



Universidad **Mariana**

Prototipo inteligente de control de riego tecnificado en cultivos de papa

Christian Alexander Valenzuela Ojeda

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto

2023

Prototipo inteligente de control de riego tecnificado en cultivos de papa

Christian Alexander Valenzuela Ojeda

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Mecatrónico

Asesor

Mg. Jorge Andrés Chamorro Enríquez

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2023

Artículo 71: Los conceptos, afirmaciones, y opiniones emitidas en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s).

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Primero que todo le agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para salir adelante en mi carrera, por haberme dado sabiduría en los momentos más difíciles. Gracias a la Universidad por brindarme los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Le agradezco a mis padres Yolanda Ojeda y Segundo Valenzuela. por su esfuerzo, trabajo y amor en todos estos años, gracias por ayudarme a salir adelante desde la distancia, por siempre a ver confiado y nunca haberse rendido en momentos difíciles. A mi hermano Sebastián Valenzuela por ser la persona que me dio fuerza en esta etapa.

Le doy gracias a mi tutor Jorge Andrés Chamorro por ser parte fundamental del desarrollo de este proyecto ya que nos brindó todo su conocimiento y tiempo. Por su ayuda y paciencia durante toda esta etapa.

Dedicatorias

Este proyecto es dedicado con profundo agradecimiento y amor a mis padres, Yolanda Ojeda y Segundo Valenzuela, quienes no solo me brindaron la oportunidad de vivir, sino que también han sido mi constante apoyo en cada momento. A mi querido hermano, quien ha sido mi fuente de fortaleza, impulsándome a seguir adelante con determinación. Su apoyo incondicional ha sido fundamental en este viaje y merecen todo mi reconocimiento y gratitud.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Mariana quienes me brindaron el conocimiento para llegar donde estoy y poder ser una persona mejor.

Contenido

Introducción	14
1. Resumen del proyecto	16
1.1 Descripción del problema.....	17
1.1.1 Formulación del problema	18
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 Marco referencial	21
1.4.1 Marco de antecedentes	21
1.4.2 Marco teórico	24
1.4.2.1 La agricultura.	24
1.4.2.2 Agricultura en Colombia.	25
1.4.2.3 Nariño y los cultivos de papa.	25
1.4.2.4 Riego y tipos.....	26
1.4.2.4.1 Riego por goteo.	26
1.4.2.4.2 Riego por aspersión.....	27
1.4.2.4.3 Riego por Microaspersión.	28
1.4.2.4.4 Riego por surcos.....	29
1.4.2.4.5 Riego por fajas o melgas.	29
1.4.2.5 Implementación del control PID.	30
1.4.3 Marco Conceptual	32
1.4.3.1 Sensores y actuadores.....	32
1.4.3.2 Qué es Arduino.....	33
1.4.3.3 Arduino mega.....	33
1.4.3.4 IOT.	35
1.4.3.5 Módulo ESP32.	36
1.4.3.6 Sistema operacional del ESP32.....	37
1.4.3.7 Programación ESP32.....	37

1.4.3.8 Distribución de pines.....	37
1.5 Marco metodológico	40
1.5.1 Descripción metodológica.....	44
1.5.2 Enfoque de la investigación	45
1.6 Alcance de la investigación.....	45
1.7 Validez de los resultados.....	45
1.7.1 Validez interna	46
1.7.2 Validez externa.....	46
2. Resultados	48
2.1 Determinar condiciones asociadas a las variables de humedad	48
2.1.1 Condiciones del cultivo.....	49
2.1.2 Sistema de Riego.....	50
2.1.3 Clases de mini moto bombas sumergibles	52
2.1.4 Driver L298N	53
2.1.5 Sensores del prototipo	53
2.1.6 Calibración de sensores.....	57
2.1.6.1 Calibración del sensor de temperatura DC18b20.....	57
2.1.7 Calibración sensor de humedad YL-69	65
2.1.8 Calibración sensor de proximidad HC-SR04.....	72
2.2 Construcción de un sistema de control y monitoreo	74
2.2.1 Trabajo y accionamiento de los sensores	74
2.2.2 Sensor de humedad.....	74
2.2.3 Sensor de temperatura	75
2.2.4 Sensor de proximidad ultrasónico	75
2.2.5 Estructura física y mecánica.....	76
2.2.6 Cálculos de la estructura del prototipo	80
2.2.7 Circuito electrónico	81
2.2.8 Componentes electrónicos.....	81
2.2.9 Tarjeta Electrónica	84
2.2.10 Programación	85
2.2.11 Interfaz gráfica	87

2.3 Verificar el funcionamiento del prototipo de riego	90
2.3.1 Integración del sistema construido	90
2.3.2 Resultados de verificación interna	91
2.3.3 Resultados de verificación externa.....	93
2.3.3.1 Diseño y control PID.....	93
2.3.4 Pruebas de humedad con el prototipo	94
2.3.5 Pruebas de temperatura ambiente del prototipo	97
2.4 Resultados de la verificación externa.....	100
2.4.1 Consumo de agua	100
2.4.2 Medición de humedad de suelo	103
2.4.3 Soil tester 5 en 1 s-2	104
3. Conclusiones	106
4. Recomendaciones	107
Referencias bibliográficas	108
Anexos.....	112

Índice de Tablas

Tabla 1. Características y Detalles del Arduino Mega 2560.....	34
Tabla 2. Características y detalles del módulo Esp32 Dev Kit V1	39
Tabla 3. Matriz metodológica	41
Tabla 4. Mini moto bomba sumergible	52
Tabla 5. Sensores de Temperatura	54
Tabla 6. Sensores de Proximidad	55
Tabla 7. Sensores de Humedad	56
Tabla 8. Calibración sensor de temperatura	64
Tabla 9. Datos de humedad tomadas con el sensor.....	68
Tabla 10. Resultado de la ecuación polinómica de tercer orden.....	69
Tabla 11. Resultado de la ecuación polinómica de potencia.....	70
Tabla 12. Medición de distancia en centímetros	72
Tabla 13. Consumo de energía del prototipo	82
Tabla 14. Consumo de agua riego no tecnificado por aspersión.....	100
Tabla 15. Consumo de agua aplicando la fórmula de caudal.....	101
Tabla 16. Consumo de agua del prototipo.....	101
Tabla 17. Caudal durante el riego	102
Tabla 18. Escalas de humedad del sensor	103
Tabla 19. Medición de humedad con el detector	105

Índice de Figuras

Figura 1. Riego por goteo.....	27
Figura 2. Riego por aspersión	28
Figura 3. Riego por micro aspersor.....	28
Figura 4. Riego por surcos	29
Figura 5. Riego por melgas	30
Figura 6. Arduino mega	34
Figura 7. Esp32 Dev Kit V1.....	38
Figura 8. Diagrama de flujo del riego	51
Figura 9. Mini moto bomba sumergible JT-DC3V-3.....	52
Figura 10. Driver L298N.....	53
Figura 11. Sensor DS18B20.....	55
Figura 12. Sensor HC-SR04.....	56
Figura 13. Sensor YL-69.....	57
Figura 14. Toma 1 de datos de la pagina.....	58
Figura 15. Toma 2 de datos de la pagina.....	58
Figura 16. Toma 3 de datos de la pagina.....	59
Figura 17. Toma 4 de datos de la pagina.....	59
Figura 18. Toma 5 de datos de la pagina.....	60
Figura 19. Toma 1 de datos del sensor.....	60
Figura 20. Toma 2 de Datos del sensor.....	61
Figura 21. Toma 3 de datos del sensor.....	61
Figura 22. Toma 4 de datos del sensor.....	62
Figura 23. Toma 5 de datos del sensor.....	62
Figura 24. Comparación de los datos del sensor y la página	63
Figura 25. Pruebas de humedad en el laboratorio	66
Figura 26. Curva de relación entre la humedad del suelo y el voltaje del sensor	68
Figura 27. Ecuación polinomial de tercer orden enfoque de línea de tendencia.....	69
Figura 28. Ecuación de potencia de enfoque lineal.....	70
Figura 29. Resultado de la humedad del suelo mediante la ecuación polinómica	71

Figura 30. Resultado humedad del suelo mediante la ecuación potencial de acercamiento	71
Figura 31. Calibración sensor de proximidad	72
Figura 32. Diagrama de bloques de conexión principal del prototipo	73
Figura 33. Diagrama principal de conexiones de los componentes	75
Figura 34. Puntas de inserción para el suelo	76
Figura 35. Viga superior con motor	77
Figura 36. Tornillo helicoidal.....	78
Figura 37. Estructura física y mecánica del prototipo.....	78
Figura 38. Carcasa del mecanismo.....	79
Figura 39. Medidas de la estructura del prototipo.....	80
Figura 40. Fuente de alimentación	82
Figura 41. Pantalla LCD.....	83
Figura 42. Motor Nema PaP.....	83
Figura 43. Tarjeta electrónica.....	84
Figura 44. Caja de proyectos con la tarjeta electrónica.....	85
Figura 45. Diagrama de bloques programación	86
Figura 46. Diagrama de bloques programación sensor	87
Figura 47. Panel de temperatura.....	88
Figura 48. Panel de humedad	88
Figura 49. Panel interactivo de llenado	89
Figura 50. Diagrama de bloques control de humedad.....	89
Figura 51. Panel del tanque de agua.....	90
Figura 52. Parámetros de control	93
Figura 53. Sintonización	94
Figura 54. Prueba 1 de humedad con el prototipo.....	94
Figura 55. Prueba 2 de humedad con el prototipo.....	95
Figura 56. Prueba 3 de humedad con el prototipo.....	95
Figura 57. Prueba 4 de humedad con el prototipo.....	96
Figura 58. Prueba 5 de humedad con el prototipo.....	96
Figura 59. Prueba 1 de temperatura con el prototipo	97
Figura 60. Prueba 2 de temperatura con el prototipo	97

Figura 61. Prueba 3 de temperatura con el prototipo	98
Figura 62. Prueba 4 de temperatura con el prototipo	98
Figura 63. Prueba 5 de Temperatura con el prototipo.....	99
Figura 64. Comparación de humedad con respecto a la temperatura.....	99
Figura 65. Control de riego hecho por el prototipo.....	103
Figura 66. Sensor de humedad S-2.....	104
Figura 67. Prueba de humedad con el Soil tester	104

Índice de Anexos

Anexo A. Extracción de muestra de suelo del cultivo	112
Anexo B. Pruebas de humedad en el laboratorio	113
Anexo C. Ensamble de la segunda caja de proyecto suministro de agua.....	114
Anexo D. Pruebas de humedad en el cultivo	115
Anexo E. Instalación medidora de caudal	116
Anexo F. Pruebas de caudal del riego manual y prototipo.....	117
Anexo G. Código del prototipo e interfaz gráfica.....	118
Anexo H. Interfaz interactiva	123
Anexo I. Presupuesto.....	124
Anexo J. Cronograma.....	126

Introducción

El sector agrícola es de vital importancia en el mundo, no solamente por ser una fuente de alimentos y materias prima, sino porque además este contribuye al crecimiento y desarrollo de cada país; en la agricultura se utiliza una gran cantidad de agua en los procesos tanto de cultivo, selección y manejo de los productos, por ende se debe optimizar y monitorizar el manejo del agua, de modo que no se generen pérdidas monetarias y biológicas, ya que el recurso hídrico es fundamental en el desarrollo de todos los seres vivos. De acuerdo al informe de la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) la agricultura es la responsable del gasto del 70% del agua disponible en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

En Cumbal, municipio del departamento de Nariño-Colombia, el sector agrícola es de vital importancia, sin embargo, los pequeños y medianos agricultores que tienen plantaciones de papa, cuentan con poca o nula tecnificación en estos, de modo que deben operar con riegos manuales o artesanales. En una finca ubicada en las afueras de la zona urbana del municipio se presentan cortes esporádicos de agua debido a daños en el sistema de acueducto de la localidad, estos inconvenientes revelan deficiencias en las infraestructuras hídricas que abastecen al sector agrícola, presentado fallas en los sistemas de riego que proveen de agua a los cultivos. Según Avilés (2006), las formas en las que se hace uso del agua, dependen de diferentes factores socio económicos, tales como la ubicación geográfica del lugar, la economía que tiene, las actividades a las que se dedican los miembros de la comunidad y el contexto cultural.

La gestión eficiente del agua en la agricultura es una tarea crucial, particularmente en cultivos como la papa, donde el riego manual puede conducir a desperdicios significativos de este recurso esencial, frente a esto hay autores que resaltan la importancia del recurso hídrico.

El agua es indispensable para las diferentes formas de vida que existen en el mundo y para el desarrollo socioeconómico de cada nación, tanto la escasez como la contaminación de este recurso natural y el incremento de frecuencias de aparición de inundaciones y sequías, afecta a todos los países en menor o mayor grado. (Betancourt et al., 2017, p. 42)

En este contexto, el presente trabajo de grado se enfoca en la automatización y optimización del proceso de riego, para reducir el uso excesivo del agua y evitar desperdicios. La problemática central que se aborda radica en las prácticas tradicionales de riego manual, las cuales, además de ser laboriosas, pueden resultar ineficientes y propensas al uso indiscriminado de agua. El desafío consiste en encontrar una solución que combine la precisión en el suministro de agua con la simplicidad operativa, mejorando así la sostenibilidad y productividad del cultivo.

Para superar esta problemática, se ha desarrollado un sistema integral que incorpora sensores de humedad del suelo y un controlador PID para gestionar la bomba de riego. Este enfoque automatizado busca adaptarse dinámicamente a las condiciones del suelo, garantizando un suministro óptimo de agua que satisfaga las necesidades del cultivo y, al mismo tiempo, minimice el uso innecesario de este recurso valioso.

La implementación de este sistema ha resultado en una reducción efectiva del consumo de agua, logrando un equilibrio óptimo sin afectar la humedad del suelo. Estos resultados prometedores subrayan la capacidad de la tecnología propuesta para mejorar la eficiencia de riego en el cultivo de papa, destacando su viabilidad como una solución práctica y sostenible para la gestión del agua en la agricultura.

A lo largo de este trabajo, se explorarán las características y el funcionamiento detallado de este sistema, evaluando su eficacia en la reducción del consumo de agua y mejorando la eficacia del riego en el cultivo de papa. Este enfoque no solo busca optimizar la gestión hídrica, sino también contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

1. Resumen del proyecto

En Colombia se cultiva papa en latitudes que van desde los 2.000 hasta los 3.500 m.s.n.m. La altura del cultivo es determinante en la temperatura ambiente que puede afectar en el desarrollo de la planta y su rendimiento. Para el año 2013 en Colombia se produjeron 2.788.050 toneladas, siendo Cundinamarca el principal departamento productor con 1.001.376 ton, Boyacá con 709.000 ton, Nariño con 509.400 ton y Antioquia con 168.172 ton. Globalmente la automatización en procesos agrícolas está siendo más requerida por parte de pequeños, medianos y grandes agricultores, una de las principales razones es que el agricultor se enfrenta a varios inconvenientes que se presentan en su localidad, tales como el suministro irregular de agua. En Colombia la agricultura ha experimentado una baja tecnificación en comparación con otros países y en gran parte de la agricultura colombiana, el conocimiento sobre el tema es empírico; la falta de información por parte de los agricultores, ocasionan pérdidas tanto económicas como ecológicas durante el proceso del cultivo. Por consiguiente, resulta esencial el empleo de herramientas tecnológicas precisas que aborden los inconvenientes derivados de la ineficiencia de los sistemas manuales de riego que se utilizan de manera frecuente.

En el departamento de Nariño, se dispondrá de una finca ubicada en el municipio de Cumbal, teniendo esta zona como área de prueba para la validación del prototipo. Se buscará una solución al uso indiscriminado del agua que se presenta en el cultivo, para ello se implementará el uso de mecanismos electrónicos, mecánicos y de comunicación mediante la IoT, que cumplirán distintas funciones, entre las que se incluye la medición del nivel del tanque destinado al riego, la evaluación de la humedad presente en el cultivo y la monitorización de la temperatura ambiental. Un componente fundamental de su operatividad radica en la implementación de un controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo). Este controlador opera de manera dinámica, ajustando la cantidad de riego en respuesta a las lecturas de humedad del suelo, asegurando así un riego preciso y adaptable a las condiciones cambiantes. Además, se integra un sensor ultrasónico para supervisar el nivel de agua en el tanque, facilitando decisiones informadas en torno al riego. Este enfoque inteligente no solo garantiza un suministro de agua adecuado, sino que también previene desbordamientos y fomenta un uso eficiente de este recurso vital. El objetivo de este proyecto es mejorar la eficiencia y la gestión del riego en el cultivo apoyándose en la implementación un

sistema IOT, que recopilara de una manera rápida la transmisión de los valores de humedad en el cultivo, temperatura ambiente y el nivel de agua almacenados en un tanque, en tiempo real permitiendo un monitoreo continuo y una toma de decisiones basada en información actualizada. Así mismo se implementó un algoritmo de control PID que será utilizado por el sensor de humedad YL-69, para medir la variable a controlar, de modo que se actúe sobre el sistema de riego, y así mantener esta variable en los niveles deseados. Además, un PID adicional utilizado para controlar el llenado de agua del tanque de consumo para el riego, que controlará una mini bomba, la cual tendrá la función de mantener el tanque en valores óptimos. La implementación exitosa de este sistema ha demostrado una reducción efectiva en el consumo de agua antes de utilizar el prototipo se consumía 7875 Litros de agua ahora se consume 496 litros, alcanzando un equilibrio óptimo sin comprometer la humedad del suelo los cuales antes de hacer el riego eran del 28 % al 32% y al terminar el riego fueron de 55% al 63%. Estos resultados prometedores resaltan la capacidad de la tecnología propuesta para potenciar la eficiencia hídrica en el cultivo de papa, consolidando su viabilidad como una solución práctica y sostenible para la gestión del agua en la agricultura

1.1 Descripción del problema

La papa es uno de los productos más consumidos en Colombia, la mayor parte de la producción del país se destina al consumo en fresco mientras que la otra parte a procesos industriales. Es un cultivo donde los pequeños productores son el eje productivo nacional. Este cultivo es uno de los más importantes para las familias campesinas ya que puede ser utilizado para consumo y comercialización. Los departamentos que más contribuyen al cultivo de este producto son Antioquia, Cundinamarca, Nariño y Boyacá (Mincultura, 2015).

Los métodos convencionales de riego utilizados comúnmente por los agricultores, emplean el agua de forma irracional, generando grandes desperdicios desembocando en acueductos o pozos no deseados afectando el ecosistema natural. En épocas de sequía, el agricultor no posee la información suficiente para determinar si el cultivo se encuentra con bajos niveles de humedad, debido a la imposibilidad del cuidado continuo del cultivo.

La disponibilidad de tiempo y recursos con que cuentan las personas cuya labor es la realización

del riego, no suelen ser las adecuadas, por lo tanto, los cultivos son más propensos a presentar enfermedades y malformaciones, así mismo se pueden generar desperdicios de agua que puede ser utilizados en diferentes labores. (Rodríguez et al., 2018, p 1)

El prototipo desarrollado desempeña varias funciones fundamentales para mejorar la eficiencia en la gestión del riego y optimizar el uso del agua en el cultivo de papa. En primer lugar, integra un sensor de humedad del suelo que realiza mediciones continuas, permitiendo una monitorización precisa de los niveles de humedad en la zona de cultivo. Además, emplea un sensor ultrasónico para evaluar el nivel de agua en el tanque de almacenamiento, asegurando un suministro adecuado y previniendo desbordamientos.

Una característica clave es la implementación de un controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo), que opera de forma dinámica para ajustar la cantidad de riego en respuesta a las lecturas de humedad del suelo y otros parámetros. Este enfoque garantiza un riego preciso y adaptativo a las condiciones cambiantes. El sistema activa la bomba de riego automáticamente, optimizando así el uso del recurso hídrico de manera eficiente.

1.1.1 Formulación del problema

¿Es posible diseñar e implementar un prototipo que permita solucionar el uso excesivo de agua para riego de cultivos de papa?

1.2 Justificación

El presente proyecto contribuirá a solucionar los problemas que afligen a los agricultores, además de mitigar el impacto ambiental derivado del uso inadecuado del agua, puesto que, al no disponer de un sistema de control de riego, ni contar con la información suficiente y necesaria para realizar una acción adecuada, se generan pérdidas económicas e impactos ambientales. El prototipo les permitirá estar al tanto de la humedad del terreno, si el cultivo se encuentra expuesto a una situación climática específica, así como también se podrá conocer cuáles son los niveles de agua que se encuentran reservados para sus cultivos. La adopción de tecnologías emergentes, como la IoT,

beneficia a los agricultores al posibilitar la interconexión y autogestión de objetos inteligentes. Esto facilita el intercambio de información y la adaptación a cambios según las necesidades del agricultor (Pérez et al., 2019).

El desarrollo de un prototipo de sistemas de riego que permitan solventar problemas en el campo en términos de riego sostenible en los cultivos de papa, siempre serán viables y tendrán mucha receptividad por parte los pequeños y medianos agricultores de la región como también de entes gubernamentales; por lo anteriormente mencionado, el desarrollo de un prototipo que permita contribuir a optimizar el riego, entendido como un recurso socioeconómico, escaso y de mucha importancia. Además la creciente demanda de agua para fines domésticos e industriales, amenaza la sostenibilidad de aguas subterráneas, afectando la agricultura (..) es esencial que los recursos hídricos sean gestionados de manera estratégica y sostenible. (Gabriel, 2017, p. 2)

Según estudio realizado por Chulde (2017) el cual tuvo como objetivo evaluar el control y monitoreo de un sistema de riego parcial por goteo de cultivos de papa, en el cual busca mejoras en la producción mediante la implementación de un sistema automatizado, el cual brinda información precisa en cuanto al análisis técnico de las necesidades hídricas de la planta de papa mediante el uso de sensores.

Desarrollar un sistema mecatrónico que permita observar en tiempo real los datos que remiten los diferentes sensores presentes en el área del cultivo, garantizando un uso adecuado del agua, de tal modo que se pueda supervisar el cultivo de manera presencial y virtual, la base principal de este sistema es el estudio de datos de distintos sensores ubicados en puntos estratégicos para darle solución a los problemas anteriormente mencionados ya que no se encuentra en el mercado un sistema para dar solución a todos estos problemas. La agricultura 4.0 se basa en el internet de las cosas (IOT) y diferentes tecnologías que permite recopilar y analizar datos en tiempo real generando acciones correctivas y de gestión, en donde el modelo tomará las decisiones de forma automática (Tavera et al., 2019).

En este orden de ideas, se considera importante el desarrollo de un prototipo, el cual está compuesto de una sólida estructura de acero y protegido por un recubrimiento de acrílico, en este

se utiliza un motor NEMA con tornillo integrado para insertar un sensor de humedad en la tierra, además cuenta con una caja de proyectos que alberga una pantalla LCD, una fuente de energía, el módulo ESP32 y el driver L298N. Esta integración tecnológica permite un monitoreo y control preciso del riego, y constituye un sistema automatizado de gestión de riego para el cultivo de papa.

La solución aborda la problemática de excesos de agua en el riego manual, mediante un controlador PID que ajusta dinámicamente la cantidad de riego según las lecturas de humedad del suelo. Asimismo, incorpora un sensor ultrasónico para monitorear el nivel de agua en el tanque, evitando desperdicios y desbordamientos. Esta combinación de elementos mejora la eficiencia hídrica, reduciendo el consumo de agua sin comprometer la humedad del suelo en el cultivo de papa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de riego inteligente que implemente una red de sensores y optimice el uso del agua dentro del área de un cultivo de papa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones asociadas a la humedad del suelo, suministro de agua, inundaciones y niveles de disponibilidad hídrica en el cultivo de papa.
- Construir un sistema de control y monitoreo remoto de variables a través de la implementación de una red de sensores para el cultivo de papa.
- Verificar el funcionamiento del prototipo de riego mediante pruebas dentro del cultivo

1.4 Marco referencial

1.4.1 Marco de antecedentes

- Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IOT

En este artículo se abordan temas de gran importancia (en el presente artículo se presentan temas de mucha importancia) como la captura, almacenamiento, procesamiento y consulta de datos. El proyecto utiliza Ubidots (plataforma de IoT que habilita la toma de decisiones a empresas de integración de sistemas a nivel global.) como capa de almacenamiento y para el procesamiento de las variables obtenidas mediante un algoritmo ofrecido por el software de minería de datos, para la etapa final de consulta se desarrolla una interfaz gráfica de acceso al servicio web provisto por el framework Spark (conjunto de librerías para el desarrollo de aplicaciones web). Se puede aprovechar el software libre para conseguir la implementación y despliegue de una arquitectura soportada en IoT. Durante el desarrollo del proyecto se logra integrar todos los componentes propuestos en esta investigación exitosamente (Montoya, 2017).

Este proyecto nos permitió conocer la viabilidad de integrar la automatización en la gestión del agua en la agricultura. Este enfoque puede ser incorporado eficazmente en la arquitectura general del proyecto, proporcionando una solución práctica para la eficiencia hídrica en la agricultura de precisión.

- Monitoring of soil and atmospheric sensors with internet of things (IoT) applied in precision Agricultura.

Se desarrolla un sistema de adquisición de datos de parámetros en una aplicación agrícola. Para ello el proyecto incluye el monitoreo de la humedad del suelo y sensores atmosféricos (temperatura y humedad relativa), con el fin de brindar ayuda a los agricultores en la toma de decisiones, proyectando una futura implementación de un sistema de riego automatizado, con minimización del desperdicio de recursos hídricos. En este proyecto se desarrolla el hardware del sistema planificado y las señales de los sensores se pusieron a disposición en la plataforma Smart Campus.

