberoamericana CIBA*, 4(8), 88-117.

- Marín, G. (2018). *Diseño y automatización de un sistema de riego para una parcela de 9 hectáreas [Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/11390>
- Narváez, C. D. (2022). *Sistema Scada para el reporteador ABB de adquisición de datos del controlador Allen Bradley en la unión cementera nacional [Tesis de maestría, Univercidad Israel]*. Repositorio de la Universidad. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3331>
- Rivadeneira, C. A. (2020). *Evaluación de rendimiento entre el estándar de mensajería MQTT y la plataforma Firebase a través de un prototipo, modelo de comunicación IoT [Tesis de maestría, Universidad Israel]*. Repositorio de la Universidad. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2751>
- Tibanquiza, S. H. (2020). *Automatización del sistema de riego en la Florícola Los Angeles Rosales [Tesis de grado, Universidad Israel]*. Repositorio de la Universidad. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2609>
- Veintimilla, A. I., y Lalangui, R. M. (2021). *Diseño de un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la hacienda San Alfonso del cantón Ponce Enríquez [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Institucional. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21409>

ANEXOS

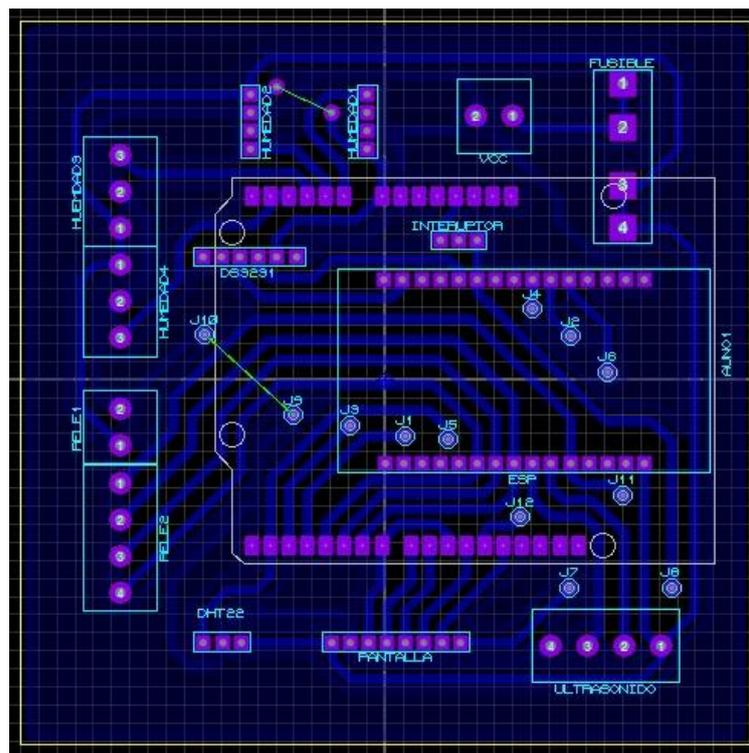
ANEXO 1

Sistema de riego instalado.



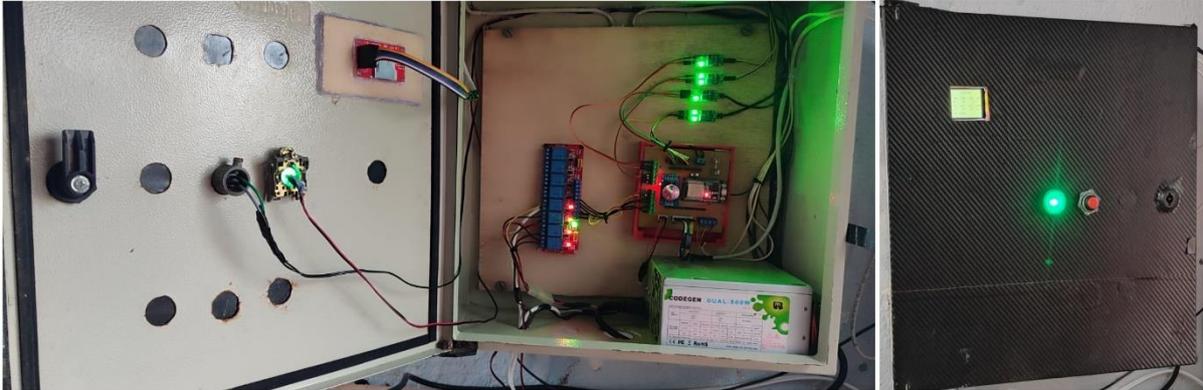
ANEXO 2

Diseño de la PCB.



ANEXO 3

Sistema de control instalado.



ANEXO 4

Fragmentos de la programación.