A partir de los valores recolectados por los sensores es posible construir una tabla de algunas mediciones con esta información se logra obtener la línea de carga del sensor capacitivo y así equilibrarlo. El sistema de monitoreo de datos de sensores atmosféricos y sensores de humedad del suelo se realizó con éxito. El sistema de comunicación que utiliza LoRaWAN (comunicación de datos a baja velocidad en grandes distancias se mostró muy eficiente y de considerable alcance además de producir un consumo reducido viabilizando el uso de baterías (Dutra et al., 2022).

La implementación exitosa del hardware del sistema planificado demuestra la viabilidad y practicidad de la aplicación propuesta. Esta experiencia puede ser aprovechada para informar y mejorar otros aspectos del proyecto, especialmente aquellos relacionados con la implementación y despliegue de hardware en entornos agrícolas.

- An Automated Irrigation System for Smart Agriculture Using the Internet of Things.

En este artículo se muestra información muy útil al momento de adquirir sensores que se necesitan para medir ciertas necesidades que se describen en el proyecto y que plataformas debemos utilizar para transmitir esta información en lugares donde hay sólo red móvil. En este proyecto se utiliza un modelo de optimización del agua para el riego en donde el problema que se tenía en el modelado se resuelve utilizando linprog de MATLAB. Para este proyecto de agricultura inteligente se implementa un sistema de riego automatizado para reducir el agua en la agricultura por medio de la IoT, computación en la nube y optimización, se utilizan sensores de bajo consumo energético y sus datos se almacenan en el servicio en la nube de Thingspeak (software de código abierto escrito en Ruby que permite a los usuarios comunicarse con dispositivos habilitados para Internet.) para su motorización y almacenamiento. El control basado en la optimización se compara con el control basado en el caudal y nuestros resultados demostraron que los modelos de optimización ayudan a reducir el consumo del agua (Ramachandran et al., 2018).

El uso de Thingspeak para el almacenamiento y monitorización de datos proporciona una solución práctica y de código abierto. Este enfoque puede influir en la elección de plataformas de almacenamiento en la nube en el proyecto general, considerando factores como eficiencia, accesibilidad y escalabilidad.

- **Wáter Quality Monitoring System Using IOT**

El sistema de monitoreo de la calidad del agua utiliza internet de las cosas para encontrar cómo varía el contenido de pH y enviar un mensaje a las autoridades correspondientes este proyecto se implementa en tanques de agua municipales y reservorios de agua potable. Para eso, se usa una placa Arduino para encontrar el valor de pH y un módulo GSM para la técnica de mensajes. Usando una pantalla LED para tener una observación continúa de los parámetros del agua. Finalmente, el usuario recibe un mensaje de pH valor del agua Ampliamos aún más este proyecto enviando los datos del sensor a la nube para el monitoreo global de la calidad del agua. El sistema de detección de calidad del agua IoT (Internet de las cosas) se centra principalmente en crear un sistema de detección de contaminación del aire más idea y elimina algunas desventajas de los sistemas anteriores. Este proyecto puede ser utilizado para evaluar otras necesidades que surgen en la implantación del sistema como la turbidez, temperatura y niveles de oxígeno (Nageswara et al., 2018).

La inclusión de una pantalla LED para la observación continua de los parámetros del agua proporciona una interfaz visual directa. Esta característica puede ser beneficiosa para la supervisión en el sitio y facilitar la detección temprana de problemas en la calidad del agua.

- **Water Storage Monitoring System with pH Sensor for Pharmaceutical Plants.**

Este trabajo se diseña un sistema automático de control de nivel y bomba para el tanque de agua garantizando varios beneficios. Los sensores utilizados en el sistema registran y ajustan el nivel de agua de los tanques elevados e incluso de las bombas. Dependiendo del nivel de agua en el tanque superior, el sensor detecta el nivel del agua y envía varias señales al Arduino. Esta señal se utiliza para encender y apagar la bomba del motor según sea necesario. Arduino controla la bomba y evita que se vacíe. El zumbador A está conectado a un circuito que suena cuando el agua en el tanque elevado alcanza un nivel crítico. Este trabajo tiene como objetivo el diseño de bombas y tanques de agua automáticos de bajo costo. Este sistema no solo detecta el nivel de agua en el tanque superior, sino que también verifica el nivel de agua en el tanque principal para reducir el consumo de agua innecesario. Evita que el agua se desborde del tanque superior y evita que la bomba

funcione en vacío. La bomba se detendrá automáticamente cuando el agua del tanque superior alcance el nivel máximo y se pondrá en marcha cuando el tanque necesite agua. Bombea agua del tanque de sumidero y se detiene cuando está vacío. Cuando el tanque esté lleno, la bomba se reiniciará y comenzará a bombear agua. Este modelo está diseñado para ahorrar en la factura de la luz y reducir significativamente el problema del desbordamiento de agua tradicional (Mohd et al., 2016).

La implementación de medidas para evitar el desbordamiento del tanque superior y evitar que la bomba funcione en vacío es crucial. Estas estrategias de prevención pueden ser valiosas para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema en situaciones diversas.

1.4.2 Marco teórico

1.4.2.1 La agricultura. La agricultura contribuye al desarrollo de la actividad económica, como medio de subsistencia y como proveedora de servicios ambientales, todo lo cual convierte al sector en una herramienta singular para el desarrollo. La agricultura puede ser una fuente de crecimiento para la economía nacional, crear oportunidades de inversión para el sector privado e impulsar en gran medida las industrias relacionadas con la agricultura y la economía rural no agrícola.

China e India suelen ser dos de los principales productores de papa a nivel mundial, con una producción significativa que contribuye al suministro global. Otros países como Rusia, Ucrania, Estados Unidos, y varios países europeos también desempeñan un papel destacado en la producción de papa.

La importancia de la papa en la seguridad alimentaria y la dieta humana ha llevado a un interés continuo en su cultivo y mejora genética para abordar desafíos como enfermedades y condiciones climáticas adversas.

En los países agrícolas, la actividad es responsable, en promedio, del 29% del producto interno bruto (PIB) y emplea al 65% de la fuerza laboral. Las industrias y los servicios vinculados con la agricultura en las cadenas de valor a menudo representan más del 30% del PIB en los países en

proceso de transformación y los urbanizados. La producción agrícola es importante para la seguridad alimentaria, puesto que es una fuente de ingresos para la mayoría de la población rural pobre (Banco Mundial, 2007).

1.4.2.2 Agricultura en Colombia. El sector agropecuario tiene una importancia estratégica en el proceso de desarrollo económico y social de Colombia. Por otro lado, este sector genera más del 20% del empleo nacional y representa alrededor del 50% del empleo rural. Su producción, por otro lado, es la base para el abastecimiento agroindustrial de alimentos y materias primas a los hogares urbanos y rurales. Después de todo, la mayor parte de su producción es para el mercado internacional, generando divisas y manteniendo una posición excedentaria en la balanza comercial agrícola. Colombia siempre ha sido considerada como un país agrícola. Sin embargo, la participación del sector en el PIB total cayó de poco menos del 17% en 1990 al 12% en 2007.

Este es el resultado de la caída en el crecimiento del sector logrado en comparación con otras economías. Entre 1990 y 2007, la economía creció a una tasa anual promedio de 3,5%, mientras que el sector agropecuario creció a una tasa anual de 1,7%. En sólo cuatro años de los últimos 17 años (1990, 1991, 1999, 2000), el sector ha mostrado un ritmo de crecimiento superior al de la economía en su conjunto. (Leibovich y Estrada 2013, p. 141)

1.4.2.3 Nariño y los cultivos de papa. Nariño ocupa el tercer lugar en área sembrada de papa, con las variedades Parda Pastusa, Diacol Capiro, Ica Nariño, Criolla y otras. El área cultivada, producción y rendimiento durante los últimos cinco años ha presentado una ligera tendencia a incrementarse. Para el año 2010, Nariño reporta un área de 32.824 has, con una producción de 572.979 t y un rendimiento promedio de 17.5 t/ha. El empleo directo generado en el primer eslabón de la cadena está relacionado con los jornales que demanda el cultivo. Tomando un promedio de 100 jornales por hectárea y una superficie promedio cultivada por semestre de 15.000 hectáreas, se puede concluir que en el caso de Nariño se generan al año 1,500.000 jornales directos y aproximadamente 4.000.000 jornales indirectos. En el sector rural del departamento se encuentran vinculadas alrededor de 20.000 familias campesinas. El volumen producido en el 2008 llegó a 504.000 toneladas. En cuanto a volúmenes generados se encuentra que el principal producto es la papa (62,1%), seguido por la caña panelera (11,2%) y el plátano (10,6%). Del total de la producción

departamental, el 92% se destina a mercados, el 2% para autoconsumo y el 6% para semilla. Del total de la producción destinada para mercado, el 47,23% se vende en centros mayoristas, el 37,90% se vende en finca, el 9,16% en plaza de mercado municipal y el 5,71% se destinan para industria procesadora (HOZ 2007).

Ahora bien, cabe mencionar que, en promedio, el cultivo de papa requiere alrededor de 400 a 600 milímetros (mm) de agua durante su ciclo de crecimiento. Esto incluye el agua de lluvia y la aplicada a través del riego. Dado que 1 mm de agua en una hectárea es equivalente a 10,000 litros, podemos hacer la siguiente estimación:

Fórmula 1. Consumo de agua

Consumo de agua en hectárea= Rango Estimado \times 10,000

Por lo tanto, el consumo de agua en una hectárea de cultivo de papa podría oscilar entre 4,000,000 y 6,000,000 litros durante el ciclo de crecimiento

1.4.2.4 Riego y tipos. El riego consiste en suministrar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas que no fueron cubiertas mediante la precipitación, o bien para incrementar la producción agrícola al transformar zonas de agricultura secas en zonas de regadío. Se utiliza en la agricultura y en jardinería ayudando a evitar la muerte del producto o alimentando con minerales que ya están en la tierra la planta.

1.4.2.4.1 Riego por goteo. El sistema de riego por goteo es el procedimiento en donde se riega una franja de un cultivo que se distribuye por medio de tuberías y mangueras a presión (como se observa en la imagen 1), este método es aprovechado mayor mente en terrenos pendientes en los cuales se encuentra el cultivo, nos permite un uso óptimo de agua y abonos distribuyendo el agua de manera moderada en zonas de humedecimiento radicular permitiendo que todas las raíces de la planta están irrigadas este sistema está aplicado generalmente a plantaciones delicadas o a plantaciones mesuradas, como los invernaderos. El riego por goteo tiene un sistema de riego localizado y de alta frecuencia y más no de cobertura total lo que nos quiere decir que este sistema

no se utiliza para el riego de todo un terreno si no para un grupo de plantaciones de manera individual, el agua se aplica al suelo, enseguida se filtra al terreno y se direcciona principalmente en dirección horizontal y vertical y humedece tan solamente el sistema radicular de la planta (Alberto, 2018).

Figura 1

Riego por goteo



Nota: La figura muestra un terreno regado por un sistema de goteo. Fuente: EEA INTA Catamarca (2014).

1.4.2.4.2 Riego por aspersión. El método de aspersión es de uso general y se aplica a grandes extensiones de terreno lanzando un gran volumen de agua equilibrada y uniforme en forma de lluvia este sistema de riego se basa en transformar la energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor en forma de chorro, a medida que dicho chorro de agua pasa sobre el terreno del campo a medida que éste pasa sobre el terreno del campo queda esparcido en forma de gotas de agua las cuales al juntarse con la resistencia del aire caen sobre la superficie del suelo (como se observa en la imagen 2). Este sistema consiste de una red de tuberías o tubos con aspersores acoplados a ellos de tal manera que pueda distribuir la precipitación del agua del riego lo más equivalente sobre el cultivo (Alberto, 2018).

Figura 2

Riego por aspersión



Nota: La figura muestra un terreno regado por un sistema de aspersión. Fuente: EEA INTA Catamarca (2014).

1.4.2.4.3 Riego por Microaspersión.

El riego por microaspersión consiste en la aplicación de agua al suelo en gotas muy pequeñas este método requiere una presión de 1,6 kg/cm el diámetro de mojado que genera el micro aspersor puede ser alrededor de 3-4 metros (justo como se mira en la imagen 3), este sistema de irrigación es recomendable para cultivos de frutas, en viveros y algunas hortalizas. (Enrique, 2014, p. 16)

Figura 3

Riego por micro aspersor



Nota: La figura muestra un terreno regado por un sistema de aspersión. Fuente: EEA INTA Catamarca (2014).

1.4.2.4.4 Riego por surcos. El riego por surcos se basa en la utilización de pequeños canales o surcos paralelos a la línea de plantación, el agua escurre por pequeños canales infiltrándose en el suelo por el fondo y costado del mismo, en este método se debe tener en cuenta factores como el suelo (pendiente, textura y profundidad), cultivo y el método de distribución del agua en el predio (como se mira en la imagen 4). Si la cantidad de agua a aplicar es alta se puede hacer más surcos y lograr regar una mayor superficie en el mismo tiempo de manera a utilizar caudales que sean fáciles de trabajar (Demin 2014).

Figura 4

Riego por surcos



Nota: La figura muestra un terreno regado por un sistema de surcos. Fuente: EEA INTA Catamarca (2014).

1.4.2.4.5 Riego por fajas o melgas.

En el método de riego por melgas el agua avanza por un espacio de suelo a modo de franjas que queda entre 2 bordos construidos para tal fin, de manera que el agua se mueve encajonada desde la cabecera hasta el pie, este método es útil para regar pasturas, cereales y en algunos casos frutales. (Demin, 2014, p. 11)

El ancho de estas fajas varía según la pendiente entre 5 y 20 m y la longitud entre 100 y 200m. El agua fluye en las mimas, cubriendo íntegramente el área con una delgada lámina de agua (entre 5 y 10 cm) (como se observa en la imagen 5)

Figura 5

Riego por melgas



Nota: La figura muestra un terreno regado por un sistema de riego por fajas o melgas. Fuente: EEA INTA Catamarca (2014).

1.4.2.5 Implementación del control PID. El prototipo integra un sistema de control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) para regular de manera precisa el proceso de riego. El controlador PID se encarga de ajustar la cantidad de agua suministrada a las plantas en función de la lectura de humedad del suelo, garantizando un equilibrio óptimo en el nivel de humedad sin excesos ni deficiencias.

El riego, esencial para la agricultura, se vuelve aún más eficiente y sostenible cuando se combina con estrategias avanzadas de control, como el Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) este un método ampliamente utilizado en sistemas de control para minimizar la diferencia entre una variable medida y un valor deseado (set point). Esta técnica se compone de tres elementos clave, cada uno expresado mediante fórmulas generales aplicables a diversos entornos de control (Angulo y Raya, 2004).

Set point:

$$e(t) = \text{Setpoint} - \text{Feedback}$$

Set point es el valor deseado.

Feed back es la lectura actual del sensor

Señal proporcional (P)

$$P(t) = Kp \times e(t)$$

Kp : constante proporcional

Señal integral (I)

$$I(t) = Ki \times \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ki : Es la constante integral

$\int_0^t e(\tau) d\tau$: Representa la acumulación de errores a lo largo del problema

Señal derivativa (D)

$$D(t) = Kd \times \frac{d}{dt} e(t)$$

Kd : Es la constante derivativa

$\frac{d}{dt} e(t)$: Representa la tasa de cambio del error respecto al tiempo

Señal de control ($u(t)$):

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t)$$

La señal de control es la suma ponderada de las tres componentes.

1.4.3 Marco Conceptual

1.4.3.1 Sensores y actuadores. Dado que los sensores siempre usan transductores, la definición del término sensor está estrechamente relacionada con la definición de transductor. Sin embargo, la principal diferencia entre un transductor y un sensor es que el sensor no solo cambia el rango de las variables físicas medidas, sino que la salida del sensor proporciona datos útiles para el sistema de medición. De esta forma, el sensor se define como un dispositivo de entrada que proporciona una salida manipuladora de la cantidad física medida. A diferencia de los transductores, los sensores sólo pueden ser dispositivos de entrada. Esto se debe a que el dispositivo de entrada siempre se encuentra entre la cantidad física y el sistema de medición. Por lo tanto, no es suficiente que el sensor convierte energía, debe tener el tipo de dominio requerido. Debido a que este tipo de dominio físico es el más común en los sistemas de medición actuales, los sensores actuales proporcionan señales eléctricas como salidas, ya sean analógicas o digitales. Los sensores se pueden clasificar de diferentes maneras, pero la clasificación más común se basa en el tipo de variable que se mide o el principio del transductor utilizado. Los actuadores son dispositivos que tienen la capacidad de convertir energía para generar fuerzas que cambian la posición, la velocidad o el estado de un elemento mecánico. Generalmente, los actuadores se dividen en dos grandes grupos (Corona et al., 2020).

Dado que los sensores siempre usan transductores, la definición del término sensor está estrechamente relacionada con la definición de transductor. Sin embargo, la principal diferencia entre un transductor y un sensor es que el sensor no solo cambia el rango de las variables físicas medidas, sino que la salida del sensor proporciona datos útiles para el sistema de medición. De esta forma, el sensor se define como un dispositivo de entrada que proporciona una salida manipuladora de la cantidad física medida. A diferencia de los transductores, los sensores sólo pueden ser dispositivos de entrada. Esto se debe a que el dispositivo de entrada siempre se encuentra entre la cantidad física y el sistema de medición. Por lo tanto, no es suficiente que el sensor convierte energía, debe tener el tipo de dominio requerido. Debido a que este tipo de dominio físico es el más común en los sistemas de medición actuales, los sensores actuales proporcionan señales eléctricas como salidas, ya sean analógicas o digitales. Los sensores se pueden clasificar de diferentes maneras, pero la clasificación más común se basa en el tipo de variable que se mide o el principio

del transductor utilizado. Los actuadores son dispositivos que tienen la capacidad de convertir energía para generar fuerzas que cambian la posición, la velocidad o el estado de un elemento mecánico. Generalmente, los actuadores se dividen en dos grandes grupos (Corona et al., 2020).

En la elaboración de este prototipo, se ha hecho uso de una selección de sensores para asegurar una recolección de datos. Entre estos dispositivos se encuentra el sensor de humedad YL-69, diseñado para proporcionar lecturas de la humedad del suelo, un elemento crucial para la gestión adecuada del riego. Complementando esta funcionalidad, se ha incorporado el sensor de temperatura modelo DSB18B20, encargado de medir la temperatura ambiente en el cultivo. Por último, el sensor de proximidad modelo HC-SR04 se ha integrado para monitorear distancias y facilitar la toma de decisiones informadas en situaciones que requieran un análisis de la cercanía de objetos o superficies. Esta combinación estratégica de sensores establece las bases para un prototipo versátil y preciso, capaz de capturar información clave para el óptimo desarrollo del sistema de control automatizado.

- Por el tipo de energía utilizada: actuador neumático, hidráulico y eléctrico.
- Por el tipo de movimiento que generan: actuador lineal y rotatorio.

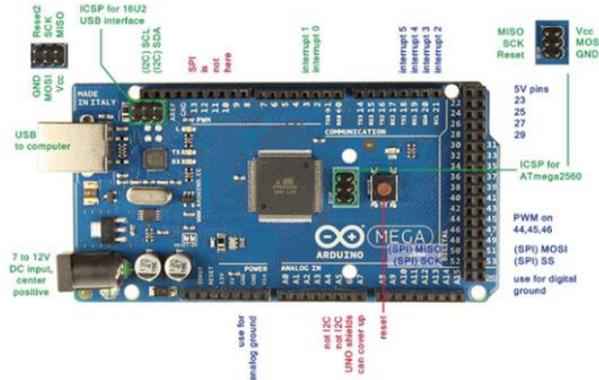
1.4.3.2 Qué es Arduino. Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basada en la flexibilidad tanto en el Hardware como el Software fáciles de usar. Está dirigida a diseñadores creativos y a cualquier persona interesada en la creación de objetos o entornos creativos. Se presenta como una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, está diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Esta placa con un microcontrolador que tiene entradas y salidas tanto digitales como analógicas, la podemos programar para que realice cualquier actividad que queramos. Además, es una plataforma libre, por lo que se facilita disponer abiertamente de sus planos, comprar los componentes y fabricar nuestro propio Arduino sin infringir la ley (Aranda et al., 2014).

1.4.3.3 Arduino mega. Usa microcontrolador ATmega 2560 en lugar de ATmega 328P, que dispone de una mayor cantidad de memoria interna como de pines de conectividad, esto se traduce

en un sistema potente, para usar en proyectos más exigentes sus principales características son sus 54 entradas digitales, de las cuales pueden ser usadas como salidas PWM, 4 puertos seriales por hardware, un cristal de 16 MHz una conexión USB un conector de alimentación, un conector ICSP para programación y un botón de reset (Aranda et al., 2014).

Figura 6

Arduino mega



Nota: La figura muestra la placa de desarrollo Arduino Mega 2560. Fuente: Arduino Curso Completo Shemidt (2022).

Tabla 1

Características y Detalles del Arduino Mega 2560

Características	Detalles
Microcontrolador	ATmega2560
Arquitectura	AVR de 8 bits
Frecuencia de reloj	16 MHz
Memoria Flash	256 KB de programa
Memoria SRAM	8 KB de RAM
Memoria EEPROM	4 KB de memoria no volátil
Pines Digitales	54 pines (15 PWM)
Pines Analógicos	16 pines

Características	Detalles
Comunicación Serial	4 UARTs
Comunicación I2C y SPI	Sí
Voltaje de Operación	5V
Alimentación	USB o fuente externa
Interfaz USB	Sí (programación y comunicación)
Frecuencia de Reloj	16 MHz
Compatibilidad con Shields	Sí
USB Host	Sí

Pines Digitales: Pines digitales del 0 al 13: Utilizados para entradas y salidas digitales, pines digitales del 14 al 21: Adicionales para entradas y salidas digitales.

Pines Analógicos: Pines analógicos del A0 al A15: Utilizados para entradas analógicas.

Vin (Voltaje In): Voltaje de entrada para alimentación externa.

5V (Output): Salida de voltaje de 5V.

3.3V (Output): Salida de voltaje de 3.3V.

GND (Ground): Pines de tierra.

AREF (Analog Reference): Voltaje de referencia para las entradas analógicas.

TX0, RX0 (Serial Communication): Pines de transmisión y recepción serial.

SCL, SDA (I2C Communication): Pines para comunicación I2C.

MISO, MOSI, SCK (SPI Communication): Pines para comunicación SPI.

INT (Interrupt): Pines que pueden generar interrupciones.

1.4.3.4 IOT. El Internet de las Cosas es un concepto propuesto por Ashton (1999) y hace referencia a la conexión de objetos cotidianos a través de Internet. Las implementaciones están aumentando e incluyen sectores en los que nos estamos centrando, como la industria farmacéutica, la industria, el transporte, la energía, la agricultura, las ciudades inteligentes o la vivienda. Gran parte del éxito de la tecnología IoT radica en la capacidad de llevar objetos cotidianos al mundo digital. Esto le da control sobre el objeto por distancia (por ejemplo, encender una luz), abriendo

una variedad de nuevas posibilidades que mejoran en gran medida su utilidad. Encendido o apagado), informar datos recopilados por sensores (como humedad y temperatura) o enviar alertas, por ejemplo: alarmas, fallos de funcionamiento. Todo ello desde cualquier dispositivo en cualquier parte del mundo. Pero la tecnología IoT no solo permite la comunicación entre personas y máquinas, sino que también abre la puerta a la comunicación entre los propios objetos, lo que da lugar a conceptos mucho más amplios como las comunicaciones máquina a máquina (M2M). Desde el punto de vista técnico, la implantación de IoT es posible gracias a la expansión de las redes inalámbricas especialmente Wifi y a los bajos costes de los microcontroladores, los cuales, además, son cada vez más potentes y pequeños. Pero también por el auge de protocolos de comunicación específicos que consumen un menor ancho de banda y requieren menos capacidad de procesamiento y, por lo tanto, consumo de energía. Con esto en mente, las páginas de este libro trabajarán en el desarrollo de proyectos basados en los protocolos de comunicación ESP8266SoC y HTTP y MQTT. De igual forma, se utiliza una arquitectura basada en principios REST. Se presta especial atención a la creciente disponibilidad de servicios que se ejecutan en el mundo de los servicios web, Internet (en la nube), lo que hace que el desarrollo de dispositivos IoT sea más inteligente, seguro y accesible.

El control y recopilación de la información que brindan estos dispositivos se puede realizar desde una computadora o teléfono móvil y se muestra de manera colorida a través de información instantánea o de evolución histórica. Todo esto utiliza herramientas de desarrollo gráfico que no requieren que aprendas un nuevo lenguaje de programación, ya que no hay código para editar (Domínguez, 2020).

1.4.3.5 Módulo ESP32. El ESP32 es un SoC fabricado por Espressif Systems, que se consolidó con el ESP8266, estos han abierto las posibilidades de que los prototipos y los proyectos se han rápidos y completos que necesitan de una buena capacidad computacional (procesamiento y cantidades de memoria) y conectividad que ha vuelto popular en los proyectos que involucran la internet de las cosas. El ESP32 nos ofrece conectividad Wifi y Bluetooth con una frecuencia de 2,4 Hz su potencia computacional es de CPY + memoria, I/Os, RTC soporte para la operación diversas comunicaciones tales como (SPI, I 2 C, I 2 S).

Según el datasheet oficial de ESP32 utilizando el chip junto con cerca de 20 componentes externos es posible disfrutar plenamente de las funcionalidades del ESP32, con el beneficio de ocupar un área muy pequeña en una placa de circuito impreso.

1.4.3.6 Sistema operacional del ESP32. El ESP32 utiliza un sistema operacional en tiempo real de gran ventaja en relación con el ESP8266, es posible utilizar los famosos y consolidados FreeRTOS (Sistema operativo de código abierto, con neutralidad de la nube y de tiempo real que ofrece un Kernel, fiable y receptivo) en ESP32. Se trata de una gran ventaja ya que puede facilitar la migración de otros proyectos realizados utilizando FreeRTOS en otras plataformas para el ESP32. (Bertolety, 2019)

1.4.3.7 Programación ESP32. El módulo ESP32 se puede programar de varias maneras:

- Formulario completo: A través del SDK oficial de la Espressif Systems en lenguaje.
- Formulario introductorio de aprendizaje: a través de Arduino IDE (en lenguaje C / o C++)

Es conveniente por la didáctica, popularidad y facilidad de uso se utiliza Arduino IDE. De esta manera, no necesitamos conocer los detalles técnicos del sistema operativo para construir una solución, pudiendo así explotar los recursos de ESP32 de una manera más sencilla y rápida, algo valioso para el aprendizaje.

El ESP32 DevKit v1 cumple un papel integral en el proyecto. Actúa como el núcleo de control, encargándose de establecer la conexión con la plataforma Ubidots para la transmisión de datos provenientes de sensores como el de humedad del suelo, temperatura y nivel de agua. Además, implementa un controlador PID para ajustar dinámicamente la cantidad de riego en respuesta a las lecturas de humedad del suelo, asegurando un riego preciso. El ESP32 coordina eficientemente las diversas tareas del sistema, desde la lectura de sensores hasta la comunicación con la nube, desempeñando así un papel central en la automatización y optimización del proceso de riego en tiempo real.

1.4.3.8 Distribución de pines. Los siguientes son los puntos importantes relacionados con el

pinaje de este módulo. El display OLED utiliza GPIOs para comunicación I2c diferente de los asumidos por la mayoría de las bibliotecas OLED disponibles. Por lo tanto, en el Arduino IDE se utiliza la llamada Wire.Begin, antes de la inicialización de cualquier biblioteca de display OLED.

Esto hará que se utilice el I2C correcto para el display. Las entradas analógicas del módulo admiten tensión Máxima de 1,8V. Cualquier valor por encima de eso en las entradas analógicas puede dañar permanentemente el módulo.

La corriente máxima que un GPIO configurado como un output puede proporcionar es 12mA no respetar ese límite significa dañar permanentemente el ESp32.

Los GPIOs configurados como entrada soportan la tensión de como máximo 3,3v no respetar este límite significa dañar el módulo. De acuerdo a las recomendaciones del fabricante, no conecte el módulo con la antena del radio LoRa desconectada (Pizarro, 2020).

Figura 7

Esp32 Dev Kit V1



Nota: La imagen muestra al módulo Esp32 Dev Kit V1. Fuente: Tomas (2020).

Tabla 2

Características y detalles del módulo Esp32 Dev Kit V1

Características	Detalles
Microcontrolador	ESP32 (Tensilica Xtensa LX6)
Arquitectura	Xtensa de 32 bits
Frecuencia de reloj	Hasta 240 MHz
Núcleos de Procesamiento	Dual core
Memoria Flash	4 MB
Memoria RAM	520 KB
Memoria EEPROM	No tiene
Pines de Entrada/Salida	38 pines digitales (también soporta PWM, I2C, SPI)
Pines Analógicos	18 pines analógicos
Comunicación Serial	UART, SPI, I2C, I2S
Conectividad Inalámbrica	Wi-Fi 802.11 b/g/n (2.4 GHz) y Bluetooth 4.2 BLE
Antena	Antena incorporada y conector para antena externa
Puertos USB	1 puerto micro USB para programación y alimentación
Voltaje de Operación	3.3V
Corriente Máxima	500 mA
Alimentación	A través de USB o fuente externa
Interfaz de Desarrollo	Arduino IDE, PlatformIO, ESP-IDF
Soporte para OTA (Over-the-Air Updates)	Sí

Vin: Este pin se utiliza para suministrar voltaje al módulo. Se recomienda un rango de 7-12V, pero puede aceptar 5V.

5V: Es la salida de voltaje de 5V desde el regulador interno del ESP32.

3.3V: Proporciona un suministro de voltaje de 3.3V.

TX0, RX0: Estos son pines de comunicación serie UART. Se utilizan para la comunicación serial con otros dispositivos.

SCL, SDA: Pines para comunicación I2C, permiten la conexión a dispositivos con este protocolo.

MISO, MOSI, SCK: Estos son pines para la comunicación SPI, utilizada para la interacción con dispositivos como sensores y pantallas.

A0: Proporciona una entrada analógica para medir valores de voltaje en un rango específico.

Pines 0 a 39: Se pueden configurar como pines de entrada/salidas digitales y admiten varias funciones, incluida la generación de pulsos PWM.

EN (Enable): Este pin se utiliza para habilitar o deshabilitar el ESP32.

BOOT: Utilizado para poner el ESP32 en modo de arranque.

RST (Reset): Se utiliza para reiniciar el módulo.

GPIO34 a GPIO39: Estos pines son versátiles y pueden tener funciones específicas según la configuración.

1.5 Marco metodológico

Para la realización del prototipo inteligente de control de riego, se estipulan procedimientos investigativos que ayudaron a corroborar que el dispositivo sea capaz de ser implementado en el medio deseado, además de esto se realizaron las pruebas necesarias para que el sistema funcione acorde con las a los elementos electrónicos, mecánicos, software y hardware estimados.

Tabla 3

Matriz metodológica

Objetivo	Actividades	Entregables	Responsables	Recursos
Determinar condiciones asociadas a las variables de humedad, ausencia de suministro de agua, inundaciones y niveles de disponibilidad de agua para el cultivo de papa, que permitan la operación y el desarrollo del algoritmo	Documentación del proyecto en cuanto las necesidades presentadas	Informe	El estudiante y asesor	Computador, papelería
	Documentación de sistema de regado	Informe	El estudiante y asesor	Computador, papelería, internet
	Selección de sensores	Informe	El estudiante y asesor	Computador, papelería, internet
	Documentar el proyecto en cuanto la selección de sensores y el tipo de señal	Informe	El estudiante y asesor	Computador, información previa
Construir un sistema de control y monitoreo remoto de variables a través de la implementación de una red de sensores para el cultivo de papa	Documentar el funcionamiento de los sensores en condiciones ambientales	Informe	Estudiante	Computador, información previa
	Diseñar un sistema de adquisición de datos para obtener y tratar las variables seleccionadas	Diseño de hardware	Estudiante	Computador, textos científicos
	Diseñar un sistema de control teniendo en cuenta el sistema de adquisición construido	Diseño de hardware	Estudiante	Sistema de desarrollo (ESP32), tarjeta construida
	Diseño de la tarjeta electrónica	Diseño de hardware	Estudiante	Computador, software de diseño

Objetivo	Actividades	Entregables	Responsables	Recursos
	Diseño de un sistema mecánico para los diferentes sensores	Diseño estructural	Estudiante	Varillas de acero, motores, tornillos
	Construcción de la tarjeta electrónica para el sistema de adquisición diseñado	Diseño y construcción de PCB	Estudiante	Computador, software de diseño, impresora, herramientas de construcción
	Diseñar una interfaz de usuario dentro de una plataforma IOT	Interfaz de usuario	Estudiante	Computador, documentación técnica
	Enlazar el dispositivo de monitoreo local con la plataforma IOT para lograr el monitoreo remoto del riego	Video e imágenes	Estudiante	Computador, documentación técnica
	Ensamble de la parte electrónica y mecánica del prototipo	Video e imágenes	Estudiante	Elementos físicos tales como electrónicos, mecánicos y estructurales.
Verificar el funcionamiento del prototipo de riego mediante pruebas dentro del cultivo	Integrar los sistemas construidos	Video e imágenes	Estudiante	Sistema de control completo y sistema de monitoreo

Objetivo	Actividades	Entregables	Responsables	Recursos
				web completo
	Implementar el sistema de control de riego en el cultivo	Video e imágenes	Estudiante	Tarjetas construidas, tarjeta comercial, fuentes de alimentación, terreno sembrado
	Validar funcionamiento de la integración	Video e imágenes	Estudiante	Sistema de control completo y sistema de monitoreo web completo
	Corregir imprevistos de la integración	Informe de prueba y corrección de errores	Estudiante	Sistema de control completo y sistema de monitoreo web completo
	Implantar el sistema completo en un cultivo de papa	Demostración final del proyecto	Estudiante	Sistema de control completo y sistema de monitoreo web completo

1.5.1 Descripción metodológica

El presente trabajo está articulado a la línea de investigación del programa de ingeniería mecatrónica denominada diseño y desarrollo mecatrónico, específicamente se articula a las áreas de automatización y control, puesto que se obtendrá datos por parte de los sensores que van a ser analizados para luego generar acciones correctivas; y al área de procesos productivos, por lo que este proyecto mejorará el proceso productivo de un cultivo que es sensible a los cambios de humedad.

La investigación acerca de los procesos de regado y como estos se efectúan en la agricultura son la base para crear el dispositivo; determinar con qué tipo de condiciones climáticas y condiciones accionará el dispositivo formará parte del proceso investigativo. Encontrar los dispositivos electrónicos adecuados para la realización del prototipo será la parte inicial de la construcción del prototipo como lo puede ser la selección de sensores y cómo estos se verán afectados ante el ambiente seleccionado incluyendo los cambios que pueden haber de temperatura principalmente.

Comprobar el funcionamiento de los sensores usados, adquiriendo los datos que estos envían a través del módulo ESP32 junto con un sistema de señalando de variables que permitirán crear el sistema de control y monitoreo del dispositivo. Usando la plataforma web Ubidots para la respectiva conexión IOT, se creará una interfaz gráfica capaz de señalar cada una de las condiciones a las que estarán los sensores y los evidenciar los datos recolectados; una vez con el sistema electrónico enlazado se procederá con la creación de la tarjeta electrónica en la cual todos estos elementos estarán de manera conjunta en un circuito eléctrico recubierta por una caja de proyectos que permita evidenciar a través de un panel LCD los datos a tiempo real que se están enviando a la plataforma virtual.

Continuando con la parte final del proyecto este se pondrá a prueba en un cultivo que permita evidenciar el proceso estipulado a partir de la investigación recolectada, incluyendo el funcionamiento de cada uno de los sensores, el apartado electrónico, mecánico y la programación del dispositivo a través de IOT; esta fase final permitirá realizar la validación del prototipo

incluyendo funcionamiento en su totalidad, recolección de datos y exactitud de sensores, a partir de estos datos se tomará en cuenta los imprevistos que no se hayan evidenciado en un inicio corrigiéndolos o determinando las acciones por las cuales estos se están efectuando.

1.5.2 Enfoque de la investigación

El proyecto realizado pertenece a un estudio experimental dado que se evalúan los efectos de las variables ambientales sobre los cultivos y se realiza una inspección para el control de estas, para este proceso investigativo determinar cada una de las condiciones a las que se someterán los sensores de humedad, temperatura y ultrasónico en un ambiente agrícola como lo son los cultivos en zonas rurales o campestres, el agua a temperatura ambiente y la capacidad del sistema de riego que debe poseer para que el cultivo tenga un consumo de agua eficiente, contribuirá a la creación del sistema de control y que sea de fácil uso para el agricultor comprendiendo cada una de las condiciones en las cuales se encuentra su cultivo y este mismo sea capaz de tomar decisiones adecuadas en una correcta instancia de tiempo.

1.6 Alcance de la investigación

El alcance del proyecto investigativo se ve estipulado para las zonas agrícolas en las cuales se necesite un monitoreo de las variables de humedad, temperatura y disponibilidad de agua para realizar el riego, estas acciones debe realizar un agricultor para llevar correctamente este proceso, los cultivos que se encuentran alrededor de la zona de Nariño poseen una condiciones ambientales y biológicas precisas en las cuales está direccionado el prototipo, con esto se desea generar una ayuda para los pequeños agricultores que necesitan de un método de control sencillo y exacto para el control del uso del agua dentro del cultivo, además de ser de fácil adquisición al ser de bajo costo y permitiendo tener una perspectiva más amplia de las capacidades que poseen al tener un dispositivo de automatización a su disposición.

1.7 Validez de los resultados

Para la validez de los resultados se realizarán de dos formas la primera será de forma interna y la

segunda será de forma externa, esto se realizará con el fin de tener una perspectiva centrada en el funcionamiento mecatrónico del dispositivo mientras la otro tendrá parte en cómo este se desenvuelve en un cultivo a condiciones ambientales.

1.7.1 Validez interna

Desde el punto de vista del hardware, se llevará a cabo una evaluación del prototipo en la zona del cultivo, donde se analizará la estabilidad del prototipo durante la adquisición de los valores de humedad del suelo y su movilidad se tendrá en cuenta el funcionamiento del dispositivo con esto se evaluará el sistema electrónico creado y cada uno de los componentes principalmente usados como lo son los sensores de humedad, temperatura, ultrasónico y el módulo ESP32, la validez de estos elementos electrónicos se realizará una vez sean ensamblados en la tarjeta electrónica, comprobando que el sistema no presente fluctuaciones ni picos irregulares en la adquisición de datos y finalmente se evaluará la interfaz gráfica que se visualiza gracias a la plataforma IOT.

A nivel de software, se llevarán a cabo evaluaciones de los sensores incorporados en el prototipo mediante pruebas realizadas en diversos escenarios. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos con otros métodos de adquisición de las mismas variables. Se procederá a la verificación de la precisión de los datos, asegurándose de que presenten un nivel mínimo de imprecisión. Además, se examinará el consumo de agua registrado por ambos sistemas de riego y se medirá el nivel de humedad alcanzado en el suelo.

1.7.2 Validez externa

La validez externa del prototipo se establecerá mediante la comparación de las bases de datos generadas manualmente a través del programa Microsoft Excel con los sistemas de riego convencionales utilizados comúnmente y las del prototipo. Se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de la eficiencia de los métodos de riego convencionales, los cuales suelen carecer de control sistemático y se aplican en gran medida de manera empírica. Este análisis se contrastará con el proceso ejecutado por el prototipo, implementado en un cultivo de papa, destacando su eficacia en el consumo de agua gracias a su enfoque automatizado que regula el riego sin

comprometer la humedad del suelo. La comparación se llevará a cabo durante un período de tiempo específico, durante el cual el dispositivo ejecutará sus funciones para evaluar y demostrar su rendimiento superior en términos de eficiencia hídrica.

2. Resultados

2.1 Determinar condiciones asociadas a las variables de humedad

El cultivo de papa prospera en condiciones específicas de humedad del suelo y temperatura ambiente. Durante la fase de siembra y germinación, se busca mantener el suelo ligeramente húmedo, con un rango ideal entre el 60% y el 70%. En el desarrollo vegetativo, la preferencia es por un suelo uniformemente húmedo, manteniendo niveles entre el 70% y el 80%. En la fase de formación de tubérculos, se recomienda un nivel ligeramente más bajo, entre el 60% y el 70%, para evitar enfermedades y fomentar el desarrollo de tubérculos. En cuanto a la temperatura ambiente, el rango óptimo para el cultivo de papa suele estar entre los 15° C y 20° C, proporcionando condiciones propicias para un crecimiento saludable y un rendimiento satisfactorio. Estos valores son indicativos y pueden ajustarse según las condiciones específicas de la región y otros factores locales. Las zonas predestinadas para procesos agrícolas están sujetas a su ubicación geográfica, este tipo de cultivos cuenta con condiciones especiales debido al ambiente en el que este se encuentra tales como el suministro de agua, humedad y cambios climáticos (Wilches, 2019).

Como punto principal tenemos el gasto de agua que se realiza en estos procesos, Colombia a pesar de contar con uno de los mayores recursos hídricos del mundo al tener una red de drenaje fuera del país al océano Pacífico, el mar Caribe y los ríos Orinoco y Amazonas, muchas de estas no son explotadas; contraproducente mente y a pesar de estas condiciones, los problemas de contaminación limita la efectividad de su disponibilidad, el abastecimiento de agua potable del sector rural colombiano es inferior al 35% y el sistema de alcantarillados no supera el 15%; debido al desconocimiento sobre el tratamiento del recurso hídricos, que pone en riesgo la calidad de los alimentos, el trato de los cultivos y la salud humana. (Botero, 2020, p. 65)

El control de riego que se tiene en las zonas rurales colombianas en las cuales se da la producción de alimentos está siendo afectada por la poca tecnificación que se tiene respecto, generando así pérdidas monetarias y daños al subsuelo, esto crea la necesidad de tener un sistema de control para los cultivos agrícolas; el prototipo de un sistema de riego solucionara el principal problema de gasto indiscriminado de agua, este al ser un dispositivo automatizado que cuenta con una

visualización gráfica y un sistema de control para el gasto de agua.

Aproximadamente el 97% del área seleccionada para agricultura tiene como única fuente de humedad, la precipitación, esta condición genera dificultades para la realización de procesos agrícolas, esto modifica la planeación de los agricultores los cuales deben de controlar la producción de alimentos con la temporada de lluvias y sequías.

Para estos procesos los agricultores necesitan conocer las condiciones de humedad del suelo, permitiéndoles tomar decisiones oportunas como lo es el establecimiento de sistemas productivos, definir periodos siembras, arreglos, densidad poblacional, programación de agro insumos que ayuden a aumentar la eficiencia del cultivo. (Hernández, 2021, p. 22)

En este sentido el prototipo esencialmente identificará las condiciones en las cuales es necesario realizar una mayor humidificación de la tierra y por el contrario si este mismo posee un alto grado de humedad se expondrá gráficamente el nivel al que se encuentra, para tomar acciones y reducir dicho nivel.

La variabilidad climática en las regiones colombianas se puede dar debido a los cambios climáticos extremos, dando como resultado los excesos hídricos o sequías extremas, determinadas a través de un balance hidro climático y por su lado opuesto el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PSD por sus siglas en inglés); impactos ambientales como el fenómeno del Niño y el fenómeno de la Niña han hecho que las regiones colombianas se vean afectadas y de igual forma afectando las zonas agropecuarias.(Fajardo, 2019, p. 32)

2.1.1 Condiciones del cultivo

El cultivo se encuentra actualmente en la etapa de germinación, y para asegurar un desarrollo óptimo, se busca mantener un nivel de humedad en el suelo que supere el 55%. Este porcentaje específico se ha determinado como el umbral necesario para favorecer la germinación saludable de las semillas y establecer las bases para un ciclo de crecimiento exitoso. Mantener esta condición es esencial para brindar al cultivo las condiciones ideales durante esta fase crucial, estableciendo así

un inicio sólido para el ciclo de vida de las plantas.

Un cultivo de papa debe contar con una textura de suelo fina con una profundidad superior de 40 cm, esto con el fin de un desarrollo apropiado de las raíces además de estos requiere de una porosidad del 50% para garantizar nivel adecuado de almacenamiento de agua y aireación en la zona radicular de la planta, también debe de contar con materia orgánica superior al 5%, haciendo que este disminuya el riesgo de erosión y aumente la actividad biológica del suelo. (Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial, 2015, p. 49)

Las condiciones ambientales que debe presentar un cultivo de papa se rigen principalmente por la calidad de suelo en la cual se esté realizando la producción esta debe contar con una profundidad especial para que la planta tenga desarrollo en sus raíces; el prototipo realizará una inserción en el suelo hasta la profundidad antes mencionada para calcular los niveles de humedad que están dentro de la tierra y principalmente con qué nivel está tratando la planta.

2.1.2 Sistema de Riego

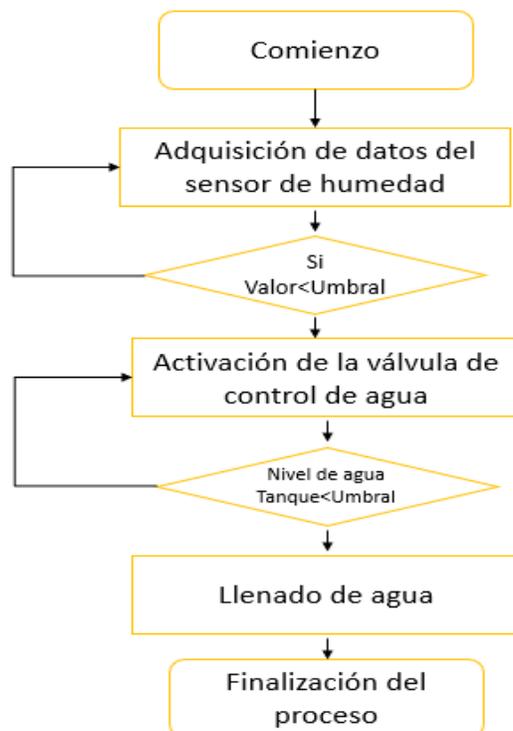
Los sistemas de riego pueden ser de aspersión, localizado, gravedad o goteo entre otros, estos sistemas cumplen con la humidificación de la tierra. La papa al ser un cultivo tan sensible a estos cambios de humedad el exceso de agua puede favorecer a la proliferación de bacterias y hongos mientras tanto un déficit de agua ocasiona deformación en la papa siendo esta más propensa a ataques de insectos. Si se desea establecer un sistema de riego en el cultivo de papa es necesario tener en cuenta los requerimientos hídricos de la planta y la zona del cultivo, con esto se garantiza que el cultivo disponga de la humedad suficiente y se logre instaurar un sistema de riego; generalmente las necesidades hídricas de un cultivo de papa oscilan entre 500 a 650mm de agua por cada periodo de producción lo cual equivale a un volumen de 5.000 a 6.5000 m³/ha, esta distribución de agua se realiza a través de gravedad usando canales y tubos, a pesar de esto el sistema de riego usado presenta grandes pérdidas; si se usa un sistema de riego por aspersores o riego por goteo el cual este último es el más eficiente se tendrá una mejor calidad en los tubérculos y en el rendimiento del cultivo. (Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial, 2015, p. 56)

El prototipo tiene la función principal de implementar un sistema de riego por goteo, asegurando una distribución eficiente y precisa del agua en el cultivo. Este enfoque específico de riego permite controlar detalladamente la cantidad de agua suministrada a cada planta, optimizando el consumo hídrico y fomentando un entorno de crecimiento ideal. La implementación del riego por goteo tiene como objetivo maximizar la eficiencia del recurso hídrico, reducir desperdicios y proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo saludable de las plantas.

Con esto en mente el usuario a través de la interfaz gráfica con comunicación IOT será capaz de determinar la humedad que necesitará el cultivo, el sistema de riego al ser por goteo presentará menor gasto de agua junto con el sistema de control permitirá al agricultor regular esta variable señalando si es necesaria una mayor humedad a través del sensor y un despliegue del sistema de goteo consecutivamente.

Figura 8

Diagrama de flujo del riego



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo que deberán seguir los sensores para el sistema de riego.

2.1.3 Clases de mini moto bombas sumergibles

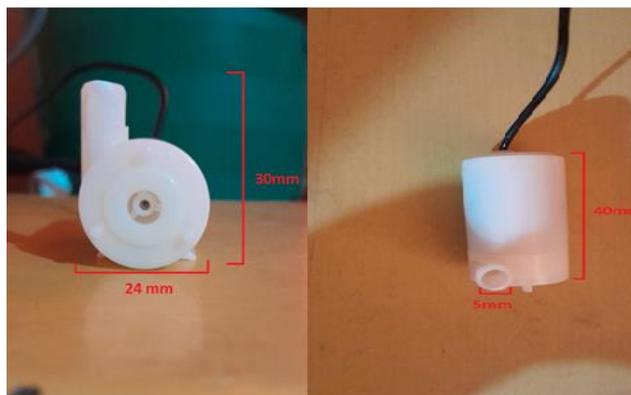
Tabla 4

Mini moto bomba sumergible

Modelo	Voltaje (v)	Corriente (a)	Potencia (w)	Altura máxima del agua (m)	Caudal máximo (L/h)
JT-DC3V-3	3	0.12	0.36	0.35	120
JT-DC3V-4.5	4.5	0.18	0.91	0.55	100
MINI BOMBA IP68	12	0.4	4.8	3	240

Figura 9

Mini moto bomba sumergible JT-DC3V-3



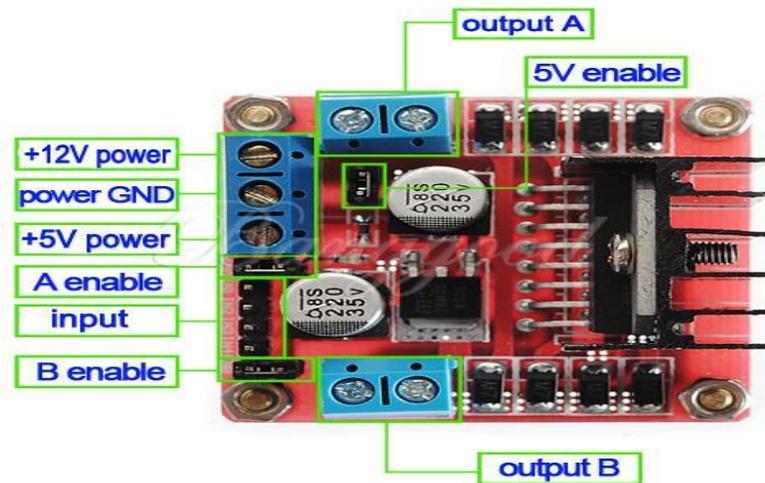
Nota: En la figura se muestra la mini bomba sumergible JT-DC3V que se utiliza para hacer el riego y el llenado del tanque.

Las anteriores motobombas nombradas son las más comerciales y utilizadas en el mercado. Se hizo una investigación previa para seleccionar la adecuada para el proyecto ya que se pretende observar de una mejor manera el control (PID) que realizará el prototipo al realizar el riego en el cultivo para el óptimo consumo del líquido vital. Por lo tanto, se escoge el modelo JT-DC3V-3 la cual nos permite trabajar con el driver L298N conjunto el módulo ESP32.