Librerías para la conexión con ThingSpeak.

```
//////////////////// Libreria comunicación Internet - ThingSpeak
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h> // Biblioteca para ThingSpeak
const char *ssid = "CUYES FESA";
const char *password = "Cuyesfesa2024";
int status = WL_IDLE_STATUS;
WiFiClient cliente;

unsigned long canal1 = 2411627;
const char * myWriteAPIKey1 = "IFPSBG6QI5F8WEZU";
unsigned long canal2 = 2411628;
const char * myWriteAPIKey2 = "1WF8N25W54K3FLY8";
```

Función de envío de datos a ThingSpeak.

```
void envio()
{
    ThingSpeak.setField(1,hum1);
    ThingSpeak.setField(2,hum2);
    ThingSpeak.setField(3,hum3);
    ThingSpeak.setField(4,hum4);
    ThingSpeak.setField(5,temp1);
    ThingSpeak.setField(6,humed1);
    ThingSpeak.setField(7,tanque);
    ThingSpeak.setField(8,100);
    ThingSpeak.writeFields(canal1, myWriteAPIKey1);

    ThingSpeak.setField(1,flag1);
    ThingSpeak.setField(2,flag2);
    ThingSpeak.setField(3,flag3);
    ThingSpeak.setField(4,flag4);
    ThingSpeak.setField(5,mes);
    ThingSpeak.setField(6,dia);
    ThingSpeak.setField(7,hora);
    ThingSpeak.setField(8,minuto);
    ThingSpeak.writeFields(canal2, myWriteAPIKey2);
}
```

Función de conexión a internet.

```
void connectWiFi()
{
  Serial.println("Conectando...");
  WiFi.begin(ssid, password);
  int attempt = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempt < 2)
  {
    delay(1000);
    Serial.println("Intentando conexión WiFi...");
    attempt++;
  }
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
  {
    //Serial.println("Conexión WiFi estable");
  }
}
```

Adquisición de datos de humedad.

```
void humedad() //// 4 sensores de humedad de suelo
{
  h=analogRead(A0);
  h1 = map(h, 40, 1024, 100, 0); // Mapear el valor del sensor al nuevo rango (0-100)
  delay(500);
  h2=analogRead(A1);
  h3 = map(h2, 40, 1024, 100, 0); // Mapear el valor del sensor al nuevo rango (0-100)
  delay(500);
  h4=analogRead(A2);
  h5 = map(h4, 40, 1024, 100, 0); // Mapear el valor del sensor al nuevo rango (0-100)
  delay(500);
  h6=analogRead(A3);
  h7 = map(h6, 40, 1024, 100, 0); // Mapear el valor del sensor al nuevo rango (0-100)
  delay(500);
}

// Esperar a recibir 5 números del ESP32
while (mySerial.available() > 0)
{
  int receivedData[1];
  for (int i = 0; i < 1; i++)
  {
    if (mySerial.available() > 0)
    {
      receivedData[i] = mySerial.parseInt();
    }
  }

  if (receivedData[0] != 0)
  {
    e1=receivedData[0];
  }
}
delay(1500);

mySerial.println(humm1);
mySerial.println(humm3);
mySerial.println(humm5);
mySerial.println(humm7);
delay(1500);
}
```

```

Serial2.println(ccmm); // Envía números del 1 al 4
delay(500);
// Esperar a recibir 6 números del Arduino Uno
while (Serial2.available() < 4);

// Leer y mostrar los números recibidos del Arduino Uno
for (int i = 0; i <4; i++)
{
  int receivedNumber = Serial2.parseInt();
  if(i==0)
  {
    hum1=receivedNumber;
  }
  if(i==1)
  {
    hum2=receivedNumber;
  }
  if(i==2)
  {
    hum3=receivedNumber;
  }
  if(i==3)
  {
    hum4=receivedNumber;
  }
}
}

```

Adquisición de datos de temperatura y humedad ambiental.

```

void dht1() //////////////// Módulo DHT22
{
  temp1 = dht.readTemperature();
  humed1 = dht.readHumidity();

  if (!isnan(temp1) && !isnan(humed1))
  {
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(temp1);
    Serial.print(" °C\tHumedad: ");
    Serial.print(humed1);
    Serial.println(" %");
  }
  else
  {
    // Serial.println("Error al leer el sensor DHT22");
  }
  delay(1000); // Esperar 2 segundos antes de la siguiente lectura
}

```

Adquisición de datos de nivel del tanque.

```
void nivel1() //////////////// Medición del nivel de agua
{
  // El sensor se activa con un pulso ALTO de 10 microsegundos o más
  // Emite un breve pulso BAJO antes para asegurar un pulso ALTO limpio:
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // Lee la señal del sensor: un pulso ALTO cuya duración
  // es el tiempo (en microsegundos) desde el envío del
  // ping hasta la recepción de su eco de un objeto.
  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // Convierte el tiempo en distancia
  cm = (duration/2) / 29.1;    // Divide entre 29.1 o multiplica por 0.0343
  inches = (duration/2) / 74; // Divide entre 74 o multiplica por 0.0135
  //Serial.print(inches);
  // Serial.print("in, ");
  Serial.print(cm);
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
  delay(250);
  nivel = cm;
  tanque=80-nivel;
}
```