2.1.4 Driver L298N

Figura 10

Driver L298N



Nota: en la figura se muestra al Driver L298N que será utilizando para controlar las dos mini bombas sumergibles JT-DC3V. 2

Este controlador puede ser operado mediante señales lógicas de bajo voltaje, lo que lo hace compatible con microcontroladores y otros circuitos lógicos. Facilitando la integración en sistemas más complejos, este driver ofrece la capacidad de controlar la velocidad de la mini bomba. La capacidad de ajustar la velocidad resulta beneficiosa para adaptarse a distintos requisitos de flujo de agua.

2.1.5 Sensores del prototipo

El prototipo debe contar con sensores de temperatura y humedad principalmente para realizar las acciones predestinadas, para ello se realizó una búsqueda de los sensores comerciales más comúnmente usados y se creó una tabla de comparación para determinar cuáles serían los sensores adecuados para el monitoreo del dispositivo.

Tabla 5

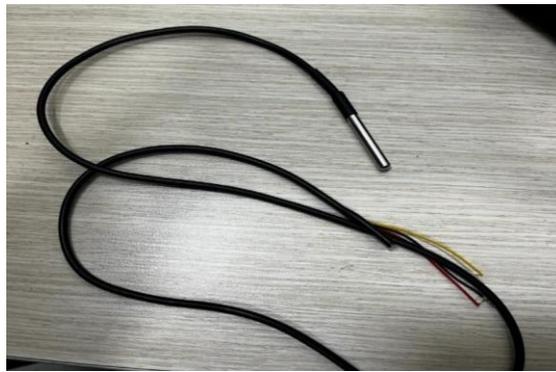
Sensores de Temperatura

Sensor	Sensibilidad	Rango de Medida	Velocidad de Respuesta	Características de funcionamiento
DHT11	Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH	Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C	Tiempo de censado: 2 seg.	Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos, en comparación con el DHT22, este sensor es menos preciso, menos exacto y funciona en un rango más pequeño de temperatura / humedad, pero su empaque es más pequeño y menos caro.
DS18B20	Sensibilidad en el rango de -10 ° C a + 85 ° C: ± 0.5 ° C	Rango de temperatura de funcionamiento: -55 ° C a + 125 ° C (-67 ° F a + 257 ° F) Rango de temperatura de almacenamiento: -55 ° C a + 125 ° C (-67 ° F a + 257 ° F)	Instantánea	El sensor DS18B20 permite medir temperaturas de hasta 125°C de forma fácil, además la termocupla esta sellada en un envoltorio que permite sumergirlo en líquido o protegerlo de la intemperie
LM35DZ	Alta	Rango de operación: -55 to +150°C	2 seg	Sensor de temperatura el cual su salida esta calibrada en grados Celsius.

Para medir la temperatura ambiente que tiene el cultivo se usará un sensor que permita obtener en tiempo real estos valores, la tabla anteriormente vista muestra los tipos de sensores comerciales más usados y que poseen características similares para el proceso que se desea realizar; el prototipo contará con un sensor DS18B20 debido a que tienen un rango de medida más amplio y la velocidad de respuesta es en tiempo real.

Figura 11

Sensor DS18B20



Nota: La figura muestra el sensor DS18B20 que será usado para medir la temperatura ambiente del cultivo.

Tabla 6

Sensores de Proximidad

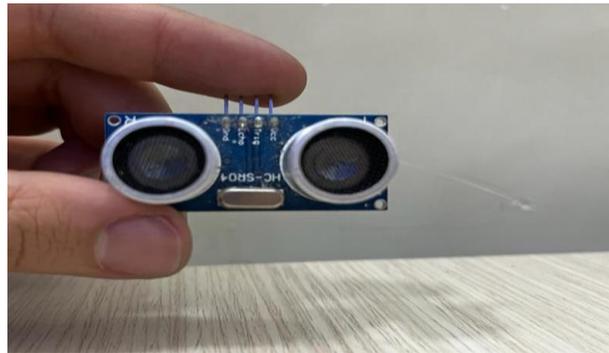
Sensor	Rango de Distancia	Rango de Medición	Alimentación	Protocolo
VL53L0X GYVL53L0XV2	5 cm a 12 cm	5 cm a 12 cm	3 a 5V	I2C
HC-SR04	3 cm-450cm	2cm-450cm	5V	Ultrasónico
IR E18-D80NK	3 a 80cm	3 a 80cm (Ajustable)	5V	I2C

Los sensores anteriormente enunciados cumplirán con la función de determinar qué tan lleno se encuentra el tanque de agua, estos sensores tienen características similares tanto en sus rangos de medición, sin embargo, ninguno de estos es sumergible, por lo cual se seleccionó el sensor

ultrasonico HC-SR04 que posee un mayor rango de distancia partiendo desde un valor inferior.

Figura 12

Sensor HC-SR04



Nota: La figura muestra el sensor HC-SR04 que será usado para medir la proximidad que tiene el agua en cuanto al tanque.

Tabla 7

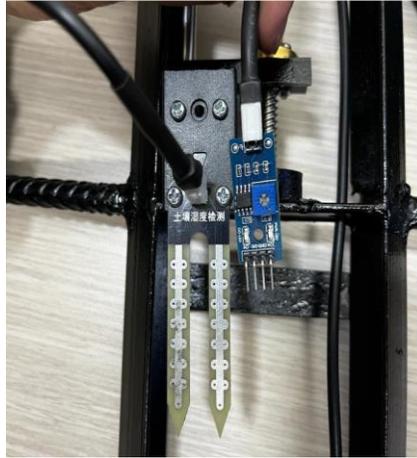
Sensores de Humedad

Sensor	Tensión de funcionamiento	Medidas PCB	Medidas Sensor	Modo de salida
Y1 -69	3.3V -5 V	3 x 1.5 cm	6 x 3 cm	Analógica y digital
FC-37 YL-83	3.3V -5 V	3 x 1.5 cm	5.4 x 3.9 cm	Analógica y digital
ms5611	3.3V - 5V DC	2 cm x 1,3 cm	3 cm x 2 cm	Digital

Estos sensores sirven para medir la humedad, el sensor de humedad es la base principal de este prototipo con esto se plantea si el sistema de riego debe ejecutarse o no; para ello se dispuso de tres sensores que cumplen con esta función a pesar de eso el sensor que tiene un mejor diseño y se lo puede implementar como se desea realizar el funcionamiento del prototipo es el sensor Y1 -69, aparte de ser el sensor más grande dimensionalmente posee un diseño que funciona correctamente de manera conjunta con el prototipo para realizar la inserción en el cultivo.

Figura 13

Sensor YL-69



Nota: La figura muestra el sensor de humedad YI-69 con su respectivo modulo.

Con los tres sensores anteriormente enseñados se construyó el prototipo, cada uno cumplirá con la función que fue mencionada, y serán sometidos a las condiciones ambientales propias de la agricultura, se espera tener una recolección de datos suficientes para que estos sean procesados a través del módulo ESP32 y sean de gran exactitud, de modo que permitan un adecuado control de las variables.

2.1.6 Calibración de sensores

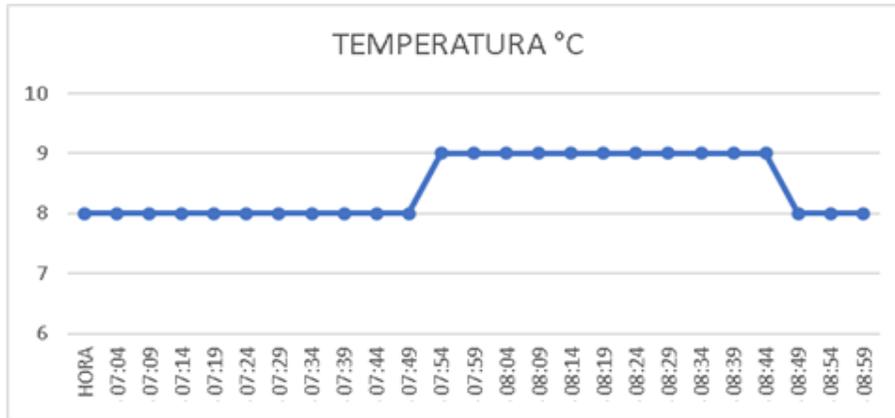
2.1.6.1 Calibración del sensor de temperatura DC18b20. Los datos que se presentan a continuación son el resultado de un proceso de calibración del sensor de temperatura DS18B20, realizado en colaboración con el sistema meteorológico WART (clima). Estas pruebas tuvieron lugar el 11 de julio en Cumbal, Nariño. La información que se muestra en la figura [número de la figura] fue obtenida mediante la recopilación de lecturas de temperatura a través del portal web Weather.com.

La recopilación de datos de temperatura a partir de Weather.com se realizó con el propósito de analizar el comportamiento del sensor DS18B20 en condiciones específicas, centrándose particularmente en un lugar y fecha determinados.

Para ilustrar este punto, se presenta un ejemplo con la medición de la temperatura el miércoles 12 de julio de 2023

Figura 14

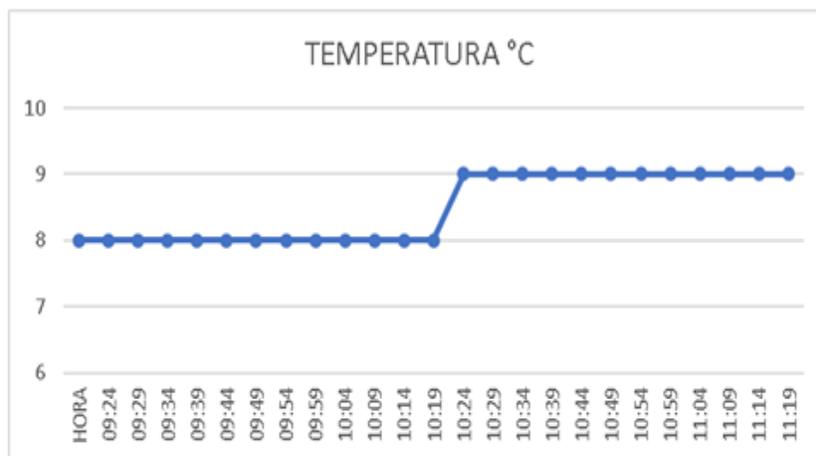
Toma 1 de datos de la pagina



Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 07:04 am hasta las 08:59

Figura 15

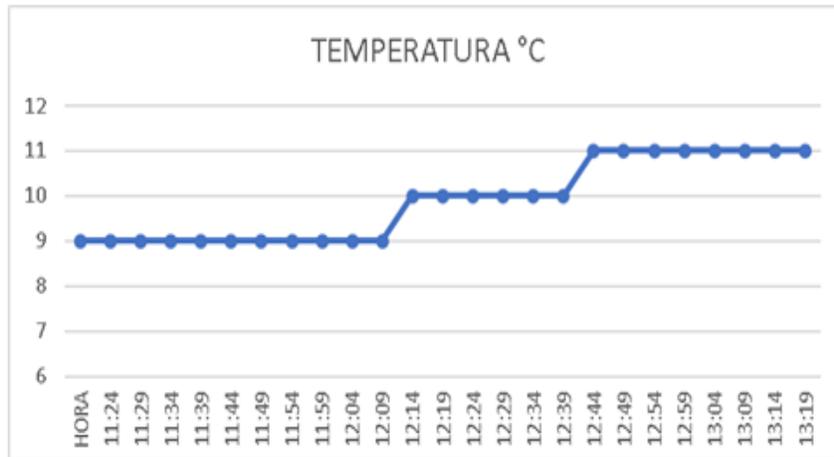
Toma 2 de datos de la pagina



Nota. Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 09:24 am hasta las 11:19 am

Figura 16

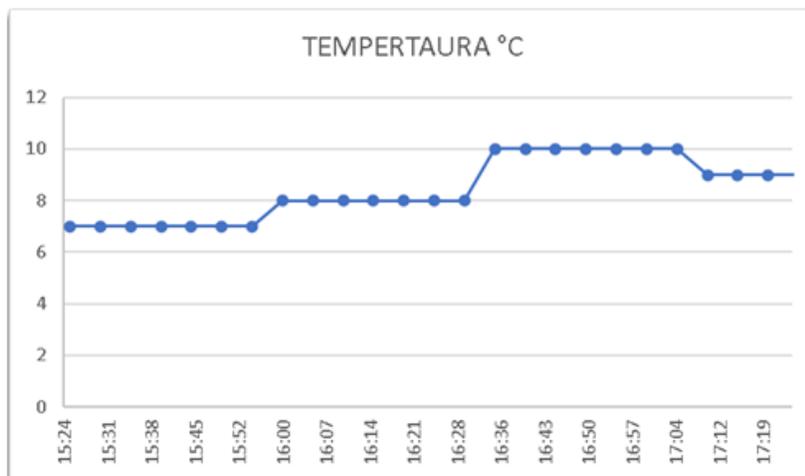
Toma 3 de datos de la pagina



Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 11:24 am hasta las 13:19 pm

Figura 17

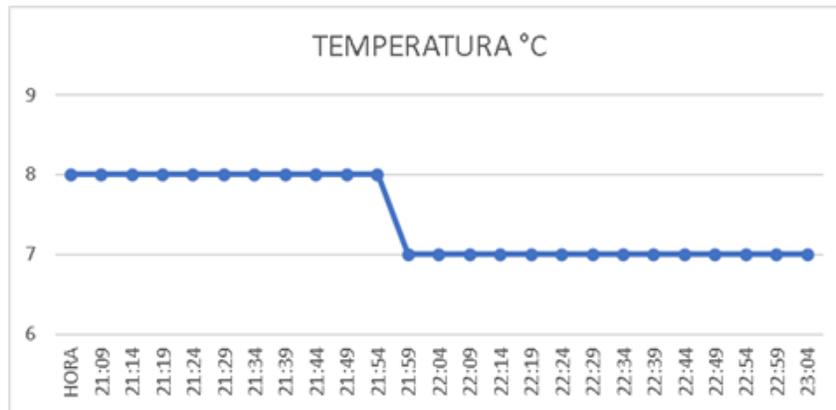
Toma 4 de datos de la pagina



Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 15:24 pm hasta las 17:19 pm

Figura 18

Toma 5 de datos de la pagina

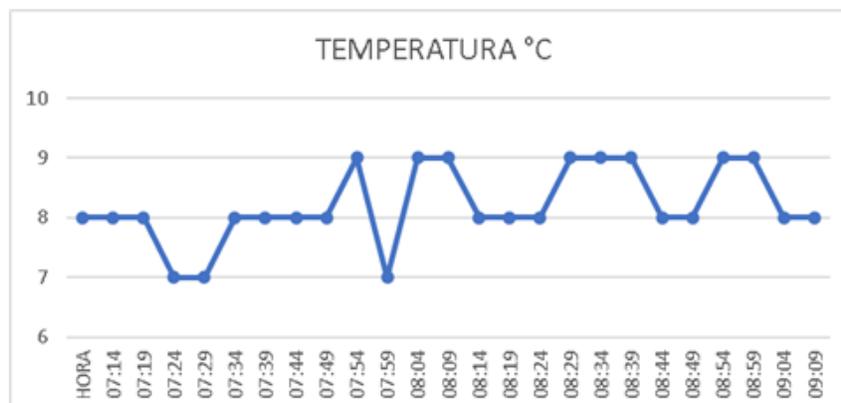


Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 21:09 pm hasta las 23:04 pm

En las siguientes figuras se muestran los datos tomados por el sensor de temperatura DS18B20 con el propósito de ser analizados con las anteriores gráficas proporciona por los datos obtenidos del sistema meteorológico Weather.com.

Figura 19

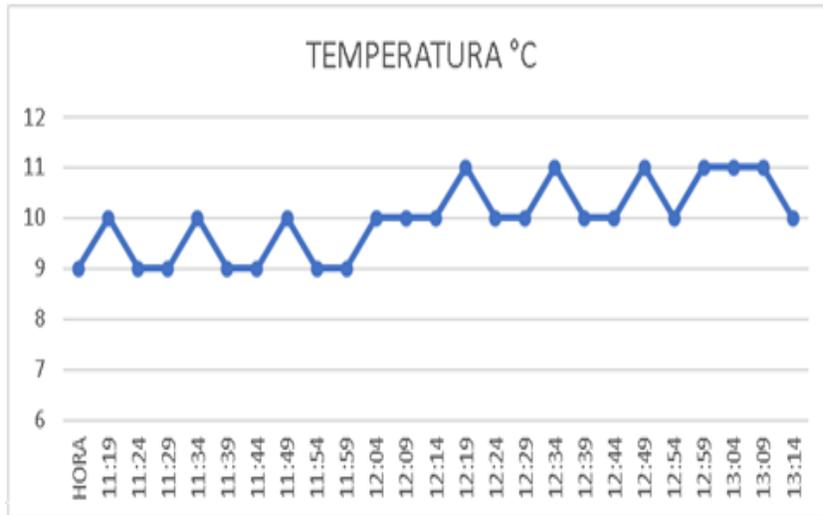
Toma 1 de datos del sensor



Nota. Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 07:04 am hasta las 08:59

Figura 20

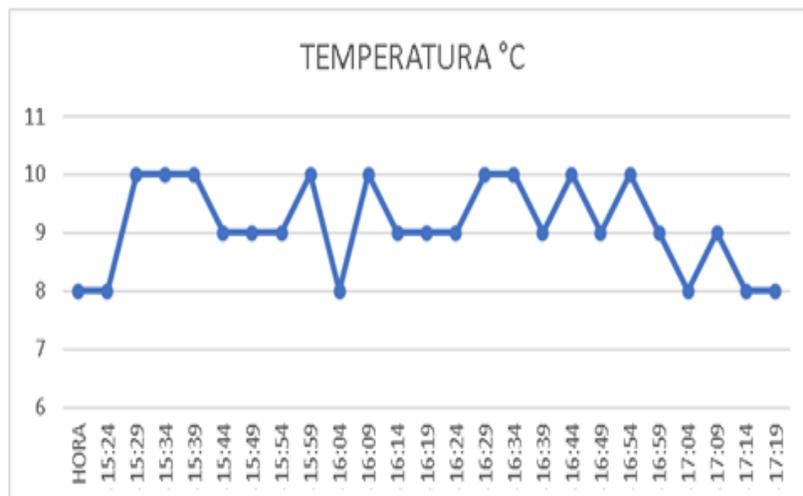
Toma 2 de Datos del sensor



Nota: Los datos mostrados en la figura 20 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 11:19 am hasta las 13:14 pm

Figura 21

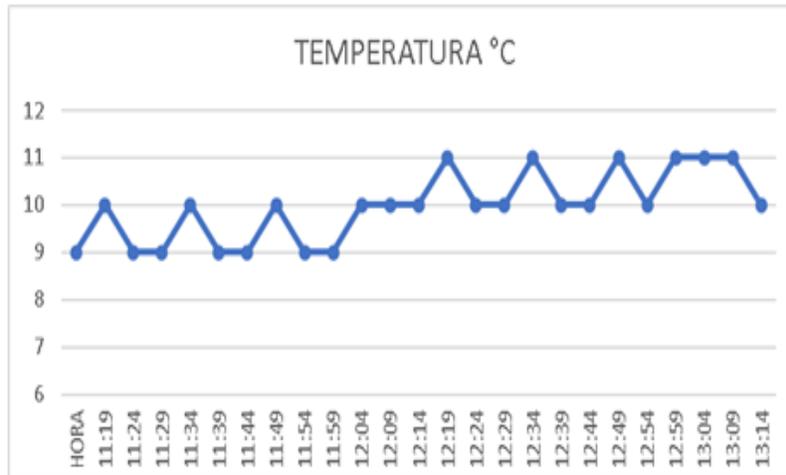
Toma 3 de datos del sensor



Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 15:24 pm hasta las 17:19 pm

Figura 22

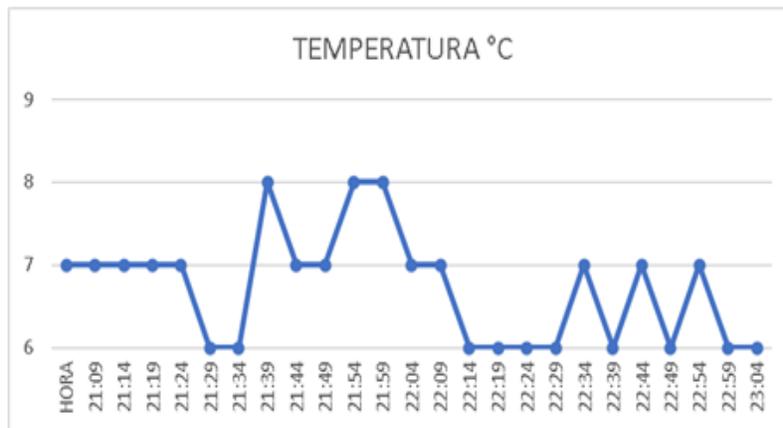
Toma 4 de datos del sensor



Nota: Los datos mostrados en la figura 22 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 11:19 am hasta las 13:14 pm.

Figura 23

Toma 5 de datos del sensor



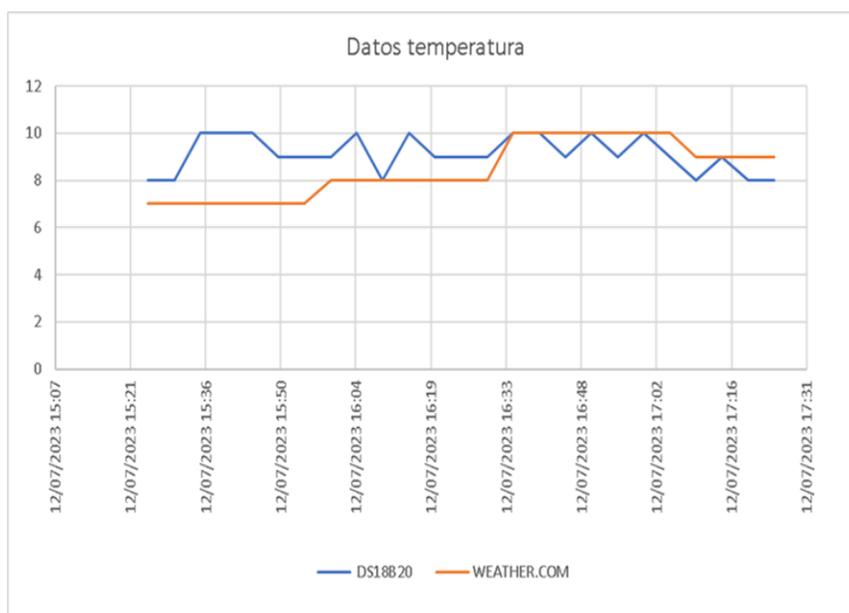
Nota: Los datos mostrados en la figura 10 muestran los datos correspondientes para la fecha 12 de julio del 2023 desde las 21:09 pm hasta las 23:04 pm

La siguiente gráfica constituye una herramienta valiosa al confrontar los datos proporcionados por el sensor con la información suministrada por la plataforma weather.com. Al llevar a cabo esta

comparación, se busca evaluar la coherencia y precisión de ambas fuentes de datos. La fiabilidad de cualquier sistema de monitoreo se ve sustentada en la capacidad de sus mediciones para alinearse con las estimaciones provenientes de fuentes reconocidas y confiables, como weather.com

Figura 24

Comparación de los datos del sensor y la página



Nota: La siguiente gráfica nos muestra los datos de la página Weather.com y los obtenidos por el sensor para desde las 15:07 pm hasta 17:31 pm

En la presente tabla, se realiza una comparación entre los datos recopilados por el sensor de temperatura y las lecturas proporcionadas por la plataforma weather.com. Esta evaluación tiene como objetivo verificar la concordancia y precisión de las mediciones obtenidas por el sensor en relación con las fuentes de datos climáticos convencionales. La utilización de weather.com, una fuente reconocida en la provisión de información meteorológica, se presenta como un referente confiable para contextualizar y validar los resultados del sensor de temperatura. La argumentación se fundamenta en la importancia de corroborar la exactitud de las mediciones del sensor mediante la comparación con fuentes externas reconocidas, garantizando así la fiabilidad y validez de los datos recopilados.

Tabla 8

Calibración sensor de temperatura

Sensor de temperatura	Página web	Promedio	Desviación estándar	% error
8	7	7.5	0.707	0.141
8	7	7.5	0.707	0.141
10	7	8.5	2.121	0.424
10	7	8.5	2.121	0.424
10	7	8.5	2.121	0.424
9	7	8	1.414	0.283
9	7	8	1.414	0.283
9	8	8.5	0.707	0.141
10	8	9	1.414	0.283
8	8	8	0.000	0.000
10	8	9	1.414	0.283
9	8	8.5	0.707	0.141
9	8	8.5	0.707	0.141
9	8	8.5	0.707	0.141
10	10	10	0.000	0.000
10	10	10	0.000	0.000
9	10	9.5	0.707	0.141
10	10	10	0.000	0.000
9	10	9.5	0.707	0.141
10	10	10	0.000	0.000
9	10	9.5	0.707	0.141
8	9	8.5	0.707	0.141
9	9	9	0.000	0.000
8	9	8.5	0.707	0.141
8	9	8.5	0.707	0.141

Al analizar la gráfica comparativa entre el sensor de temperatura y la información proporcionada

por la página web weather.com, así como examinar detenidamente la tabla de datos correspondiente, se puede inferir que la discrepancia máxima entre ambos es de 0.424, mientras que la discrepancia mínima es nula (0.0). Esta observación sugiere que la variación entre las lecturas del sensor y los datos en línea es bastante reducida, indicando una coherencia notoria entre las fuentes. En consecuencia, se puede afirmar que no existe un margen de error sustancial entre el sensor y la plataforma en línea, lo cual fortalece la confiabilidad de las mediciones proporcionadas por el sensor de temperatura.

2.1.7 Calibración sensor de humedad YL-69

El método gravimétrico es el único método directo de medición de la humedad del suelo. Dicho método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105° C.

El método gravimétrico es el más exacto para medir el contenido de humedad del suelo y resulta necesario para calibrar el equipo utilizado en los demás métodos. Sin embargo, no es útil para obtener un registro continuo de la humedad del suelo de un lugar determinado, puesto que es necesario extraer muestras del suelo para su análisis en el laboratorio.

Para llevar a cabo este método, se siguen los siguientes procedimientos.

- **Extracción de Muestras de Suelo:** En primer lugar, se procede a la extracción de las muestras de suelo, un paso esencial en el proceso.
- **Pesaje de las Muestras:** Posteriormente, se realiza el pesaje preciso de cada muestra para obtener datos exactos.
- **Secado de la Muestra a 105° C durante 28 Horas:** Las muestras pesadas se someten a un proceso de secado controlado a una temperatura de 105° C, con una duración de 28 horas.

- **Determinación del Peso del Suelo Seco:** Después del proceso de secado, se registra el peso del suelo seco resultante, brindando información indispensable sobre la composición del suelo.
- **Repetición de los Pasos hasta Estabilizar la Temperatura del Suelo:** Estos pasos se repiten de manera iterativa hasta que la temperatura del suelo alcanza una constancia, asegurando resultados consistentes y confiables.
- **Cálculo del Contenido de Agua Utilizando la Fórmula (1):** Finalmente, para determinar el contenido de agua en las muestras de suelo, se aplica la Fórmula (1), proporcionando datos cruciales para el análisis del suelo.

Figura 25

Pruebas de humedad en el laboratorio



Nota: En la figura se muestra el uso de los hornos para realizar el secado de la muestra

Humedad de suelo

$$\frac{PESO\ DEL\ SUELO\ HUMEDO - PESO\ DEL\ SUELO\ SECO}{PESO\ DEL\ SUELO\ SECO} \times 100\%$$

Después de completar la primera etapa, se procede a emplear el sensor para llevar a cabo las siguientes pruebas:

- Se realiza la medición del voltaje del suelo mediante el sensor.
- Se efectúa la medición del voltaje del suelo aislado.
- Se introduce agua al suelo y se emplea el sensor para recopilar datos sobre la resistencia del suelo.
- Estos pasos se repiten de manera iterativa hasta que el suelo alcanza su capacidad máxima de absorción de agua.

La fase final consiste en la evaluación de la humedad del suelo, la cual se lleva a cabo a través de los siguientes resultados:

- El suelo de prueba exhibe un nivel de humedad del 18.07%.
- Los datos registrados por los sensores con Arduino IDE se visualizan en el monitor serial como la lectura analógica del sensor.
- Se procede a determinar el voltaje del sensor mediante la aplicación de la fórmula (2).
- Voltaje en el sensor:

$$V_{sensor} = \frac{\textit{lectura analoga}}{1023} \times 5v$$

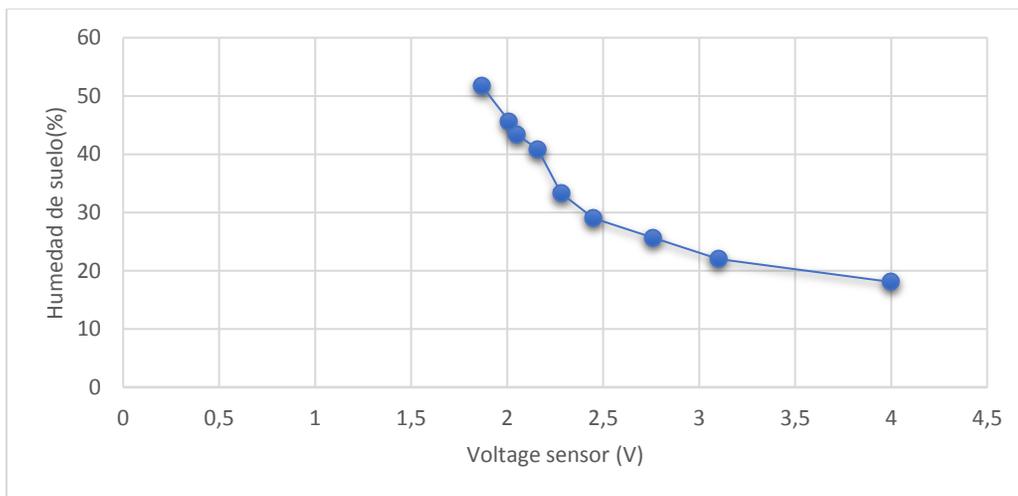
Tabla 9

Datos de humedad tomadas con el sensor

Prueba	Humedad %	Lectura analógica	Voltaje Sensor (V)
1	18,07	798	4,01
2	22,01	675	3,1
3	25,65	551	2,76
4	28,98	505	2,45
5	33,32	469	2,28
6	40,88	450	2,16
7	43,36	418	2,05
8	45,65	409	2,01
9	51,65	390	1,87

Figura 26

Curva de relación entre la humedad del suelo y el voltaje del sensor



Nota: En la figura se muestra la gráfica de la humedad de suelo con respecto al voltaje del sensor

Para calibrar las lecturas del sensor, se ha modelado la curva que se presenta en la figura (24) mediante una ecuación matemática. Se utilizó la ecuación polinómica de tercer orden, la cual se muestra en la figura (25), así como la ecuación de potencia representada en la figura (26). La

precisión de las lecturas del sensor, calculada mediante la ecuación polinómica de tercer orden, se detalla en la tabla (10) y se visualiza en la figura (26). Por otro lado, la ecuación de potencia correspondiente se presenta en la tabla (11) y se ilustra en la figura (28).

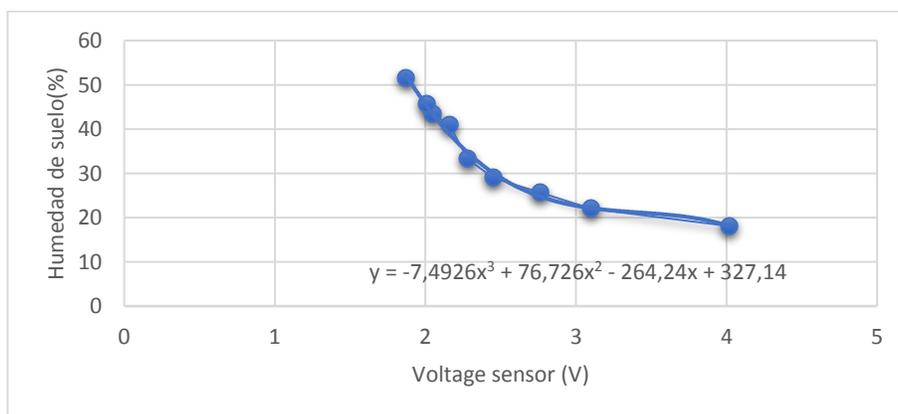
Tabla 10

Resultado de la ecuación polinómica de tercer orden

Prueba	humedad %	Lectura analógica	Voltaje Sensor	Ecuación de acercamiento polinomial (%)	Error (%)
1	18,07	798	4,01	17,85	1,21
2	22,01	675	3,1	22,12	0,49
3	25,65	551	2,76	24,79	3,35
4	28,98	505	2,45	30,12	3,81
5	33,32	469	2,28	34,75	6,42
6	40,88	450	2,16	38,85	4,29
7	43,36	418	2,05	43,34	0,04
8	45,65	409	2,01	45,16	1,07
9	51,65	390	1,87	52,33	1,31
Error promedio					2,44

Figura 27

Ecuación polinomial de tercer orden enfoque de línea de tendencia



Nota: En la figura se observa la gráfica de la ecuación de tercer orden

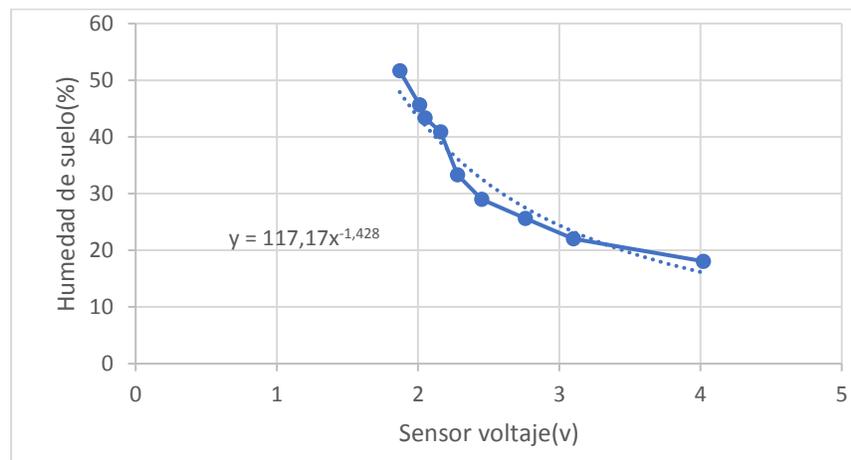
Tabla 11

Resultado de la ecuación polinómica de potencia

Humedad %	Lectura analógica	Voltaje Sensor (V)	Ecuación	
			acercamiento potencial (%)	Error (%)
18,07	798	4,01	16,06	11,1
22,01	675	3,1	23,18	5,31
25,65	551	2,76	27,49	6,71
28,98	505	2,45	32,61	11,13
33,32	469	2,28	36,11	7,72
40,88	450	2,16	38,85	4,97
43,36	418	2,05	39,01	10,03
45,65	409	2,01	43,23	5,32
51,65	390	1,87	47,93	7,24
Error promedio				7,72

Figura 28

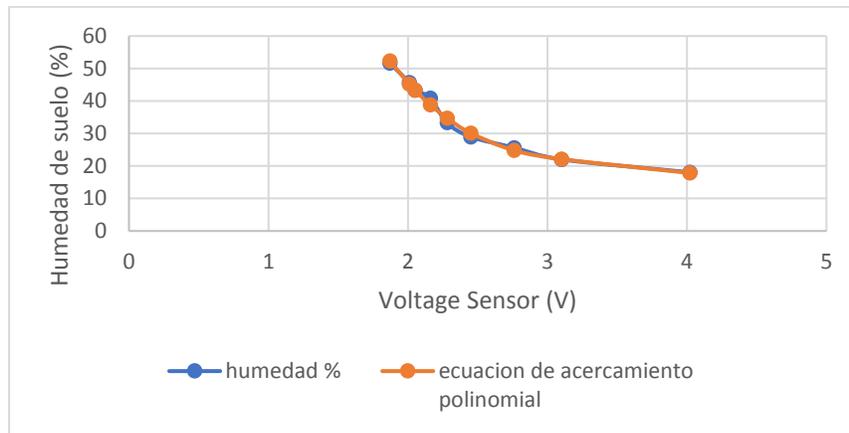
Ecuación de potencia de enfoque lineal



Nota: En la figura se muestra la gráfica de ecuación de potencia

Figura 29

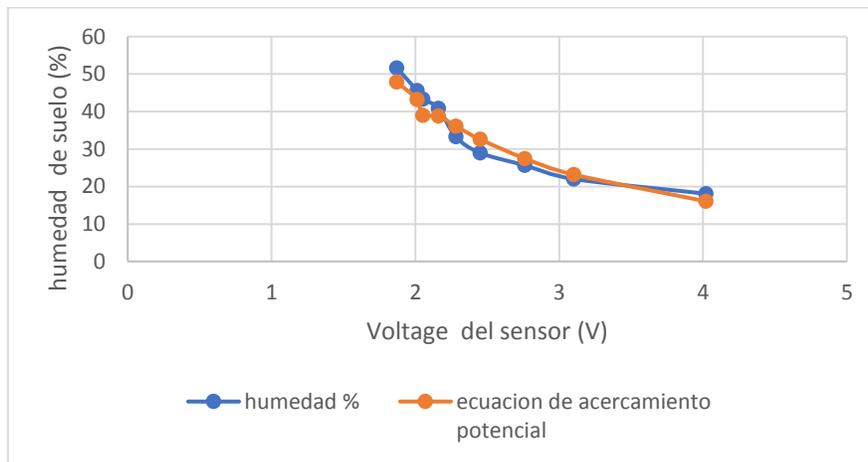
Resultado de la humedad del suelo mediante la ecuación polinómica



Nota: En la figura se observa la humedad de suelo con respecto a la ecuación de tercer orden

Figura 30

Resultado humedad del suelo mediante la ecuación potencial de acercamiento



Nota: En la figura se observa la humedad de suelo con respecto a la ecuación de potencia

El diseño del sistema de riego inteligente requiere la precisión del sensor de humedad del suelo para determinar la condición de este en tiempo real. Los modelos matemáticos que se pueden utilizar para la aproximación a la curva de humedad de suelo incluyen ecuaciones polinómicas Orden 3 y ecuaciones de potencia. Basado en los resultados del experimento, la ecuación polinómica Orden 3 tiene un error promedio de 2,44% mientras que la ecuación de potencia tiene

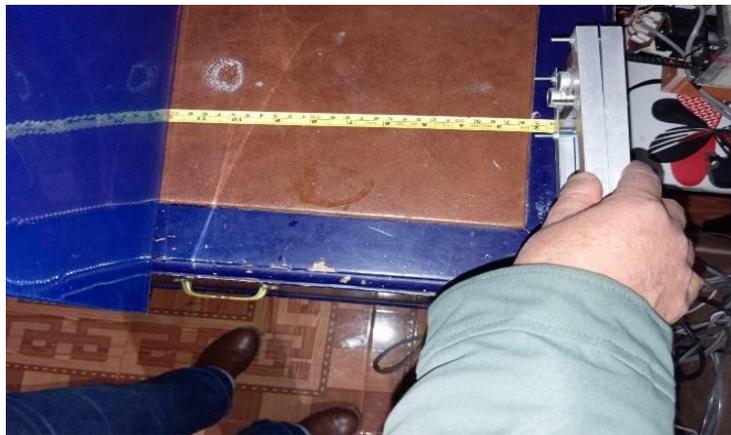
un error medio del 7,72.

2.1.8 Calibración sensor de proximidad HC-SR04

Para realizar la calibración se realizan mediciones en incrementos de 5 cm desde 5 cm hasta 30 cm. Aquí hay un conjunto de datos simulados:

Figura 31

Calibración sensor de proximidad



Nota: En la figura se observa la calibración del sensor de proximidad

Tabla 12

Medición de distancia en centímetros

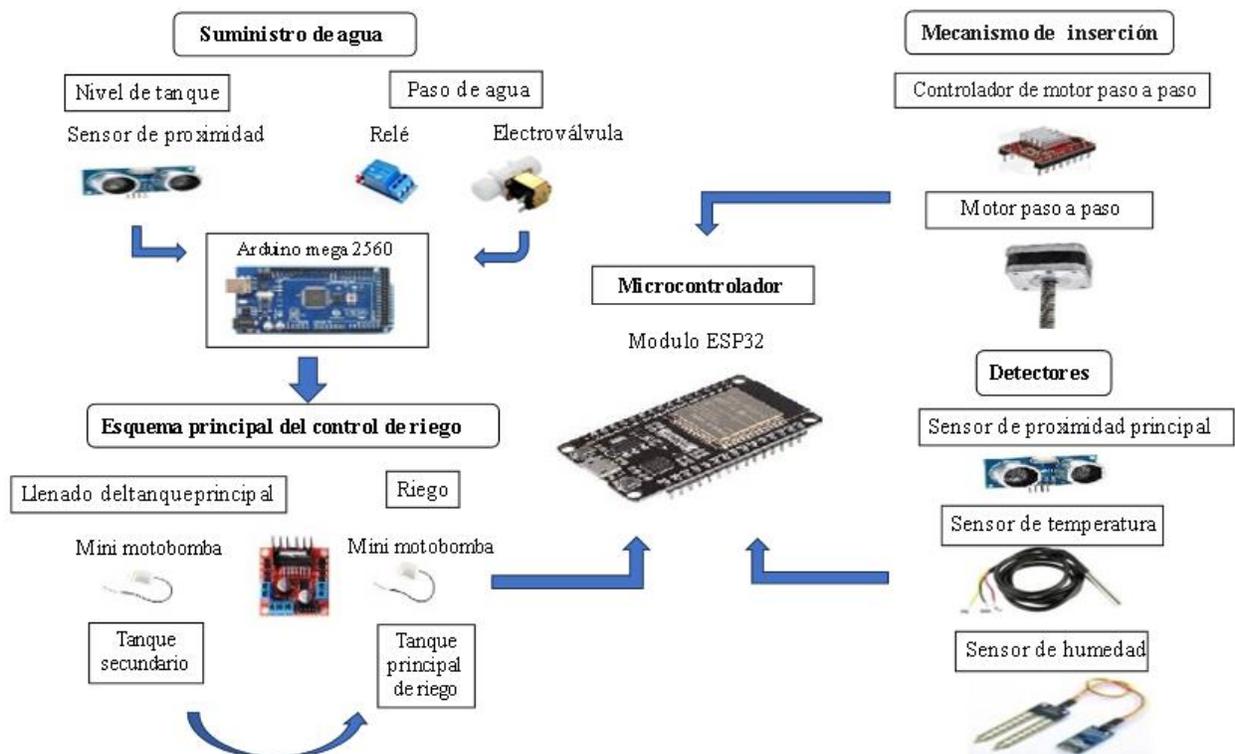
Distancia Real (cm)	Medición del HC-SR04 (cm)
5	5.32
10	10.53
15	15.32
20	20.12
25	25.63
30	30.24

Nota: En la tabla se observa la calibración de sensor de proximidad con respecto a la medida física

La diferencia entre la distancia real y la medición es bastante pequeña en general, lo que indica una buena precisión. A simple vista, parece que hay una relación lineal entre la distancia real y la medición del sensor, ya que los valores aumentan de manera coherente. No hay fluctuaciones significativas en las mediciones cuando la distancia es constante, lo que sugiere una buena estabilidad. Pequeños cambios en la distancia resultan en pequeños cambios en la medición, lo que indica una sensibilidad razonable del sensor.

Figura 32

Diagrama de bloques de conexión principal del prototipo



Nota: La figura muestra las etapas de conexión que tiene el prototipo.

El diagrama mostrado presenta los sensores junto con el trabajo de las electroválvulas y el módulo ESP32 que realizará el control de estas acciones, la interfaz gráfica se mostrará de manera remota en la plataforma Ubidots; con este bosquejo se planteó la creación del dispositivo y se situó el lugar de trabajo de cada uno de los dispositivos electrónicos y la estructura física que se usará para el llenado del tanque.

2.2 Construcción de un sistema de control y monitoreo

La construcción del dispositivo esta segmentada por seis partes principales, la primera parte será el trabajo y accionamiento de los sensores y los valores que estos serán capaces de censar al tratar con el cultivo, este prototipo cumplirá con detectar la humedad que posee la tierra la temperatura ambiente del cultivo y el nivel al que está lleno el tanque, como segunda parte tenemos la creación de la estructura física del equipo y el mecanismo que posee para realizar la prueba de humedad que se da a través de la inserción del sensor YL-69 en la tierra, como tercera parte tenemos la construcción del circuito electrónico, en esta parte se incluirán todos los detalles electrónicos que se necesitan para que funcione todo este sistema, la tarjeta electrónica el uso de una fuente de alimentación para el circuito y otros aspectos técnicos se abarcaran en ese te proceso, continuando con esto tenemos la creación de la interfaz gráfica en el la plataforma virtual de Ubidots, este proceso se hace en función de crear un sistema IOT en el cual se visualicen de manera remota los datos que son procesador por el módulo ESP32 y finalmente se tendrá el ensamble del dispositivo junto con el tanque de agua para comprobar el funcionamiento del prototipo.

2.2.1 Trabajo y accionamiento de los sensores

Los sensores de humedad, temperatura y de proximidad ultrasónico serán evaluados en cuanto a la recepción de datos, mientras que él envió de datos se dará por el módulo ESP32; estos mismos cuentan con librerías que nos ayudarán reconocer como es el envío de datos que estos manejan, a cada sensor se le hará una prueba rápida de funcionamiento con el fin de comprobar el rendimiento que estos poseen, las pruebas se realizarán de manera controlada y en el entorno para el que fueron diseñadas.

2.2.2 Sensor de humedad

El sensor que se utiliza para recibir los datos de humedad de suelo es el YL-69 que es una herramienta útil en la agricultura, ya que nos permite recibir los datos de manera inmediata. Este tipo de sensor permite medir el contenido de humedad en el suelo, lo cual es crucial para el riego. Pues con los valores obtenidos por el sensor se puede determinar cuándo es el momento adecuado

para realizar la actividad de riego evitando tanto el exceso como la falta de agua.

2.2.3 Sensor de temperatura

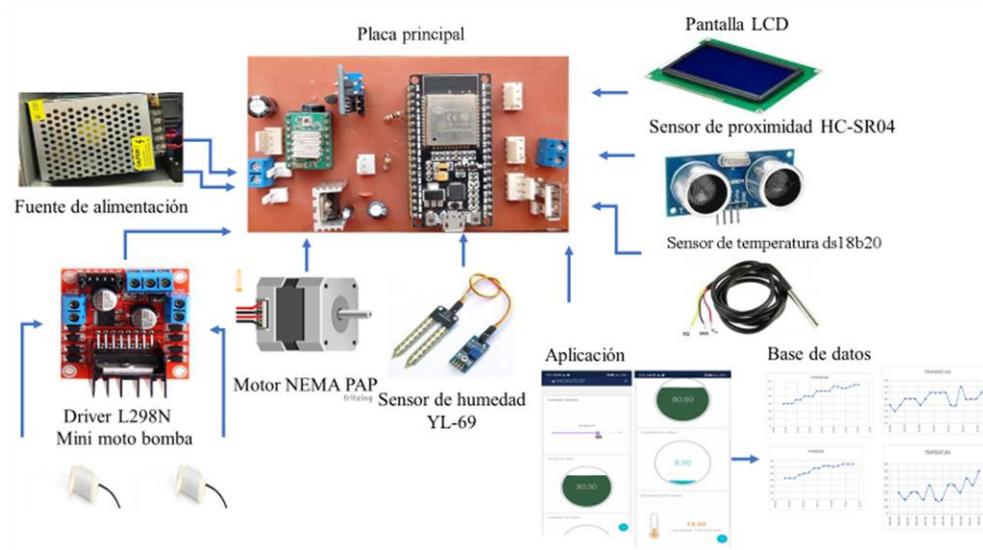
Para censar la temperatura ambiente de cultivo se hará uso del sensor DS18B20, este siempre estará captando la temperatura, las pruebas que se hicieron con este sensor abarcan la capacidad que este tiene de captar una señal a tiempo real y el envío de datos que va a realizar de forma consecutiva

2.2.4 Sensor de proximidad ultrasónico

El sensor que se usará para capturar los datos de llenado de tanque es el sensor HC-SR04 ultrasónico, este sensor será capaz de identificar cual es la cantidad de agua restante o si es necesario un proceso de llenado; la prueba de funcionamiento de este sensor se hará con agua ya que este será el elemento en cuestión a identificar. Se colocará el nivel mínimo al que es capaz de capturar datos y el nivel máximo de agua para que este mismo determine si es necesario finalizar con la labor de llenado.

Figura 33

Diagrama principal de conexiones de los componentes



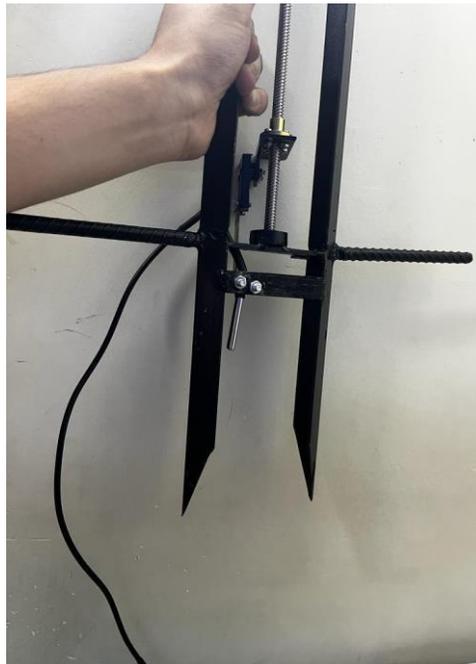
Nota: En la figura se muestra la conexión principal que tiene el prototipo

2.2.5 Estructura física y mecánica

La estructura física está compuesta por un armazón de dos vigas con un final en forma de picos que permite la inserción del prototipo dentro de la tierra.

Figura 34

Puntas de inserción para el suelo



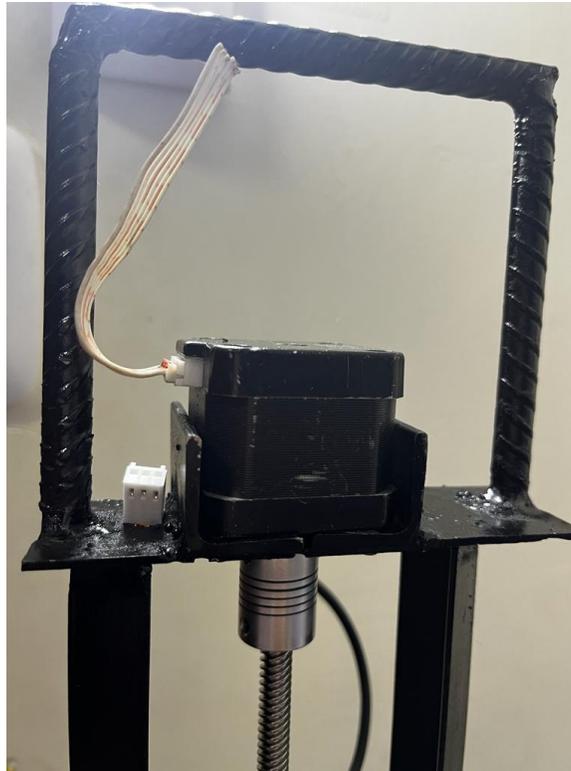
Nota: La figura muestra las puntas de acero que serán usadas para realizar una inserción dentro de la tierra junto con el sensor.

Esta misma estructura cuenta con dos bases de apoyo para que el agricultor realice la inserción, además de ser una estructura soldada, de buena resistencia que permite asegurar todos los elementos implicados en el prototipo.

En la parte superior del dispositivo se encuentra el motor paso a paso Nema 17, este motor cumplirá con la función de ayudar al mecanismo a elevar el sensor de humedad para que este realice censados cada cierto periodo de tiempo.

Figura 35

Viga superior con motor



Nota: La figura muestra el motor paso a paso Nema 17 que realizará la rotación del tornillo helicoidal que ayuda al desplazamiento del sensor de humedad.

Este motor está sujeto a la viga superior de la estructura, a través de dos tornillos de sujeción, la estructura será capaz de resistir las vibraciones que produce este mismo, además de trabajar en conjunto con el mecanismo que se encuentra debajo de él, para realizar el proceso de elevación. Para este proceso de elevación se hará uso de un tornillo helicoidal con acoples flexibles que llevarán el dispositivo desde su altura máxima hasta su altura mínima, es decir introduciendo el sensor de humedad en la tierra hasta su mayor altura.

Figura 36

Tornillo helicoidal



Nota: La figura muestra el mecanismo de desplazamiento para el sensor de humedad.

Este mecanismo nos permite realizar la inserción del sensor de manera controlada al trabajar en conjunto con un motor paso a paso. Toda la estructura es soldada para garantizar una estabilidad y rigidez en todos los elementos usados, que además al ser de acero tiene una buena resistencia de golpes o fricción.

Figura 37

Estructura física y mecánica del prototipo



Nota: La figura muestra el mecanismo del prototipo junto con el motor que ayudarán en la movilización del sensor.

La estructura física enseñada es de carácter transportable y de fácil manejo si se desea implementar en otro cultivo o una zona geográfica diferente, los dos sensores principales trabajan de manera adecuada en cuestión al distanciamiento que tienen, además cada uno cuenta con un registro de datos diferentes, sin embargo, estos no alterarán los datos del otro.

Para proteger los elementos internos como el motor y el tornillo helicoidal se diseñó una carcasa de protección, esta cumple con la función de cubrir los elementos y reducir los daños debido a los cambios climáticos.

Figura 38

Carcasa del mecanismo

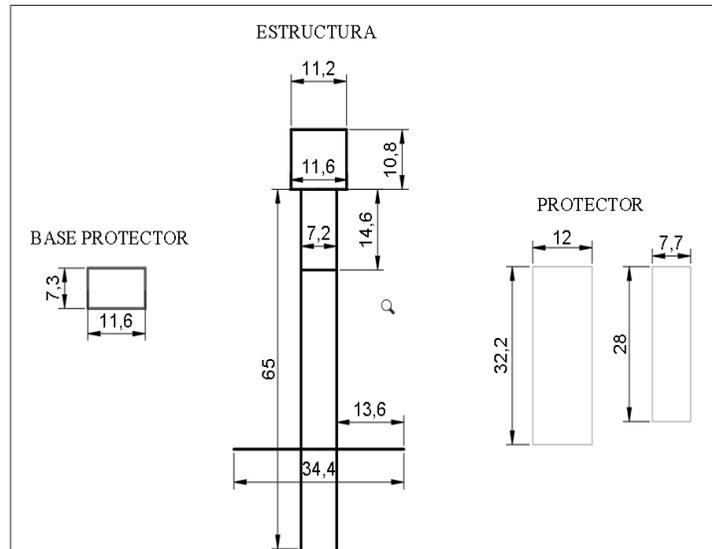


Nota: La figura muestra la carcasa para proteger al mecanismo.

Esta carcasa está diseñada a partir de acrílico, gracias a ello elementos como el agua pueden deslizarse fácilmente y no invadir las partes internas del circuito del motor, además evitan la corrosión del tornillo helicoidal debido a que este podría recibir los rayos del sol y la humedad del cultivo; esto se realiza con el fin de reducir el daño que puede producir tener este dispositivo a la intemperie.

Figura 39

Medidas de la estructura del prototipo



2.2.6 Cálculos de la estructura del prototipo

Formula 3: Volumen del acero

$$\text{volumen del acero} = 3\text{cm} * 3.4\text{cm} * 75.8$$

$$\text{volumen del acero} \approx 765.24\text{cm}^3$$

Masa total

$$\text{Densidad del acero} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Formula 4: Masa del acero

$$\text{Masa del acero} = \frac{\text{Volumen del acero}}{1000000} \times \text{densidad del acero}$$

Masa del acero $\approx 6.00137 \text{ kg}$

Cargas permisibles y factor de seguridad

Resistencia a la traccion del acero = 400 MPa

Formula 5: Deformación

$$\text{Deformacion} = \frac{\text{carga de compresion} * 75.8\text{cm}}{(3\text{cm} * 3.4\text{cm}) * 200 * 10^9\text{pa}}$$

$$\text{Deformacion} = \frac{\text{carga de compresion} * 75.8\text{cm}}{204 * 10^6\text{pa} * 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$\text{Deformacion} = \frac{\text{carga de compresion} * 75.8\text{cm} * 75.8 * 10^{-2}}{204 * 10^6}$$

2.2.7 Circuito electrónico

El funcionamiento electrónico del prototipo está condicionado a la puesta en marcha de la mini motobomba, el motor paso a paso Nema 17 y los sensores, los cuales se alimentarán a través de una fuente conmutable de 12 voltios 5 amperios.

2.2.8 Componentes electrónicos

El circuito fue creado en el Software en Eagle, en él se indicaron todos los componentes que se incluirían en el prototipo, tales como resistencias, condensadores, potenciómetro, borneras, reguladores de voltaje, reguladores de tensión, transistores, pantalla LCD 20 x 4 con módulo I2C y el módulo de control ESP32.

- Fuentes de alimentación

La selección de la fuente de alimentación se dio teniendo en cuenta los componentes que se van

a usar en la totalidad del prototipo, una fuente de voltaje de 12 V 5 amperios se colocara dentro de la caja de proyectos. La fuente seleccionada suple el consumo de energía que tiene el prototipo (tabla 11) de tal manera que se escoge la fuente más apropiada y de fácil acceso en el mercado.

Tabla 13

Consumo de energía del prototipo

Dispositivo	Consumo de energía (mA)
YL-69 (Sensor de humedad)	15 a 20
DS18B20 (Sensor de temperatura)	5
HC-SR04 (Sensor de proximidad)	15
NEMA 17 (Motor paso a paso)	800

Nota: En esta tabla se observa el consumo de energía de cada uno de sus sensores y actuadores.

Consumo de energía:

- Consumo total de energía = $20\text{mA} + 5\text{ mA} + 15\text{ mA} + 800\text{ mA}$
- Consumo total = 840 mA

Figura 40

Fuente de alimentación



Nota: La figura muestra la fuente de alimentación dentro de la caja de proyecto con su respectivo socket.

- Pantalla LCD 20x4 I2C

Se usó una pantalla LCD que cuenta con comunicación I2C para tener una visualización de los datos enviados, este panel visual contara con los mismos parámetros que se enviaran a la interfaz gráfica que se tiene en Ubidots.

Figura 41

Pantalla LCD



Nota. La figura muestra la pantalla que utilizara el prototipo

Nota: La figura muestra la pantalla LCD instalada en la caja de proyectos.

- Motor paso a paso Nema 17

El accionamiento para elevar o bajar el sensor de humedad se da a través de un motor paso a paso Nema 17, el cual cumple con las características requeridas.

Figura 42

Motor Nema PaP



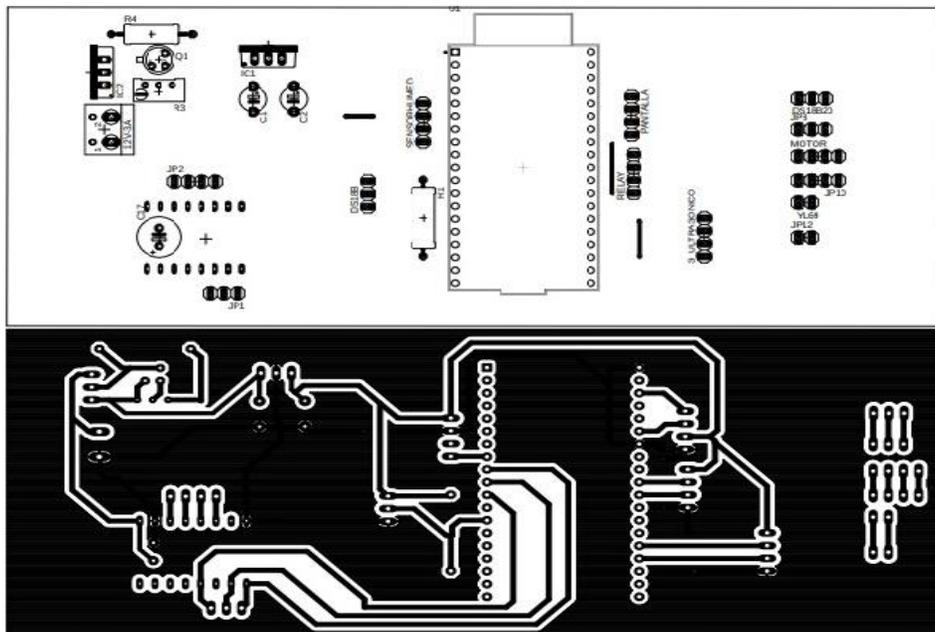
Nota: La figura muestra el motor paso a paso Nema 17 que se usara en el mecanismo.

2.2.9 Tarjeta Electrónica

La creación de la tarjeta electrónica tuvo como cometido que se incluyeran todos los elementos presentados junto con la fuente de alimentación externa.

Las normativas aplicadas para el diseño fueron IPC-2221: esta norma se utiliza para el diseño de PCB. La cual proporciona pautas para el diseño de placas de circuito impreso, incluidos aspectos como el espaciado, la disposición de pistas y la colocación de componentes

Figura 43
Tarjeta electrónica



Nota: La figura muestra el esquemático del circuito electrónico.

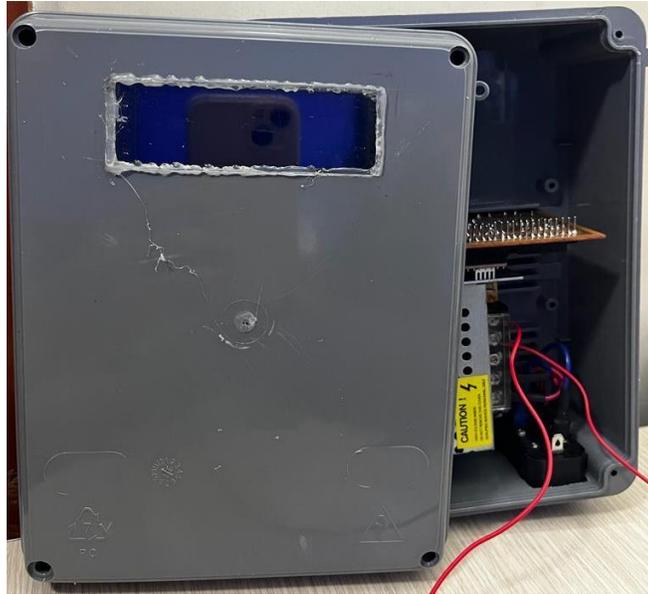
Con este circuito el dispositivo será capaz de ejecutar las acciones predeterminadas a través del módulo ESP32 para cada uno de los sensores que trabajaran de manera unificada, incluyendo el control del motor y las mini motobombas JT-DC3V-3.

La tarjeta electrónica estará cubierta por una caja de proyectos en esta se incluirá la fuente de la

alimentación, en el socket para el cable de poder con su respectivo switch de encendido y la pantalla LCD.

Figura 44

Caja de proyectos con la tarjeta electrónica



Nota: La figura muestra la tarjeta electrónica cubierta por la caja de proyectos.

2.2.10 Programación

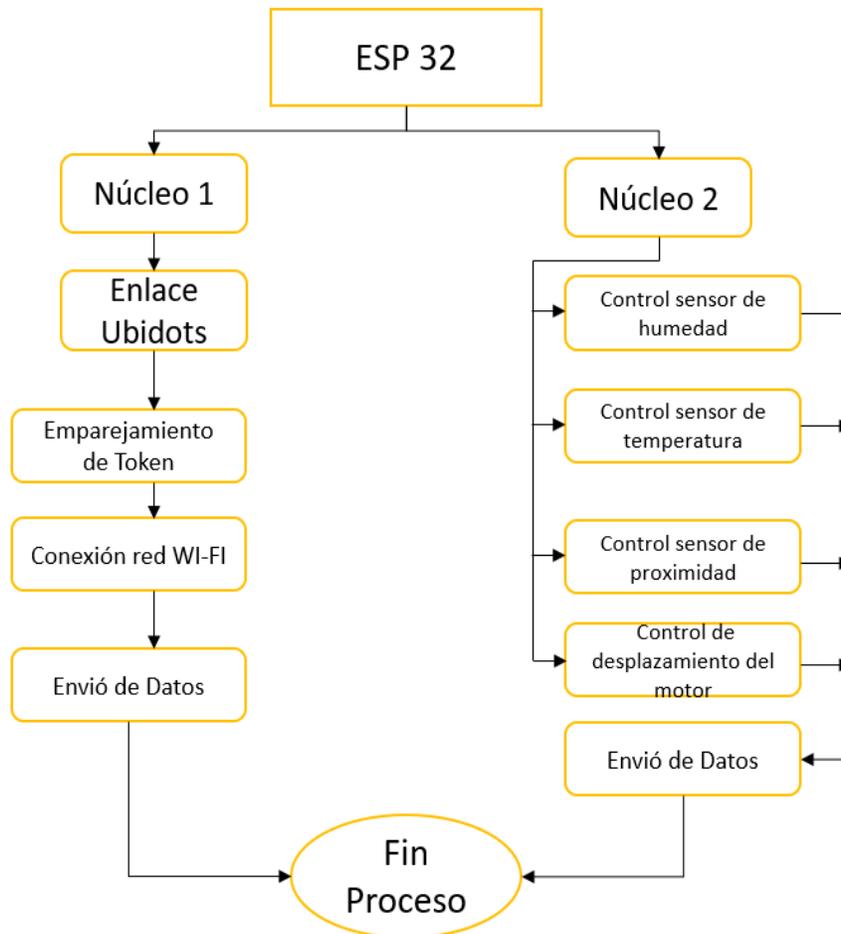
El módulo ESP32 fue usado para el control de los sensores, las mini motobombas JT-DC3V-3 y el motor paso a paso, este se lo programo en lenguaje C a través del ID de Arduino. Este módulo cuenta con dos núcleos de programación, uno será usado para el enlace con la plataforma de Ubidots para su respectiva conexión IOT, mientras que el otro núcleo se encargará del control del motor paso a paso, de la recepción, envió de datos de los sensores y las mini motobombas JT-DC3V-3.

La programación consistió en crear una función que recibiera los datos de los sensores utilizados, los cuales serían recibidos por el módulo ESP32 y enviados por conexión IOT a la plataforma de Ubidots; para el control del motor paso a paso Nema 17 se hizo necesario crear una

función, que especifique el número de pasos que tiene que realizar en un periodo de 5 segundos, este proceso se realizó a través de un delay que permite esta acción repetitiva.

Figura 45

Diagrama de bloques programación

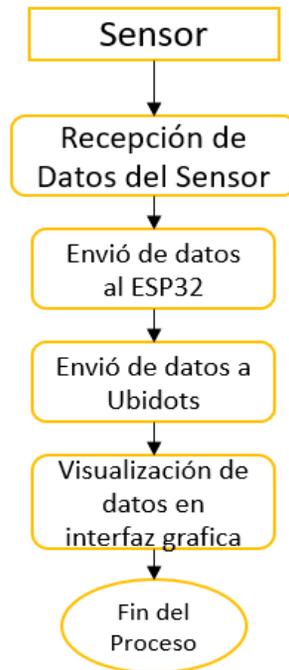


Nota: La figura muestra la programación del módulo ESP32 para la recepción y envío de datos.

La programación para el prototipo fue realizada con base al control de sensores, cada sensor realizara el mismo proceso para la adquisición de datos y estos serán tratados por el ESP32 para que sean enviados a la plataforma de Ubidots enseñándolos en el panel de control.

Figura 46

Diagrama de bloques programación sensor



Nota: La figura muestra la programación que usa cualquiera de los tres sensores para el envío de datos.

2.2.11 Interfaz gráfica

En un primer momento se desarrolló un panel de control dentro de la plataforma de Ubidots, en donde se crearon las variables que almacenarán los datos enviados por el módulo ESP32, estas variables serán alojadas en la nube.

La interfaz gráfica fue creada en la plataforma virtual Ubidots gracias a la dashboard que brinda la plataforma, esta contará con cuatro paneles; tres paneles de visualización y un panel de control o de Widgets.

El primer panel enseñará la temperatura ambiente del cultivo, este dato será enviado por el sensor DS18B20 que siempre estará en el área del cultivo censando los datos en tiempo real.

Figura 47

Panel de temperatura



Nota: La figura muestra el panel gráfico de temperatura del sensor DS18B20.

En el segundo panel se mostrará la humedad del cultivo enseñando el valor correspondiente al sensor YL-69 que estará ingresando y saliendo de la tierra midiendo la humedad en periodos de 5 segundos.

Figura 48

Panel de humedad



Nota: La figura muestra el panel gráfico de humedad del sensor YL-69.

El tercer panel contará con una barra de deslizamiento o slider para determinar la humedad del cultivo, este determina el setpoint que se señala como el porcentaje de humedad al cual el cultivo debe estar durante el proceso de cultivación, el panel debe ser configurando de acuerdo a las necesidades que identifique el agricultor.

Figura 49

Panel interactivo de llenado

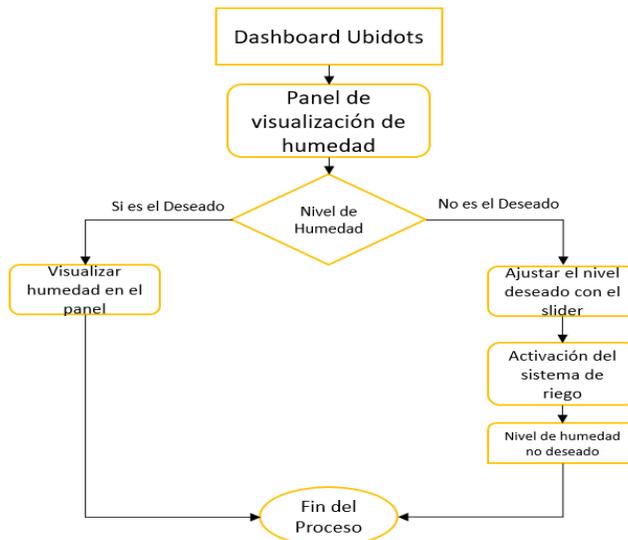


Nota: La figura muestra el panel grafico interactivo para regular el sistema de goteo del tanque a través de la mini motobomba JT-DC3V-3.

El control que se realiza a través de la interfaz gráfica dependerá del censado de datos del sensor de humedad, el panel interactivo dispone de una slider para alterar la variable al humedecer el cultivo cambiando su estado y los datos del sensor.

Figura 50

Diagrama de bloques control de humedad



Nota: La figura muestra el control que realiza la interfaz gráfica y el sensor de humedad en el cultivo.

Por último, el cuarto panel indicara el nivel de agua que posee el tanque, este panel solo será de visualización, el sensor de proximidad determinara cual es el nivel de llenado del tanque; en caso de usar un tanque diferente al de las pruebas el nivel de este mismo se identificara a través de un porcentaje de llenado.

Figura 51

Panel del tanque de agua



Nota: La figura muestra el panel grafico de nivel de agua del sensor HC-SR04.

Finalmente tenemos toda la interfaz gráfica que enseña puntualmente los datos que recolecto cada sensor y los cuales fueron comunicados a través de IOT.

2.3 Verificar el funcionamiento del prototipo de riego

2.3.1 Integración del sistema construido

Una vez realizados todos los procesos que conllevan el desarrollo del prototipo, este será puesto a prueba con todos sus elementos y en condiciones naturales en un cultivo; el mecanismo creado deberá cumplir con las acciones que le sean enviadas a través de la plataforma virtual de Ubidots, dependiendo de los datos obtenidos por los sensores y procesados por el microcontrolador.

El prototipo deberá estar situado en un lugar que cuente con una toma de agua que abastecerá

dos tanques (esto por medio de una electroválvula controlada por un Arduino mega y un sensor de proximidad), uno principal y uno secundario, el primero de ellos es dependiente del segundo, ya que el segundo mantendrá un nivel controlado del llenado de agua del primero a través de una mini motobomba, por su parte el tanque principal cumplirá la función de mantener la humedad establecida por el usuario a través del set point, este proceso se realizara mediante una segunda mini motobomba.

El proceso que debe realizar el prototipo empieza a partir de este punto; el sensor ultrasónico HC-SR04 capturara los datos de llenado del tanque cuando el agua se encuentre a un nivel 20 litros del tanque usado o específicamente a 3cm de los datos de captura del sensor, este se detendrá y el llenado finalizara su acción. La estructura física del dispositivo debe ser ingresada en el suelo del cultivo, asegurándose que el sensor de temperatura DS18B20 se encuentre dentro de la tierra para que este cense los datos a tiempo real del cultivo.

Finalmente, el prototipo realizara inserciones constantes en el cultivo con ayuda del mecanismo creado para el sensor de humedad Y1-69, este realizara toma de datos cada 5 segundos. El módulo ESP32 será el encargado de recibir todos los datos y enviarlos a la plataforma virtual además de enseñarlos en el panel LCD que se encuentra en la caja de proyectos junto con el sistema electrónico. Dependiendo de los datos censados el agricultor deberá tomar acción a través de la plataforma virtual para determinar la cantidad de humedad que requiere el cultivo.

2.3.2 Resultados de verificación interna

La verificación de resultados que se dio internamente se realizó a partir de comprobar el funcionamiento de la tarjeta electrónica, los actuadores y el micro controlador.

El sensor de temperatura DS18B20 responde de manera precisa y rápida en su labor de captar datos; estos datos al ser enviados al micro controlador y subsecuentemente empieza a mostrar los datos de temperatura en grados Celsius constantemente en la pantalla lcd una vez se haya iniciado el proceso.

El funcionamiento del motor paso a paso se encontró en el parámetro establecido, este trabaja a partir del módulo A4988 el cual recibe las señales del módulo ESP32; recibiendo señales de dirección pasos y rest trabajando con el tornillo helicoidal para la elevación sensor de humedad.

El sensor de humedad Y1-69 trabaja correctamente para censar los datos en la tierra del cultivo, las inserciones son realizadas en la tierra cada 5 segundo, esto hace que el dispositivo se encuentre en constante movimiento en función del mecanismo y el nivel de recorrido que este posee, sin embargo, los valores que este censa son correctos por la previa calibración que se le realiza al sensor de humedad y la comparación con los rangos de humedad mostrados por el soil tester S-2.

La válvula encargada del llenado de agua para el tanque responde eficientemente, esta tiene una respuesta instantánea cuando el sensor de proximidad ultrasónico HC-SR04 capta a 3 cm de distancia el nivel de agua requerido; el trabajo que realizan estos dos elementos electrónicos de manera conjunta se da gracias al módulo relee que envía la señal de activación para que se detenga o empiece el llenado. El funcionamiento de este circuito es perfecto ya que la velocidad de respuesta es instantánea cuando el sensor capta esta información.

Las mini motobombas seleccionadas que se encargan de realizar el llenado inteligente del tanque principal y del control de riego, funcionaron de manera adecuada en el cultivo, esto se ve reflejado en la disminución del caudal al acercarse a los niveles establecidos por el usuario.

El módulo ESP32 funciona de manera correcta, cuenta con una buena velocidad de procesamiento de datos, tanto al recibir los obtenidos por los sensores y enviarlos a la plataforma virtual de Ubidots, como para ser visualizados en la interfaz gráfica.

El prototipo cuenta con una caja de proyectos en donde está toda la parte electrónica y se muestran los datos principales en una pantalla LCD, la tarjeta trabaja de forma correcta y no produce ningún tipo de ruido que afecte el funcionamiento de los componentes.

2.3.3 Resultados de verificación externa

2.3.3.1 Diseño y control PID. Para el diseño del controlador PID de la humedad, se utilizó la herramienta PID TUNER del software Matlab, esta herramienta nos permitió obtener el modelo matemático de planta por medio de muestras y sintonizar el PID.

Se sometió el sistema a una entrada de tipo escalón, obteniendo así las muestras de la humedad del suelo con respecto al tiempo, con los valores obtenidos de las muestras, se encontró la siguiente función de transferencia.

Función de transferencia

$$G(s) = \frac{1}{5.4904s+1} * \exp(-1.1 * s)$$

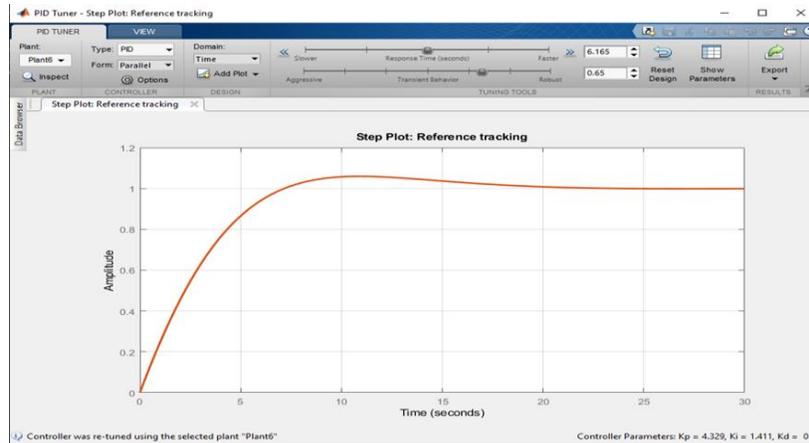
Figura 52

Parámetros de control

	Tuned
Kp	4.3289
Ki	1.4107
Kd	0
Tf	n/a

Nota. Utilizando la herramienta PID TUNER se sintoniza el controlador PID y se obtiene las constantes proporcionales, derivativas e integrales.

Figura 53
Sintonización

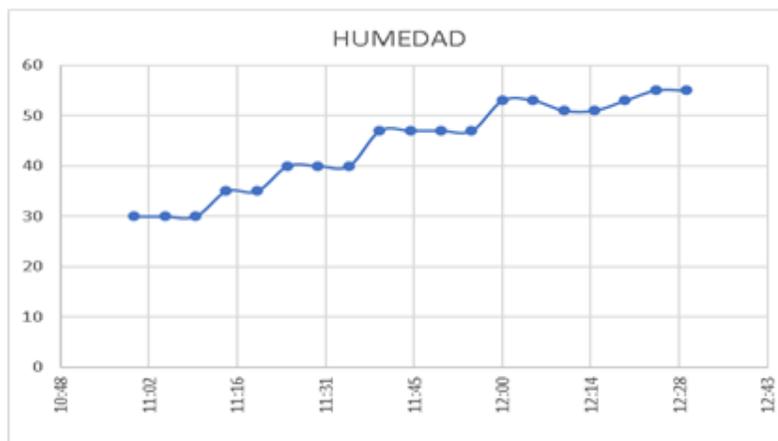


Nota. En la gráfica de sintonización observamos que el sistema responde satisfactoriamente para cambios hecho en el Set Point.

2.3.4 Pruebas de humedad con el prototipo

Figura 54

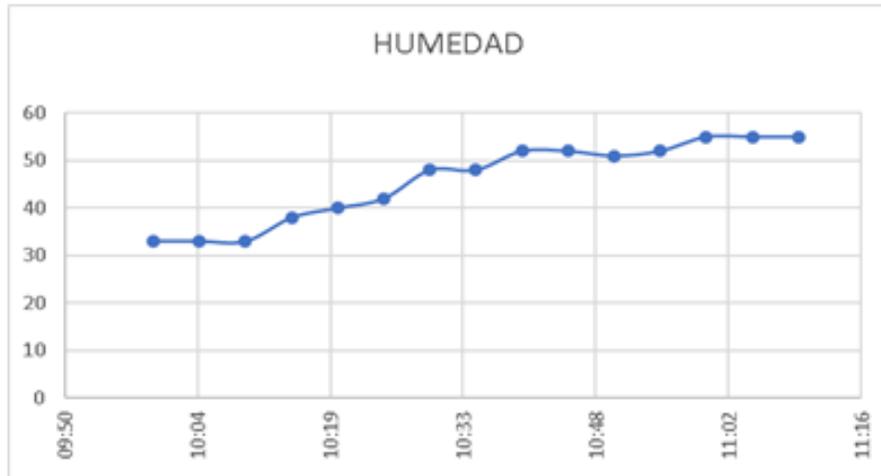
Prueba 1 de humedad con el prototipo



Nota. Pruebas de humedad realizadas para la fecha 11/09/2023 hora 11:00 a.m.

Figura 55

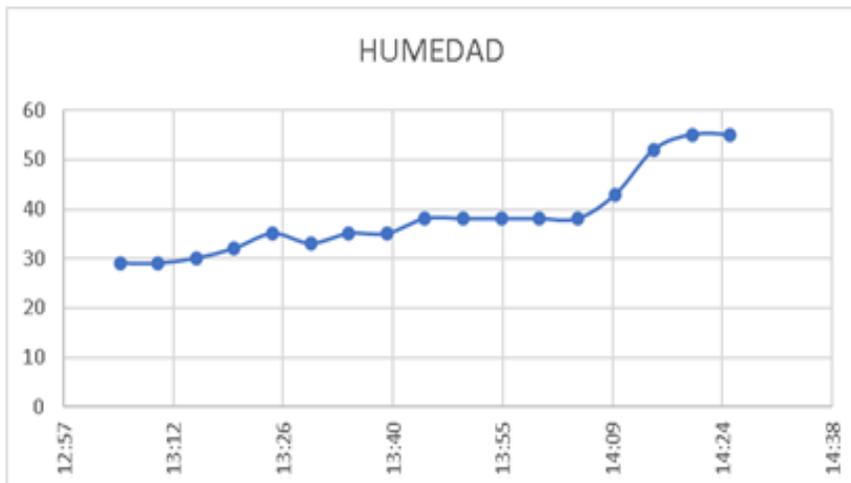
Prueba 2 de humedad con el prototipo



Nota. pruebas de humedad llevadas a cabo el 13/09/2023 a las 10:00 a.m.

Figura 56

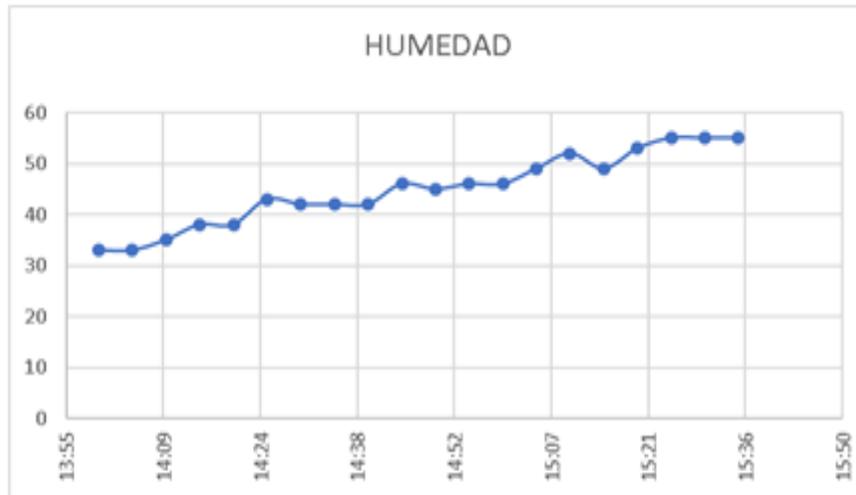
Prueba 3 de humedad con el prototipo



Nota. Análisis de Humedad efectuado el 15/09/2023 a las 13:00 p.m.

Figura 57

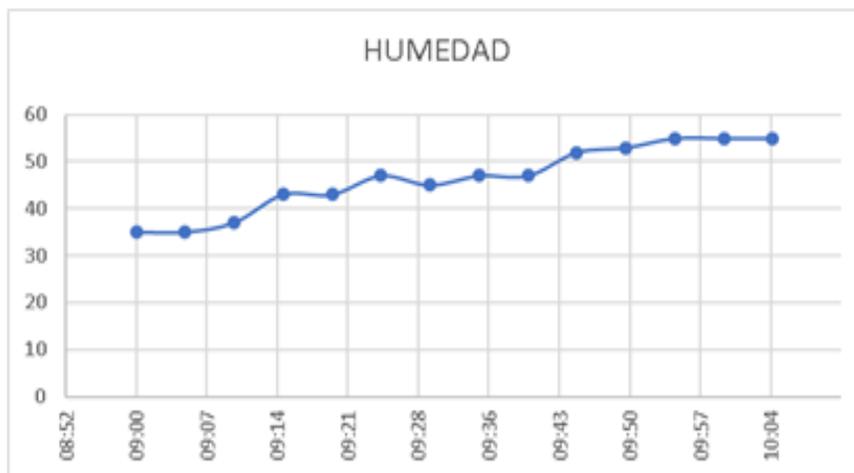
Prueba 4 de humedad con el prototipo



Nota. Pruebas de humedad realizadas para la fecha 17/09/2023 hora 14:00 p.m.

Figura 58

Prueba 5 de humedad con el prototipo

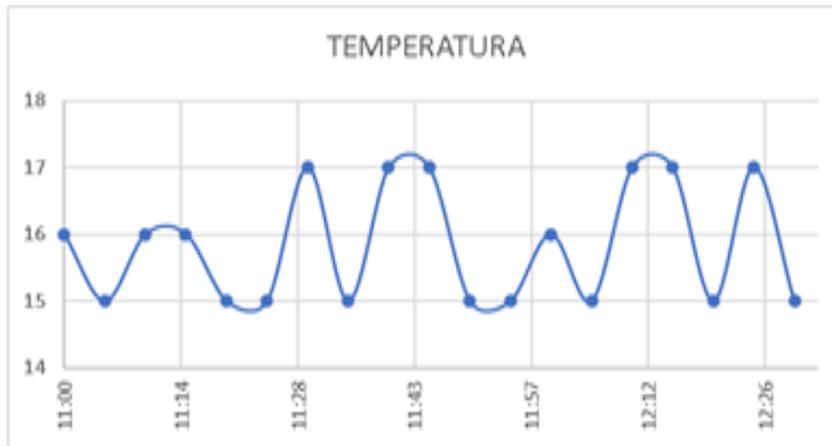


Nota. Pruebas de humedad realizadas para la fecha 19/09/2023 hora 09:00 a.m.

2.3.5 Pruebas de temperatura ambiente del prototipo

Figura 59

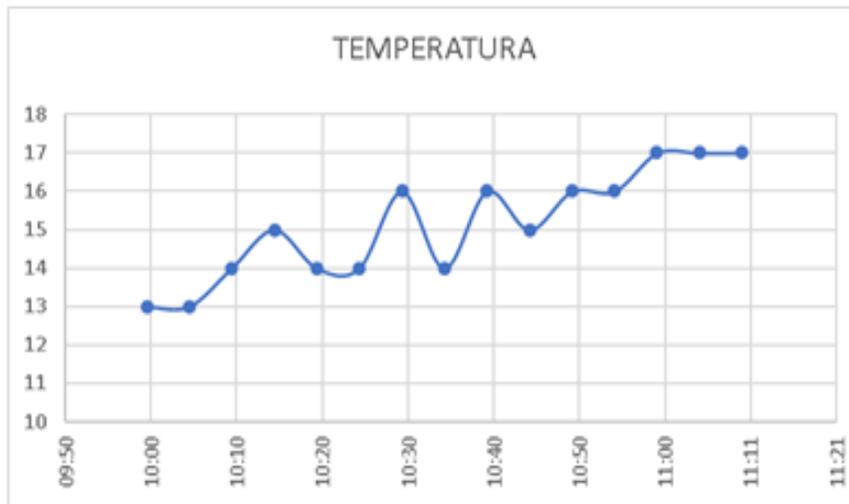
Prueba 1 de temperatura con el prototipo



Nota. Pruebas de temperatura ambiente realizadas para la fecha 11/09/2023 hora 11:00 a.m.

Figura 60

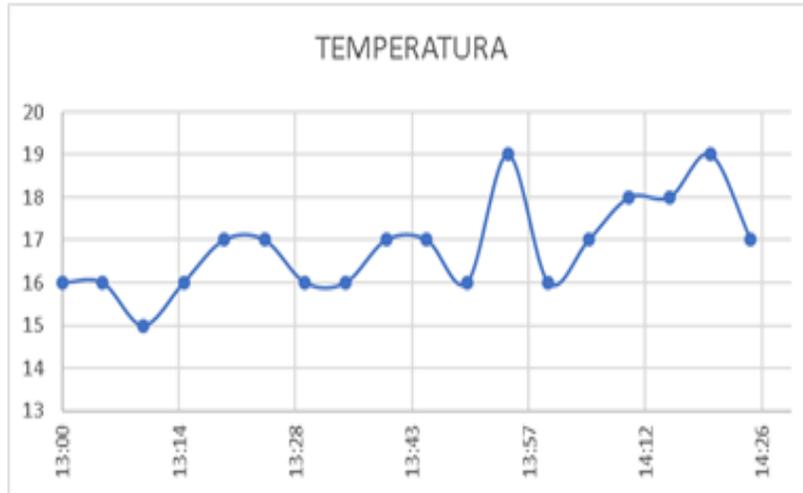
Prueba 2 de temperatura con el prototipo



Nota. Pruebas de temperatura llevadas a cabo el 13/09/2023 a las 10:00 a.m.

Figura 61

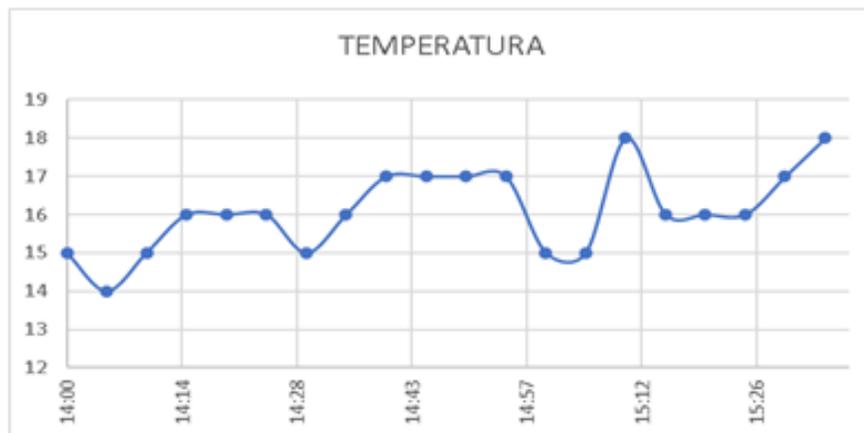
Prueba 3 de temperatura con el prototipo



Nota. Análisis de temperatura efectuado el 15/09/2023 a las 13:00 p.m.

Figura 62

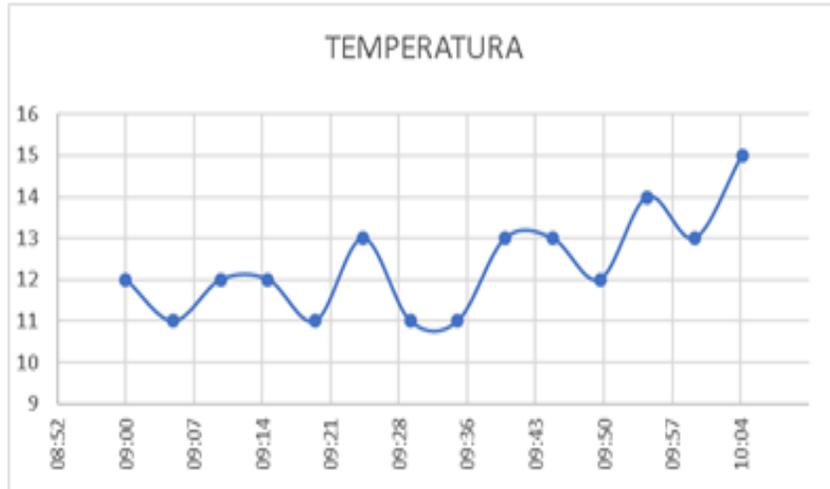
Prueba 4 de temperatura con el prototipo



Nota. Pruebas de temperatura realizadas para la fecha 17/09/2023 hora 14:00 p.m.

Figura 63

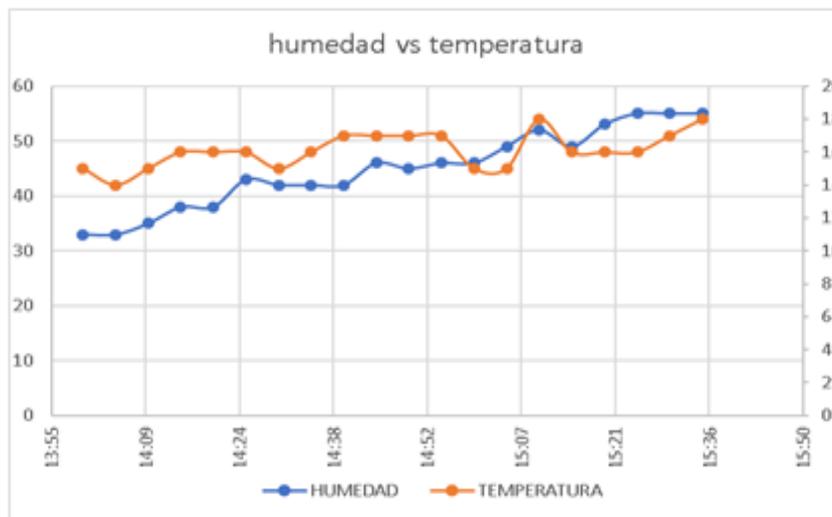
Prueba 5 de Temperatura con el prototipo



Nota. Pruebas de humedad realizadas para la fecha 19/09/2023 hora 09:00 a.m.

Figura 64

Comparación de humedad con respecto a la temperatura



Nota. Las fechas que se selecciona para hacer la respectiva comparación fue 17/09/2023 hora 14:00 p.m

2.4 Resultados de la verificación externa

2.4.1 Consumo de agua

Tabla 14

Consumo de agua riego no tecnificado por aspersión

Riego manual			
Fecha	Caudal lt/min	Litros de agua	Minutos
11/09/2023	9	1664	186
13/09/2023	9	1525	173
15/09/2023	9	1624	186
17/09/2023	9	1709	191
19/09/2023	9	1151	139
Total		7673	7673

Nota: En la tabla se muestra el consumo de agua durante el tiempo que se hizo el riego aplicando la fórmula de caudal.

Flujo volumétrico

$$Caudal = v/t$$

v = velocidad

t = tiempo

Tabla 15

Consumo de agua aplicando la fórmula de caudal

Riego Manual			
Fecha	Caudal Lt/min	Litros de agua	Minutos
11/09/2023	9	1674	186
13/09/2023	9	1557	173
15/09/2023	9	1674	186
17/09/2023	9	1719	191
19/09/2023	9	1251	139

Nota: En la tabla se muestra el consumo de agua final de un periodo de fecha establecido con un caudal inicial de 3L min. El consumo está dado por litros

Tabla 16

Consumo de agua del prototipo

Prototipo			
Fecha	Caudal Lt/min	Litros de agua	Minutos
11/09/2023	2	110.5	90
13/09/2023	2	90.2	70
15/09/2023	2	100.5	85
17/09/2023	2	113.2	95
19/09/2023	2	82.5	65
19/09/2023	Total	469.9	405

Nota: La siguiente tabla nos muestra como el caudal se ve afectado por el control PID al acercarse al set point establecido.

Tabla 17

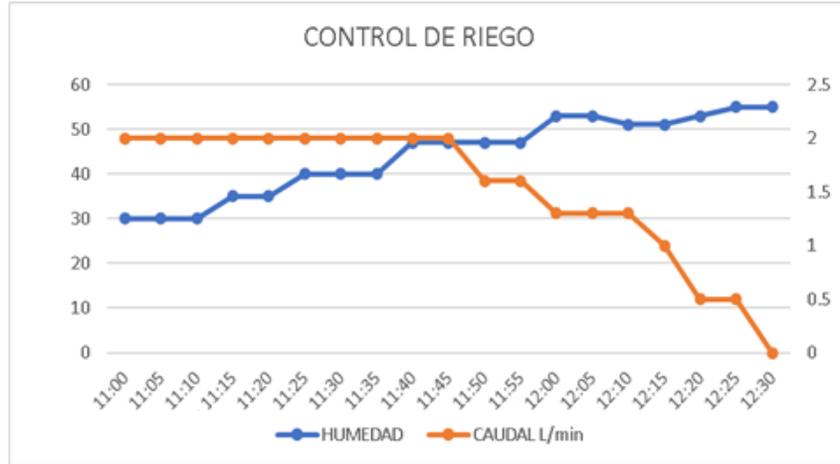
Caudal durante el riego

Control de riego		
Fecha	Humedad	Caudal Lt/min
11/09/2023 11:00	30	2
11/09/2023 11:05	30	2
11/09/2023 11:10	30	2
11/09/2023 11:15	35	2
11/09/2023 11:20	35	2
11/09/2023 11:25	40	2
11/09/2023 11:30	40	2
11/09/2023 11:35	40	2
11/09/2023 11:40	47	2
11/09/2023 11:45	47	2
11/09/2023 11:50	47	1.6
11/09/2023 11:55	47	1.6
11/09/2023 12:00	53	1.3
11/09/2023 12:05	53	1.3
11/09/2023 12:10	51	1.3
11/09/2023 12:15	51	1.0
11/09/2023 12:20	53	0.5
11/09/2023 12:25	55	0.5
11/09/2023 12:30	55	0.0

Nota: En la siguiente tabla se observa el control de riego hecho por el prototipo

Figura 65

Control de riego hecho por el prototipo



Nota. En esta grafica se muestra el control de riego basado en la humedad y el caudal, esta prueba es realizada el día 11 de septiembre del 2023

2.4.2 Medición de humedad de suelo

El detector de humedad de suelo S-2 tiene un rango de medición desde muy seco hasta muy húmedo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18

Escalas de humedad del sensor

Escalas de humedad del sensor				
DRY+	DRY	NOR	WET	WET+
Muy seco	Seco	Moderado	Húmedo	Muy húmedo
Los rangos de humedad van desde 0-90%				

Nota: En esta Tabla se muestran las escalas de medida del Soil Tester S-2

2.4.3 Soil tester 5 en 1 s-2

Figura 66

Sensor de humedad S-2



Nota: En esta imagen se observa las medidas del Tester de humedad S-2

Funciones

- Iluminación ambiental
- PH del suelo
- Contenido de humedad de suelo
- Temperatura del suelo
- Higrómetro ambiental

Figura 67

Prueba de humedad con el Soil tester



Nota: En la imagen se muestra cómo se utiliza el Tester de humedad

Tabla 19

Medición de humedad con el detector

Rango de humedad de suelo						
Fecha	Hora	DRY+	DRY	NOR	WET	WET+
11/09/2023.	12:30 pm			X		
13/09/2023	11:10 am				X	
15/09/2023	02:25 pm			X		
17/09/2023	03:35 pm				X	
19/09/2023	10:05 am				X	

Nota: En la tabla se observa la medición de humedad en distintas fechas y hora.

3. Conclusiones

Se observa un incremento gradual en los niveles de humedad al fijar el punto de ajuste en el 55%, a medida que transcurre el tiempo. Este fenómeno sugiere una tendencia ascendente en la humedad a lo largo del tiempo.

Se observa como el caudal inicial es de 2 Lt/min, el cual disminuye gradualmente desde un 100% hasta llegar a 0%, indicando una reducción total, La humedad del suelo aumenta desde un nivel inicial del 30% hasta alcanzar un máximo de 55%, representando un aumento del 83.33%.

La capacidad del SOIL TESTER para evaluar la humedad del suelo después del riego ofrece una valiosa retroalimentación, confirmando la eficacia del sistema y su capacidad para adaptarse a las necesidades específicas del terreno.

Se evidencia un eficiente control del riego que mantiene niveles de humedad medios, gestionados a través del set point establecido en la plataforma Ubidots. La consistencia observada en los niveles de humedad señala una gestión efectiva del riego, respaldada por la tecnología de Ubidots, asegurando condiciones óptimas humedad y un uso adecuado de agua.

Al examinar las representaciones gráficas de la temperatura, se aprecia un aumento constante con ocasionales descensos a lo largo del día, estas variaciones de temperatura inciden directamente en los requerimientos de agua para el riego.

El prototipo de riego consume aproximadamente un 93.9% menos de agua en comparación con el riego manual. Esta cifra sugiere una eficiencia significativa en el uso del recurso hídrico. Algunas conclusiones que podríamos extraer

4. Recomendaciones

El dispositivo puede ser instalado en cultivos al aire libre, sin embargo, al necesitar una fuente de alimentación alterna, la zona donde se situó dicha fuente debe ser en un lugar seco.

Se recomienda la instalación de un sistema de alarma en el prototipo que alerte en caso de agotamiento del suministro de agua, asegurando así una gestión eficiente de los recursos hídricos.

se sugiere la incorporación de una alarma adicional para notificar descensos de temperatura por debajo de 0 grados Celsius. Esta medida contribuirá a prevenir posibles problemas asociados con las bajas temperaturas, garantizando el adecuado funcionamiento del prototipo incluso en condiciones climáticas adversas.

El prototipo cuenta con un módulo de control ESP32 que trabaja con wi-fi es necesario tener una conexión estable para trabajar en la plataforma.

El sensor de humedad al estar en una inserción constante con el suelo de cultivo puede presentar corrosión o desgaste en su estructura, se recomienda hacerle mantenimiento constante o un cambio de este sensor en caso de fractura.

Referencias bibliográficas

- Alfonso, A., Guijarro-Rodríguez, L. J. Cevallos Torres, D. K. Preciado-Maila, B. N., y Zambrano M. (2018). Sistema de riego automatizado con Arduino. Guayaquil.
- Angulo Bahona, C. y Raya Giner, C. (Eds.). (2004). Tecnología de sistemas de control.
- Aranda, D. (2014). Electronica: Plataformas Arduino Y Raspberry PI.
- Avilés Landívar, H. (2006). “El Valor Del Agua En La Agricultura.” La Granja 5(1): 28.
- Banco Mundial. (2007). Boletín del Banco Mundial Agricultura Para El Desarrollo. http://documentos.bancomundial.org/curated/es/747041468315832028/pdf/414550SPANISH0101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf%0Ahttp://siteresources.worldbank.org/INTIDM2008INSPA/Resources/FINAL_WDR-OV-Spanish-text_9.26.07.pdf
- Bertolety, P. (2019). Proyectos con Esp32 y lora.Shemidt
- Betancourt, T. (2017). “El Manejo Integrado Del Agua En La Agricultura: Necesidad de Implementación y Aspectos Vinculados.” Revista Agroecosistemas 5(2).
- Botero, L. A. (2020). La paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en el sector rural colombiano. Bogota.
- Chulde, A. (2017). “Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.”
- Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S. y Mares Carreño, J. (2020). Sensores Y Actuadores Introduccion.
- Daniel. (2022). Arduino Curso completo (2°).

Demin, P. (2014). “Aportes Para El Mejoramiento Del Manejo de Los Sistemas de Riego.” Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf.

Dominguez Minguez, T. (2020). Desarrollo de aplicaciones IOT en la nube para arduino y ESP8266.

Dutra Coelho, A., Guilherme Dias, B., de Oliveira Assis, W., de Almeida Martins, F. y Cassares Pires, R. (2022). Monitoring of soil and atmospheric sensors with internet of things. São Caetano do Sul: Brazilian Journal of Development.

Fajardo Rojas, A. E. (2019). Variabilidad climática y disponibilidad hídrica en los valles de Ubaté, Chiquinquirá y Alto Chicamocha, Colombia. Bogotá.

Gabriel, J. (2017). El agua y las consecuencias que esta genera en la agricultura y el medio ambiente. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 5(1), 1-3. Recuperado de Pérez, Manuel R, Miguel A Mendoza, and Marco J Suarez. 2019. “Paradigma IoT: Desde Su Conceptualización Hacia Su Aplicación En La Agricultura.” *IoT paradigm: from its concept towards its application in agriculture*. 40(18): 1–8. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16927%0Ahttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=fap&AN=138305651&lang=es&site=ehost-live&scope=site&custid=s9226804>.

Goilav, N. y Loi, G. (2016). *Arduino Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*.

Hernández Guzmán, F. J. (2021). Evaluación de métodos agroclimáticos para la estimación oportuna de las condiciones de humedad superficial del suelo en zonas agrícolas de Colombia. Bogotá.

Ikram Shahrulakram, M. A. & Johari, J. (2016). *Water Storage Monitoring System with pH Sensor*.

2016 IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)

Leibovich, J, and Estrada, L. (2013). “Competitividad Del Sector Agropecuario Colombiano.” Diagnóstico y recomendaciones de política para mejorar la competitividad del sector agropecuario colombiano: 139–68.

Ministerio del Cultura de la Republica de Colombia. [Minicultura]. (2015). “Población Campesina y Cultura.”

Montoya, G. E. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada. Quindio: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Nageswara Rao Moparthi, Ch. Mukesh & P.Vidya Sagar. (2018). Water Quality Monitoring System Using IOT. 4th International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics. Adhara Pradesh.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2019 El Estado Mundial de La Agricultura y La Alimentación 2016.

Pizarro Peláez, J. (2020). Internet de las Cosas (IoT) con Esp Manual práctico

Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., & Srinivasan, S. (2018). An Automated Irrigation System for Smart Agriculture Using the Internet of Things. 2018 15th International Conference . Singapore: Automation, Robotics and Vision (ICARCV).

Rodríguez, Guijarro. Alfonso A, Lorenzo J Cevallos, Torres, Debora Preciado, Maila, and Bryan Zambrano, Manzur. 2018. “Sistema de Riego Automatizado Con Arduino.” Espacios 39: 27. <http://www.revistaespacios.com/a18v39n37/a18v39n37p27.pdf>.

Tavera, K., Jaramillo, J., Posada, D. y Rivera, R. (2019). “Vista de Agricultura 4.0.Pdf.”

Viloria de la Hoz, J. (2007). “Economía del departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico por: La Serie Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional Es Una Publicación economía del departamento de nariño :” Centro De Estudios Economicos Regionales (Ceer). <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-87.pdf>.

Wilches Ortiz, W. A. (2019). Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para una mayor seguridad alimentaria de pequeños productores en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia. Ciudad de Mexico.

Anexos

Anexo A. Extracción de muestra de suelo del cultivo

Muestra de suelo del cultivo



Primera medición del suelo del cultivo



Anexo B. Pruebas de humedad en el laboratorio

Peso del recipiente



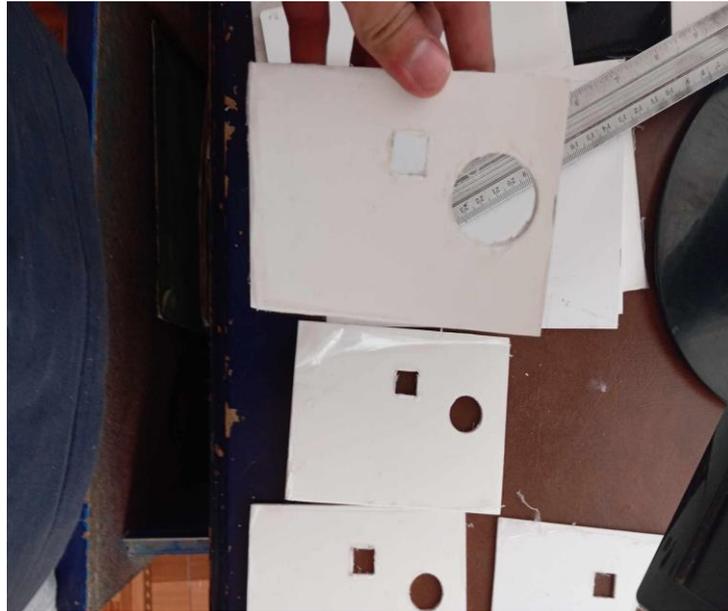
Peso de la primera muestra



Peso de la segunda muestra



Anexo C. Ensamble de la segunda caja de proyecto suministro de agua



Partes



Ensamble total



Anexo D. Pruebas de humedad en el cultivo

Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



Anexo E. Instalación medidora de caudal

Medición de caudal riego manual

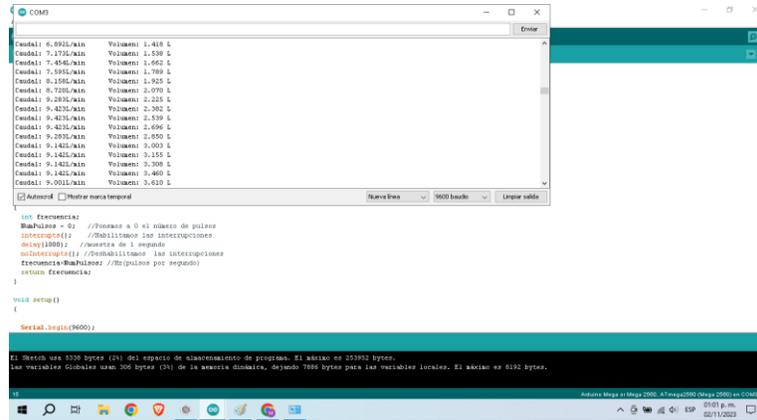


Medición de caudal prototipo



Anexo F. Pruebas de caudal del riego manual y prototipo

Pruebas de caudal de riego manual por aspersion



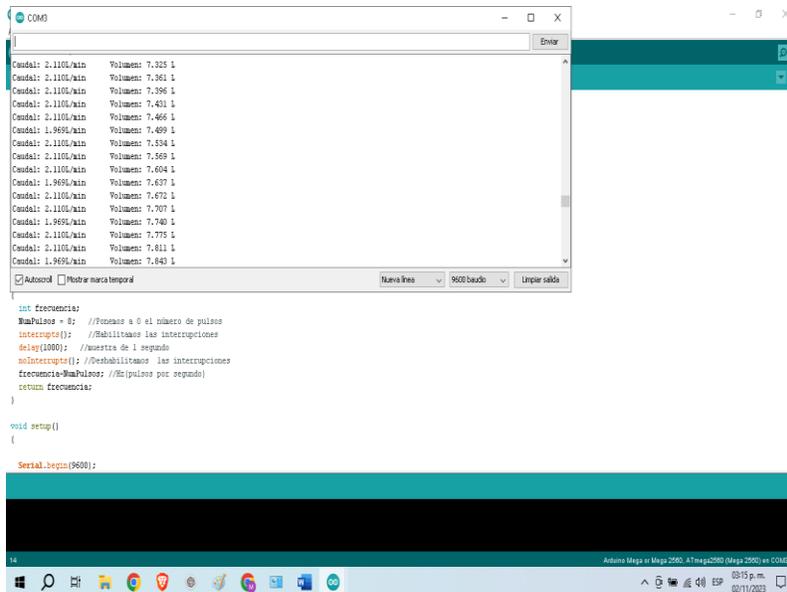
```
COM3
Caudal: 6.8925/min Volumen: 1.418 L
Caudal: 7.2776/min Volumen: 1.539 L
Caudal: 7.6546/min Volumen: 1.662 L
Caudal: 7.9395/min Volumen: 1.789 L
Caudal: 8.1995/min Volumen: 1.925 L
Caudal: 8.7205/min Volumen: 2.070 L
Caudal: 9.2835/min Volumen: 2.225 L
Caudal: 9.4235/min Volumen: 2.382 L
Caudal: 9.4235/min Volumen: 2.539 L
Caudal: 9.4235/min Volumen: 2.696 L
Caudal: 9.2835/min Volumen: 2.850 L
Caudal: 9.1425/min Volumen: 3.003 L
Caudal: 9.1425/min Volumen: 3.155 L
Caudal: 9.1425/min Volumen: 3.309 L
Caudal: 9.1425/min Volumen: 3.460 L
Caudal: 9.0015/min Volumen: 3.610 L

int frecuencia;
int Pulso = 0; //Pulsos a 0 el número de pulso
interrupts() //Habilitamos las interrupciones
delay(1000); //espera de 1 segundo
noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones
frecuencia=Pulso; //Hz(pulsos por segundo)
return frecuencia;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

El sistema usa 5330 bytes (1%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 255950 bytes.
Los variables globales usan 206 bytes (2%) de la memoria dinámica, dejando 7094 bytes para las variables locales. El máximo es 6332 bytes.
```

Prueba de caudal de riego del prototipo



```
COM3
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.325 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.361 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.396 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.431 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.466 L
Caudal: 1.9695/min Volumen: 7.499 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.534 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.569 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.604 L
Caudal: 1.9695/min Volumen: 7.637 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.672 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.707 L
Caudal: 1.9695/min Volumen: 7.740 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.775 L
Caudal: 2.1105/min Volumen: 7.811 L
Caudal: 1.9695/min Volumen: 7.843 L

int frecuencia;
int Pulso = 0; //Pulsos a 0 el número de pulso
interrupts() //Habilitamos las interrupciones
delay(1000); //espera de 1 segundo
noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones
frecuencia=Pulso; //Hz(pulsos por segundo)
return frecuencia;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
```

Anexo G. Código del prototipo e interfaz gráfica

Código del prototipo

```

#include <Ultrasonic.h>
#include "Ubidots.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <Ticker.h>
#define VELOCIDAD 1500
#define sensor 33
#define riego 5
OneWire ourWire(12);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
Ultrasonic ultrasonic(2,15);
int cont=0;
int nivel = 0;
int entrada = 0;
double kpt = 12;
double ref = 90;
double error = 0;
double Ut;
double kph = 12;
double errorh = 0;
double Uh;
float temp;
int pasos=26;
int direccion=25;
int res=27;
int pmotor=0;
int numero_pasos = 0;
int datorx=0;
int hvalue;// ALMACENA el valor de humedad del suelo);
int phumedad;//almacena el porcentaje de humedad del suelo
int dat;
int paux;
unsigned long start =0;
//variables para el control pid
int setpoint=50;

float feedback;//realimentacion
float e[3]={0.0, 0.0, 0.0};
float u[2]={0.0, 0.0};/
float kp= 12;
float ki= 1.78;
float kd= 0;
float T = 0.001;
float k1,k2,k3;
const int freq =5000;
const int canal=0;
const int resolucion = 12;
TaskHandle_t Task1;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
const char* UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-RnnBFhTR2j7tYpIL5Z0bcURgJBUqky";
const char* WIFI_SSID = "Redmi";
const char* WIFI_PASS = "12345678";
Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_HTTP);
Ticker llenadotanque;
Ticker monitoreo;
Ticker lectura;

void cmotor(void *parameter){
    delay(5000);
    for(;;){
        datorx=150*19;
    }
}

```

```
void cmotor(void *parameter){
  delay(5000);
  for(;;){
    datorx=150*19;
//motor baja
    while (datorx>numero_pasos){
      paso_izq();
      numero_pasos = numero_pasos + 1;
    }
    digitalWrite(32,HIGH);
    apagado();
    delay(15000);
//motor sube
    digitalWrite(32,LOW);
    datorx=0;
    while (datorx<numero_pasos){
      paso_der();
      numero_pasos = numero_pasos -1;
    }
    apagado();
    delay(5000);
  }
}

void censotanque(){
  entrada = (ultrasonic.Ranging(CM));
  nivel = map(entrada, 3, 28, 100, 0);

  error = ref - nivel;
  Ut = kpt * error;
  if(Ut > 250){
    Ut = 255;
    //digitalWrite(17,LOW);
    ref=90;
  }
  if(Ut < 0){
    Ut = 0;
    //digitalWrite(17,HIGH);
    ref=50;
  }
  analogWrite(17,int(Ut));
  Serial.println(Ut);
}

void sriego(){
  hvalue = analogRead(sensor);
  //dat= map(hvalue,4095 , 2000, 255, 0);
  phumedad = map(hvalue,4095 , 2000, 0, 100);

  if (phumedad >=100){
    phumedad =100;
  }
  else if (phumedad <= 0){
    phumedad =0;
  }
  if (phumedad>0){
    paux=phumedad;
  }
  else if (phumedad=0){
    paux=paux;
  }
  feedback = paux;
}
```

```

    paux=paux;
  }
  feedback = paux;

  errorrh=setpoint - feedback;

  Uh=kph*errorrh;

  if (Uh>250){
    Uh = 255;
  }
  if (Uh<0.0){
    Uh = 0;
  }
  //ledcWrite(canal,(int){u[0]});
  analogWrite(riego,(int){Uh});

  //e[2] = e[1];
  //e[1] = e[0];
}

void setup() {
  xTaskCreatePinnedToCore(cmotor, "motor",1000,NULL,1,&Task1,0);
  Serial.begin(115200);
  ubidots.wifiConnect(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  //ledcSetup(canal,freq,resolucion);
  //ledcAttachPin(riego,canal);
  k1= kp +ki * T+kd/T;
  k2= -2.0*kd/T -kp;
  k3= kd/T;
  pinMode(17,OUTPUT);
  pinMode(32,OUTPUT);
  pinMode(riego, OUTPUT);
  pinMode(pasos, OUTPUT);
  pinMode(direccion, OUTPUT);
  pinMode(res, OUTPUT);
  llenadotanque.attach(1,censotanque);
  monitoreo.attach(1,sriego);
  lcd.init(); //Iniciando el LCD
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  sensors.begin();

void loop() {
  datos();
  imprimir();

  ubidots.add("temperatura", temp);
  ubidots.add("humedad", paux);
  ubidots.add("tanque", nivel);

  bool bufferSent = false;
  bufferSent = ubidots.send();

  float value = ubidots.get("7c9ebdf9e4cc","setpoint");
  setpoint=int(value);

  if (bufferSent) {

```

```
bool bufferSent = false;
bufferSent = ubidots.send();

float value = ubidots.get("7c9ebdf9e4cc","setpoint");
setpoint=int(value);

if (bufferSent) {
  // Do something if values were sent properly
  Serial.println("Values sent by the device");
  Serial.println(setpoint);
}

delay(5000);
}
void datos(){
  sensors.requestTemperatures();
  temp= sensors.getTempCByIndex(0);
  delay(100);
}
void imprimir(){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("nivel");
  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print(int(nivel));
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("temp");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(temp);
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("setpoint");
  lcd.setCursor(10,2);
  lcd.print(setpoint);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("humedad");
  lcd.setCursor(11,3);
  lcd.print(int(paux));
}
void paso_der(){
  digitalWrite(res, HIGH);
  digitalWrite(direccion, HIGH);
  digitalWrite(pasos, HIGH);
  delayMicroseconds(5);/
  digitalWrite(pasos, LOW);
  delayMicroseconds(VELOCIDAD);
}
void paso_izq() {
  digitalWrite(res, HIGH);
  digitalWrite(direccion, LOW);
  digitalWrite(pasos, LOW);
  delayMicroseconds(VELOCIDAD);
  digitalWrite(pasos, HIGH);
  delayMicroseconds(5);»}
}
void apagado() {
  digitalWrite(res, LOW);
}
}
```

Código del medidor de caudal

```

const int sensorPin = 2;
const int measureInterval = 2500;
volatile int pulseConter;

// YF-S201
const float factorK = 7.5;

// FS300A
//const float factorK = 5.5;

// FS400A
//const float factorK = 3.5;

float volume = 0;
long t0 = 0;

void ISRCountPulse()
{
    pulseConter++;
}

float GetFrequency()
{
    pulseConter = 0;

    interrupts();
    delay(measureInterval);
    noInterrupts();

    return (float)pulseConter * 1000 / measureInterval;
}

void SumVolume(float dV)
{
    volume += dV / 60 * (millis() - t0) / 1000.0;
    t0 = millis();
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), ISRCountPulse, RISING);
    t0 = millis();
}

void loop()
{
    // obtener frecuencia en Hz
    float frequency = GetFrequency();

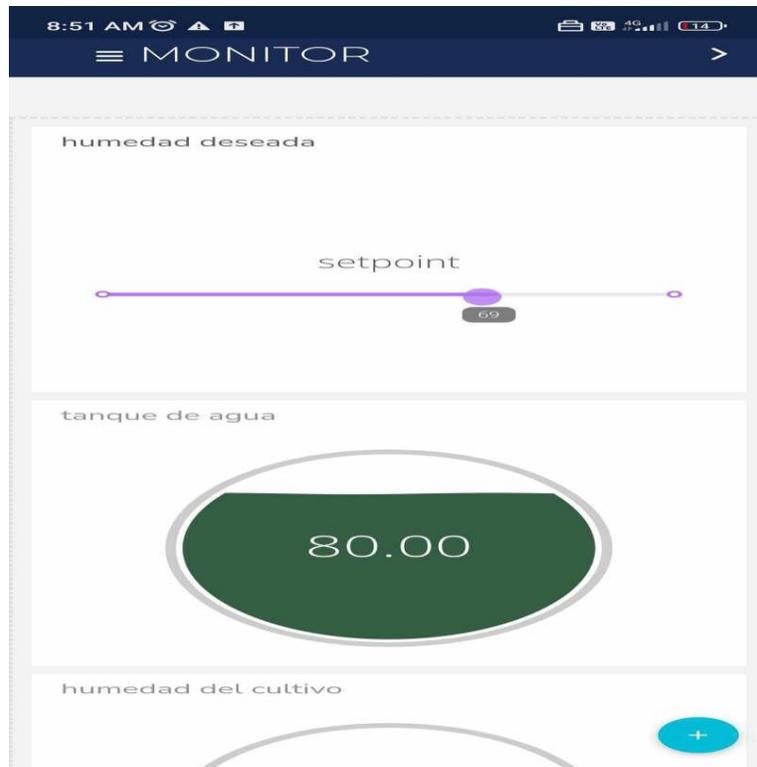
    // calcular caudal L/min
    float flow_Lmin = frequency / factorK;
    SumVolume(flow_Lmin);

    Serial.print(" Caudal: ");
    Serial.print(flow_Lmin, 3);
    Serial.print(" (L/min)\tConsumo:");
    Serial.print(volume, 1);
    Serial.println(" (L)");
}

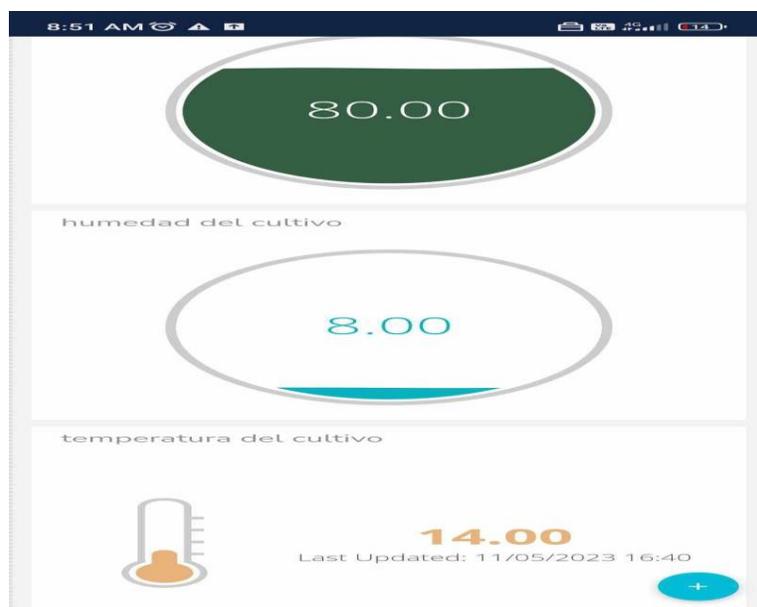
```

Anexo H. Interfaz interactiva

Interfaz gráfica



Interfaz gráfica



Anexo I. Presupuesto

Rubros	Descripción	Justificación	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Entidad financiadora	Total
Equipos	Fuente de alimentación	Alimentación eléctrica del prototipo	1	32.000	32.000	Recursos propios	\$32.000
	Motor Nema 17 PAP	Motor para ejecución de acciones	1	57.000	57.000	Recursos propios	\$57.000
	Driver motor paso a paso	Driver de control para motores	1	12.000	12.000	Recursos propios	\$12.000
	Módulo ESP32	Programación IOT	1	35.000	35.000	Recursos propios	\$35.000
	Tarjeta Arduino mega 2560	Programación suministro de agua	1	65000	65000	Recursos propios	\$65000
	Sensor de temperatura DS18B20	Permite medir la temperatura	1	11.000	11.000	Recursos propios	\$11.000
	Silicona barra	Sujetar el dispositivo	1	3000	3000	Recursos propios	\$ 3.000
	Pantalla LCD 20x4	Visualización de valores	1	32.200	32.200	Recursos propios	\$ 32.200
	Tanque de 16 litros	Llenado del tanque de agua	1	9.500	9.500	Recursos propios	9.5000
	Varilla roscada 8 mm y tuerca	Transmisión del mecanismo	1	30.000	30.000	Recursos propios	\$ 30.000
	Sensor de humedad Y1 69(con modulo)	Permite medir la humedad,	1	12.000	12.000	Recursos propios	\$ 12.000
	Caja para proyectos de electrónica	permite alojar los componentes	1	30.000	30.000	Recursos propios	\$ 30.000
	Varilla lisa 8 mm	Transmisión del mecanismo	1	16.000	16.000	Recursos propios	\$16000
	Acople flexible 5x8	Transmisión del mecanismo	1	6.000	6.000	Recursos propios	\$6000
	Válvula solenoide	Paso de agua	1	52.000	52.000	Recursos propios	\$ 52.000
Válvula genérica	Paso de agua	1	19.000	19.000	Recursos propios	\$19,000	

Rubros	Descripción	Justificación	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Entidad financiadora	Total
	Manguera	Transmisión de agua	1	18.000	18.000	Recursos propios	\$18000
	Angulo aluminio	Soporte de la estructura	1	6.600	6.600	Recursos propios	\$6.600
	Baquelita PCB	Diseño	1	10.000	10.000	Recursos propios	\$ 10.000
	Soldadura	Para conexión de los elementos eléctricos	1	1.000	1.000	Recursos propios	\$ 1.000
	Impresión laser	Impresión para realizar el circuito	1	5.000	5.000	Recursos propios	\$5.000
	Duplex centelsa 2*18	Para la conexión entre los componentes	1	233	1.165	Recursos propios	\$ 1.165
	Sensor hc-sr04 ultrasonido	Sensor para medir el llenado de agua	1	8.000	8.000	Recursos propios	\$ 80.000
	Mini bomba JT-DC3V-3	Bomba de agua	2	25.000	50.000	Recursos propios	\$50.000
	Recursos tecnológicos: internet, computador, plan de datos	Global	1	142.000	142.000	Recursos propios	\$ 142.000
	Pantalla LCD modulo (con modulo)	Visualización de datos	1	60.000	60.000	Recursos propios	\$60.000
	Cautín	Soldar componentes	1	38.000	38.000	Recursos propios	\$38.000
	Tornillos	Para la sujeción de los componentes tecnológicos al armazón	-	-	5.000	Recursos propios	\$ 5.000
	Elementos electrónicos varios	Resistencias, capacitores, cable UTP reforzado, molex 3 pines, regleta hembra, regleta macho, terminal hembra, terminal orqueta	-	-	-	Recursos propios	\$ 35.000
Software	Eagle	Diseño del Circuito	-	-	-	Recursos propios	-
	Ubidots	Conexión IOT	-	-	-	Recursos propios	-
	Arduino ID	Programación Modulo	-	-	-	Recursos propios	-
Total							\$ 933.984

Anexo J. Cronograma

Objetivo	Actividad	Responsable	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
			Semanas				Semanas				Semanas				Semanas				Semanas			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Determinar condiciones asociadas a las variables de humedad, ausencia de suministro de agua, inundaciones y niveles de disponibilidad de agua para el cultivo de papa, que permitan la operación y el desarrollo del algoritmo.	Documentar el proyecto frente a las necesidades presentes	El estudiante y asesor																				
	Análisis de la calidad del terreno	El estudiante y asesor																				
	Selección de sensores para medir las variables seleccionadas	El estudiante y asesor																				
Construir un sistema de control y monitoreo remoto de variables a través de la implementación de una red de sensores para el cultivo de papa.	Selección de sensores para medir las variables seleccionadas	Estudiante																				
	Diseñar un sistema de adquisición de datos para obtener y tratar las variables seleccionadas	Estudiante																				
	Construir circuito impreso para el sistema de adquisición	Estudiante																				
	Diseñar un sistema de control de humedad en un cultivo de papa teniendo en cuenta el sistema de	Estudiante																				

